

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 480 423**

51 Int. Cl.:

**F03D 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2011 E 11160341 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.06.2014 EP 2375068**

54 Título: **Sistemas y procedimientos de vigilancia de salud estructural de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**08.04.2010 US 756857**

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

**28.07.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DANIELS, JEFFREY MICHAEL;  
ANNADURAI, DINESH KUMAR y  
VEMURI, SATISH**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 480 423 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 de vigilancia de salud estructural de una turbina eólica

5 La materia objeto descrita en la presente memoria se refiere, en general, a sistemas y procedimientos de vigilancia de salud estructural de un sistema de turbinas eólicas y, más concretamente, a un sistema de vigilancia de la salud estructural de un componente estructural de la turbina eólica.

10 Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen una góndola fijada en la parte superior de una torre. Una góndola incluye un conjunto de rotor acoplado a un generador por medio de un eje. En los conjuntos de rotor conocidos, una pluralidad de palas se extienden desde un rotor. Las palas están orientadas de forma que el viento que pasa sobre las palas gira el rotor y hace rotar el eje, accionando de esta manera el generador para generar electricidad. Las turbinas eólicas conocidas están, en general, sometidas a experimentar daños derivados de los elementos ambientales, como por ejemplo el cortante del viento, las temperaturas extremas, las heladas, las olas oceánicas, así como la fricción interna, y el general desgaste mecánico. Los perjuicios operacionales pueden ocasionar a la larga un rendimiento de la turbina eólica por debajo del óptimo.

15 Al menos algunos procedimientos conocidos de vigilancia de las turbinas eólicas detectan perjuicios operacionales de forma indirecta mediante la detección de síntomas, como por ejemplo una potencia de salida reducida y / o una inoperabilidad, o un rendimiento operativo disminuido de las turbinas eólicas. Además, debido a que son muchas las potenciales causas existentes de dichos síntomas, la determinación de la raíz del problema de un síntoma requiere una inspección manual mediante un técnico de servicio, introduciendo un retraso y un gasto no deseables antes de que pueda darse una respuesta a la raíz del problema.

20 Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen un bastidor del generador que incluye un bastidor principal o una "placa de asiento" y un bastidor de soporte del generador o una porción del "bastidor trasero" que está dispuesto en voladizo desde la placa de asiento. Los bastidores del generador conocidos pueden verse sometidos a esfuerzos que pueden provocar agrietamientos por fatiga y / o averías, en particular en la junta existente entre la placa de asiento y la porción del bastidor trasero. Los procedimientos tradicionales de vigilancia de algunos bastidores del generador conocidos incluyen la inspección manual, que puede ser infrecuente, costosa y lleva mucho tiempo.

25 El documento EP 1 857 672 analiza una planta de energía eólica que presenta un componente que incluye una o más unidades de sensor para detectar grietas en una fase temprana de su aparición.

El documento EP 2 112 374 se refiere a un sistema de detección de grietas que utiliza una fuente de luz y unas fibras dispuestas a través de una estructura de ingeniería de carga.

30 Sin embargo, diversos aspectos y formas de realización de la presente invención se definen mediante las reivindicaciones adjuntas.

A continuación se describirán diversos aspectos y formas de realización de la presente invención en conexión con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de un sistema de generador de turbina eólica.

35 La FIG. 2 es una vista en sección de tamaño ampliado de una porción del sistema de generador de turbina eólica mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques de un sistema de vigilancia de la salud estructural para vigilar el sistema de turbina eólica mostrado en la FIG. 1.

40 La FIG. 4 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático de usuario ejemplar apropiado para su uso con el sistema de vigilancia de la salud estructural mostrado en la FIG. 3.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un controlador ejemplar de vigilancia de la salud estructural para su uso con el sistema de vigilancia de la salud estructural mostrado en la FIG. 3.

La FIG. 6 es una vista en perspectiva de un sistema de vigilancia de la salud estructural apropiado para su uso en el sistema de generador de turbina eólica mostrado en la FIG. 1.

45 La FIG 7 es una vista de tamaño ampliado de un sistema de vigilancia alternativo de la salud estructural apropiado para su uso con el sistema de generador de turbina eólico mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar de operación de un sistema de vigilancia de la salud estructural para su uso con el sistema de generador de turbina eólica mostrado en la FIG. 1.

50 Diversas formas de realización descritas en la presente memoria facilitan la vigilancia de la salud estructural de una turbina eólica. Más en concreto, las formas de realización descritas en la presente memoria incluyen un sistema de

vigilancia de la salud estructural que facilita la detección de discontinuidades estructurales dentro de la turbina eólica. Así mismo, el sistema de vigilancia de la salud estructural facilita la determinación de la salud estructural de la turbina eólica en base a la discontinuidad estructural y que opera la turbina eólica hasta conseguir una operación de seguridad tras la determinación de que la salud estructural del sistema de turbina eólica es diferente de una salud estructural predefinida. Según se utiliza en la presente memoria, el término “discontinuidad estructural” se refiere a un desplazamiento estructural dentro de un componente estructural y / o a una separación de dos o más componentes estructurales. Por ejemplo, una discontinuidad estructural puede ser una o más grietas, una junta desplazada, una separación de la junta, una fractura, una banda de deformación, y / o una banda de compresión. Según se utiliza en la presente memoria, el término “salud estructural” se refiere a la operación de un componente de turbina eólica con respecto a uno o más parámetros operativos del componente estructural.

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de un sistema 10 de generador de turbina eólica. En la forma de realización ejemplar, el sistema 10 es una turbina eólica de eje geométrico horizontal. Como alternativa, el sistema 10 de generador de turbina eólica puede ser una turbina eólica de eje geométrico vertical. En la forma de realización ejemplar, un sistema 10 de generador de turbina eólica incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 de soporte, una góndola 16 montada sobre la torre 12, un generador 15 situado dentro de la góndola 16 y un rotor 18 que está acoplado de forma rotatoria al generador 15. El rotor 18 incluye un buje 20 rotatorio y al menos una pala 22 del rotor acoplada a y que se extiende hacia fuera desde el buje 20. En la forma de realización ejemplar, el rotor 18 incluye tres palas 22 del rotor. En una forma de realización alternativa, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas del rotor. El sistema 10 de generador de turbina eólica incluye además un sistema 24 de vigilancia de la salud estructural. En la forma de realización ejemplar, el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural está situado dentro de la góndola 16 y está acoplado operativamente al generador 15, al rotor 18 y / o al buje 20. De manera adicional o como alternativa, el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural está operativamente acoplado a la torre 12. El sistema 24 de vigilancia de la salud estructural puede estar acoplado de forma operativa a cualquier componente estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica de forma que pueda quedar sometido a ciclos de fatiga y / o de desgaste operativo que pueden traducirse en la aparición de discontinuidades estructurales. En la forma de realización ejemplar, la torre 12 está fabricada a partir de acero tubular para definir una cavidad (no mostrada en la FIG. 1) que se extiende entre la superficie 14 de soporte y la góndola 16. En una forma de realización alternativa, la torre 12 es cualquier tipo apropiado de torre que tenga cualquier altura apropiada.

Las palas 22 del rotor están separadas alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para hacer posible que la energía cinética sea transferida a causa del viento para convertirse en energía mecánica utilizable y, como consecuencia de ello, en energía eléctrica. En la forma de realización ejemplar, las palas 22 del rotor tienen una longitud que oscila entre aproximadamente 30 metros (m) y aproximadamente 120 m. Como alternativa, las palas 22 del rotor pueden tener cualquier longitud apropiada que haga posible que el sistema 10 de generador de turbina eólica funcione según lo descrito en la presente memoria. Por ejemplo, otros ejemplos no limitativos de longitudes de pala puede ser 10 m o menos, 20 m, 37 m o una longitud superior a 120 m. Cuando el viento golpea las palas 22 del rotor desde una dirección 28, el rotor 18 es rotado alrededor de un eje geométrico de rotación 30. Cuando las palas 22 del rotor son rotadas y sometidas a fuerzas centrífugas, las palas 22 del rotor son también sometidas a diversas fuerzas y momentos. En cuanto tales, las palas 22 del rotor pueden desviarse y / o rotar desde una posición neutral, o no desviada, hasta una posición desviada. Además, un ángulo de paso o paso de pala de las palas 22 del rotor, esto es, un ángulo que determina una perspectiva de las palas 22 del rotor con respecto a la dirección 28 del viento, puede ser modificado mediante un sistema 32 de ajuste del paso para controlar la carga y la potencia generadas por el sistema 10 de generador de turbina eólica mediante el ajuste de una posición angular mediante de al menos una pala 22 del rotor con respecto a los vectores del viento. Durante la operación del sistema 10 de generador de turbina eólica, el sistema 32 de ajuste del paso puede modificar un paso de pala de las palas 22 del rotor, de forma que las palas 22 del rotor sean desplazadas a una posición de puesta en bandolera, de forma que la perspectiva de al menos una pala 22 con respecto a los vectores del viento proporcione un área de superficie mínima de la pala 22 del rotor que esté orientada hacia los vectores del viento, lo que facilita la reducción de una velocidad rotacional del rotor 18 o facilita una pérdida de sustentación del rotor 18.

En la forma de realización ejemplar, un paso de pala de cada pala 22 del rotor es controlado de forma individual mediante un sistema 36 de control. Como alternativa, el paso de pala para todas las palas 22 del rotor puede ser controlado de manera simultánea por el sistema 36 de control. Así mismo, en la forma de realización ejemplar, cuando la dirección 28 cambia, una dirección de guiñada de la góndola 16 puede ser controlada alrededor de un eje geométrico 38 de guiñada para situar las palas 22 del rotor con respecto a la dirección 28.

En la forma de realización ejemplar, el sistema 36 de control se muestra centralizado dentro de la góndola 16, sin embargo, el sistema 36 de control puede ser un sistema distribuido a lo largo del sistema 10 de turbina eólica sobre una superficie 14 de soporte, dentro de un parque eólico, y / o en un centro por control remoto. El sistema 36 de control incluye un procesador 40 configurado para llevar a cabo los procedimientos y / o las etapas descritas en la presente memoria. Así mismo, muchos de los demás componentes descritos en la presente memoria incluyen un procesador. Según se utiliza en la presente memoria, el término “procesador” no está limitado a circuitos integrados designados en la técnica como ordenador, sino que se refiere, en sentido amplio, a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables, y estos términos se utilizan en la presente memoria de forma

intercambiable. Se debe entender que un procesador y / o un sistema de control puede también incluir una memoria, unos canales de entrada y / o unos canales de salida.

En las formas de realización descritas en la presente, la memoria puede incluir, sin limitación, un medio legible por ordenador, como por ejemplo una memoria de acceso aleatorio (RAM), y un medio no volátil legible por ordenador, como por ejemplo una memoria *flash*. Como alternativa, también se pueden utilizar un disco flexible, un disco compacto - memoria de solo lectura (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), y / o un disco versátil digital (DVD). Así mismo, en las formas de realización descritas en la presente memoria, los canales de entrada incluyen, sin limitación, sensores y / o periféricos de ordenador, asociados con una interfaz de operador, como por ejemplo un ratón y un teclado. Así mismo, en la forma de realización ejemplar, los canales de salida pueden incluir, sin limitación, un dispositivo de control, un monitor de interfaz de operador y / o una pantalla.

Los procesadores descritos en la presente memoria, procesan la 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 físicamente situados en, por ejemplo, un sistema de control, un sensor, un dispositivo de monitorización, un ordenador de escritorio, un ordenador portátil, un armario de controlador de lógica programable (PLC), y / o un armario de sistema de control distribuido (DCS). La RAM y los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones destinadas a ser ejecutadas por el (los) procesador(es). La RAM y los dispositivos de almacenamiento pueden también ser almacenados para almacenar y proporcionar variables temporales, información estática (esto es, no modificable) e instrucciones u otras informaciones intermedias a los procesadores durante la ejecución de las instrucciones mediante el (los) procesador(es). Las instrucciones que son ejecutadas pueden incluir, sin limitación, unos comandos de control del sistema de control de turbina eólica. La ejecución de las secuencias de instrucciones no está limitada a cualquier combinación específica de conjuntos de circuitos de hardware y de instrucciones de software.

La FIG. 2 es una vista en sección de tamaño ampliado de una porción de un sistema 10 de generador de turbina eólica. En la forma de realización ejemplar, el sistema 10 de generador de turbina eólica incluye la góndola 16 y el buje 20 que está acoplado de forma rotatoria a la góndola 16. Más en concreto, el buje 20 está acoplado de forma rotatoria a un generador 42 eléctrico situado dentro de la góndola 16 mediante un eje 44 del rotor (algunas veces designado como o bien eje principal o bien eje de baja velocidad), una caja de engranajes 46, y un eje 48 de alta velocidad. La rotación del eje 44 del rotor acciona de forma rotatoria la caja de engranajes 46 que, a su vez, acciona el eje 48 de alta velocidad. El eje 48 de alta velocidad acciona de forma rotatoria el generador 42 para facilitar la producción de energía eléctrica por parte del generador 42. En la forma de realización ejemplar, la caja de engranajes 46 utiliza una configuración geométrica de trayectoria doble para accionar el eje de alta velocidad. Como alternativa, el eje 44 del rotor está acoplado directamente al generador 42. La caja de engranajes 46 y el generador 42 son soportados por el conjunto 50 de soporte del generador. El conjunto 50 de soporte del generador incluye un bastidor de soporte principal o placa de asiento 52 y un bastidor del generador o porción 54 trasera del bastidor. En la forma de realización ejemplar, el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural está acoplado a un bastidor entre el bastidor 52 de soporte principal y el bastidor 54 del generador. Más en concreto, el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural incluye al menos un sensor 56 acoplado operativamente al bastidor 52 de soporte principal y / o al bastidor 54 del generador para detectar las discontinuidades estructurales introducidas dentro del conjunto 50 de soporte del generador. En una forma de realización alternativa, el sensor 56 está acoplado operativamente a la torre 12, al buje 20 y / o a la góndola 16 para detectar las discontinuidades estructurales producidas dentro del sistema 10 de turbina eólica.

La góndola 16 incluye también un mecanismo 58 de accionamiento de guiñada que puede ser utilizado para hacer rotar la góndola 16 y el buje 20 sobre un eje geométrico 38 de guiñada (mostrado en la FIG. 1) para controlar la perspectiva de las palas 22 del rotor con respecto a la dirección 28 del viento. En la forma de realización ejemplar, la góndola 16 incluye también un cojinete 60 de soporte delantero principal y un cojinete 62 de soporte del eje principal. El cojinete 60 de soporte delantero y el cojinete 62 de soporte del eje principal facilitan el soporte y la porción radial del eje 44 del rotor. El cojinete 60 de soporte delantero está acoplado al eje 44 del rotor cerca del buje 20. El cojinete 62 de soporte del eje principal está situado sobre el eje 44 del rotor cerca de la caja de engranajes 46 y / o del generador 42. La góndola 16 puede incluir un número indeterminado de cojinetes de soporte que hagan posible que el sistema 10 de generador de turbina eólica funcione según lo descrito en la presente memoria. El eje 44 del rotor, el generador 42, la caja de engranajes 46, el eje 48 de alta velocidad y cualquier medio de sujeción asociado y / o dispositivo de soporte incluyendo, pero no limitado, al bastidor 52 de soporte principal y / o el bastidor 54 del generador, y el cojinete 60 de soporte delantero y el cojinete 62 de soporte del eje principal, algunas veces se designan como tren 64 de accionamiento. En una forma de realización, el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural está acoplado al tren 64 de accionamiento para detectar las discontinuidades estructurales producidas dentro del tren 64 de accionamiento.

En la forma de realización ejemplar, el buje 20 incluye un conjunto 66 del paso que incluye uno o más sistemas 68 de accionamiento del paso. El conjunto 68 del sistema del paso está acoplado a una pala 22 respectiva del rotor (mostrada en la FIG. 1) para modular el paso de la pala 22 asociada del rotor a lo largo del eje geométrico 34 del paso. En la FIG. 2, solo se muestra uno de los tres sistemas 68 de accionamiento del paso.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques de un sistema 24 ejemplar de vigilancia de la salud estructural para vigilar una salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica. El sistema 24 de vigilancia de la salud estructural incluye una red 102. Por ejemplo, la red 102 puede incluir, sin limitación, Internet, una red de área local (LAN), una red de área extensa (WAN), una LAN inalámbrica (WLAN), una red mallada y / o una red privada virtual (VPN). Un dispositivo 104 informático de usuario y uno o más controladores 106 de vigilancia de la salud estructural están configurados para quedar comunicativamente acoplados entre sí por medio de la red 102. El dispositivo 104 informático de usuario y el controlador 106 de vigilancia de la salud estructural comunican entre sí y / o con la red 102 utilizando una conexión de red cableada (por ejemplo, Ethernet o una fibra óptica), unos medios de comunicación inalámbricos, como por ejemplo radiofrecuencia (RF), un estándar 802.11 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (por ejemplo, el estándar 802.11 (g) o el 802.11 (n)), el estándar de Interoperabilidad Mundial de Acceso por Microondas (WIMAX), una tecnología de teléfonos celulares (por ejemplo, el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM)), un enlace de comunicaciones por satélite y / o cualquier otro medio de comunicación apropiado. WIMAX es una marca registrada de WiMax Forum, de Beaverton, Oregón. La IEEE es una marca registrada del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Inc. de Nueva York, Nueva York.

Según lo descrito con mayor detalle más adelante, con referencia a la FIG. 4 y a la FIG. 5, cada uno de los dispositivos 104 informáticos de usuario y el controlador 106 de vigilancia de la salud estructural incluye un procesador. Cada uno de los dispositivo 104 informático y el controlador 106 de vigilancia de la salud estructural es configurable para llevar a cabo las operaciones descritas en la presente memoria mediante la programación del correspondiente procesador. Por ejemplo, un procesador puede ser programado mediante la codificación de una operación como una o más instrucciones ejecutables y la provisión de las instrucciones ejecutables por el procesador en un área de memoria acoplada al procesador. El área de memoria puede incluir, sin limitación, uno o más dispositivos de acceso aleatorio (RAM), uno o más dispositivos de almacenamiento y uno o más medios legibles por ordenador.

La FIG. 4 es un diagrama de bloques que ilustra un dispositivo 104 ejemplar informático de usuario para su uso con el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural. El dispositivo 104 informático de usuario incluye un procesador 202 para ejecutar instrucciones. En algunas formas de realización, las instrucciones ejecutables son almacenadas en un área 204 de memoria. El procesador 202 puede incluir una o más unidades de procesamiento (por ejemplo en una configuración de varias unidades principales). El área 204 de memoria es cualquier dispositivo que permita información, como por ejemplo instrucciones ejecutables y / u otros datos, destinados a ser almacenados y recuperados.

El dispositivo 104 informático de usuario incluye también al menos un componente 206 de salida de medios para presentar información a un usuario 208. El componente 206 de salida de medios es cualquier componente capaz de transmitir información al usuario 208. El componente 206 de salida de medios puede incluir, sin limitación, un dispositivo de representación (por ejemplo una pantalla de cristal líquido (LCD), una pantalla de diodo fotoemisor orgánico (OLED) o una pantalla de "tinta electrónica") o un dispositivo de salida de audio (por ejemplo un altavoz o unos cascos).

En algunas formas de realización, el dispositivo 104 informático de usuario incluye un dispositivo 210 de entrada para recibir una entrada procedente del usuario 208. El dispositivo 210 de entrada puede incluir, por ejemplo, un teclado, un dispositivo señalizador, un ratón, un estilete, un panel sensible al tacto (por ejemplo una tableta táctil o una pantalla táctil), un giroscopio, un acelerómetro, un detector de la posición y / o un dispositivo de entrada de audio. Un componente único, como por ejemplo una pantalla táctil, puede funcionar tanto como dispositivo de salida del componente 206 de salida de medios como dispositivo 210 de entrada. El dispositivo 104 informático de usuario incluye también una interfaz 212 de comunicación, la cual está configurada para ser acoplada de forma comunicativa con la red 102 y / o con el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un controlador 106 ejemplar de vigilancia de la salud estructural. En la forma de realización, el controlador 106 de vigilancia de la salud estructural incluye un controlador 302, una memoria 304 y un módulo 306 de comunicaciones. El módulo 306 de comunicaciones incluye una interfaz 308 de sensor que facilita la posibilidad de que el controlador 302 comunique con un sensor 56 montado en cualquier emplazamiento apropiado sobre o dentro de o fuera del sistema 10 de generador de turbina eólica. En un sistema de comunicación, la interfaz 308 de sensor incluye un convertidor analógico a digital que convierte una señal de tensión analógica generada por el sensor 56 en una señal digital multibit utilizable por el controlador 302. En formas de realización alternativas, el módulo 306 de comunicaciones puede incluir cualquier dispositivo de comunicaciones cableado y / o inalámbrico que facilite la transmisión de señales hacia y / o la recepción de señales desde cualquier dispositivo situado sobre o dentro, o fuera del sistema 10 de generador de turbina eólica y / o distante del sistema 10 de generador de turbina eólica. En la forma de realización ejemplar, la memoria 304 puede incluir cualquier dispositivo de almacenamiento apropiado, incluyendo sin limitación, una memoria *flash*, una memoria programable eléctricamente borrable, una memoria de solo lectura (ROM), unos medios extraíbles y / u otros dispositivos de almacenamiento volátiles y no volátiles. En una forma de realización, unas instrucciones ejecutables (esto es, instrucciones de software) son almacenadas en la memoria 304 para su uso con el controlador 302 para controlar el sistema 10 de generador de turbina eólica, como se describe más adelante.

En la forma de realización ejemplar, el controlador 302 es un controlador en tiempo real que incluye cualquier sistema apropiado basado en procesador o en microprocesador, como por ejemplo un sistema informático que incluya microcontroladores, circuitos con conjunto de instrucciones reducido (RISC), circuitos integrados específicos de la aplicación (ASICs), circuitos lógicos y / o cualquier otro circuito o procesador que sea capaz de ejecutar las funciones descritas en la presente memoria. En una forma de realización, el controlador 302 puede ser un microprocesador que incluya una memoria de solo lectura (ROM) y / o una memoria de acceso aleatorio (RAM), como por ejemplo un microordenador de 32 bits con una ROM de 2 Mbit y una RAM de 64 Kbit. Según se utiliza en la presente memoria, el término “tiempo real” se refiere a los resultados que se producen en un periodo de tiempo sustancialmente corto después de que un cambio en las entradas afecten al resultado, siendo el periodo de tiempo un parámetro de diseño que puede ser seleccionado en base a la importancia del resultado y / o la capacidad del sistema que procesa las entradas para generar el resultado.

En la forma de realización ejemplar, el sensor 56 está acoplado de forma comunicativa al controlador 302 por medio de cualquier medio de comunicación cableado y / o inalámbrico apropiado por medio de la interfaz 308 de sensor del módulo 306 de comunicaciones para facilitar la posibilidad de que el sensor 56 transmita señales a / o reciba señales del controlador 106 de vigilancia de la salud estructural. En la forma de realización ejemplar, el sensor 56 detecta continuamente las discontinuidades estructurales formadas dentro del conjunto 50 de soporte del generador (mostrado en la FIG. 2) y el sensor 56 transmite continuamente señales indicativas de las discontinuidades estructurales detectadas al controlador 302 en tiempo real. En una forma de realización, el controlador 302 puede estar configurado para recibir continuamente y vigilar las señales transmitidas por el sensor 56. En una forma de realización alternativa, el controlador 302 puede no recibir y / o monitorizar continuamente las señales transmitidas por el sensor 56 sino que, antes bien, puede estar configurado para solicitar de manera iterativa señales procedentes del sensor 56 a intervalos de tiempo definidos. En determinadas formas de realización, el controlador 302 y / o el sensor 56 pueden transmitir señales hacia y / o recibir señales en cualquier periodo de tiempo apropiado.

La FIG. 6 es una vista en perspectiva de un sistema 24 ejemplar de vigilancia de la salud estructural montado con respecto a un conjunto 50 de soporte del generador. Los componentes mostrados en la FIG. 2 están señalados con los mismos números de referencia en la FIG. 6. En la forma de realización ejemplar, el conjunto 50 de soporte del generador, incluye una placa de asiento 52 y una porción 54 trasera del bastidor que está dispuesta en voladizo respecto de la placa de asiento 52. El conjunto 50 de soporte del generador incluye una pluralidad de tirantes 408 apropiadamente acoplados en las juntas 410. Como alternativa, el conjunto 50 de soporte del generador puede presentar cualquier configuración de bastidor apropiada incluyendo una sola unidad contigua o más de dos unidades. En la forma de realización ejemplar, la porción 54 trasera del bastidor incluye una pluralidad de tirantes 412 de soporte que están acoplados en una pluralidad de juntas 414 con una pluralidad de soldaduras apropiadas y / o mecanismos de acoplamiento. En una forma de realización, la porción 54 trasera del bastidor incluye al menos un miembro 416 de soporte que se extiende hacia fuera desde la placa de asiento 52, y al menos un miembro 418 transversal de soporte que se extiende desde el miembro 416 de soporte. Cada miembro 416 de soporte incluye un primer extremo 420 y un segundo extremo 422. En la forma de realización ejemplar, el segundo extremo 422 está acoplado a la placa de asiento 52 en una junta 424. Un conjunto 50 de soporte del generador puede, en determinadas condiciones, ser sometido a grandes esfuerzos que pueden provocar agrietamientos por fatiga o averías, en particular en la junta 424 entre la placa de asiento 52 y la porción 54 trasera del bastidor. Durante la operación del sistema 10 de generador de turbina eólica, una discontinuidad estructural puede formarse dentro del conjunto 50 de soporte del generador en o cerca de la junta 424 o en cualquier otro emplazamiento dentro del conjunto 50 de soporte del generador.

En la forma de realización ejemplar, el sensor 56 está acoplado al conjunto 50 de soporte del generador para detectar una discontinuidad estructural dentro del conjunto 50 de soporte del generador. Más en concreto, el sensor 56 está acoplado a la placa de asiento 52 y / o a la porción 54 trasera del bastidor. En una forma de realización, el sensor 56 está acoplado a la porción 54 trasera del bastidor en o cerca de la junta 424. En otra forma de realización, uno o más sensores 56 están acoplados a uno o más tirantes 412 de soporte en o cerca de una respectiva junta 414. En una forma de realización adicional, los sensores 56 están acoplados al primer extremo 420 y al segundo extremo 422 del miembro 416 de soporte y a una porción 430 intermedia del miembro 418 transversal del soporte. En la forma de realización ejemplar, los sensores 56 incluyen al menos un sensor 432 ultrasónico. En otras formas de realización, los sensores 56 pueden incluir cualquier sensor apropiado que posibilite que el sistema 34 de vigilancia de la salud estructural funcione según lo descrito en la presente memoria. Como alternativa, cualquier número apropiado de sensores 56 puede estar montado en cualquier emplazamiento apropiado, dentro de la góndola 16, dentro de la torre 12, por fuera de la góndola 16 y / o por fuera de la torre 12 para posibilitar que el sistema 24 de vigilancia de la salud estructural funcione según lo descrito en la presente memoria.

Durante la operación del sistema 10 de generador de turbina eólica, el controlador 302 está configurado para recibir señales indicativas de una discontinuidad estructural procedente del sensor 56. El controlador 302 está configurado para asociar un valor de discontinuidad estructural (esto es, un valor indicativo de una magnitud y / o una dirección de la discontinuidad estructural) con cada señal recibida. Después de asociar un valor de discontinuidad con cada señal recibida, el controlador 302 está configurado para calcular una salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica utilizando al menos uno de los valores de discontinuidad estructurales asociados con la discontinuidad estructural detectada, y para comparar la salud estructural calculada con una salud estructural predefinida del sistema 10 de generador de turbina eólica. En la forma de realización ejemplar, el controlador 302

está también configurado para transmitir una primera señal de notificación al dispositivo 104 informático de usuario (mostrado en la FIG. 4) tras la recepción de una señal indicativa de una discontinuidad estructural procedente del sensor 56. El dispositivo 104 informático de usuario está configurado para representar una primera notificación al usuario 208 con el componente 206 de salida de medios. En una forma de realización, el controlador 302 está configurado para transmitir una segunda señal de notificación al dispositivo 104 informático de usuario tras la determinación de que la salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica es inferior a la salud estructural predefinida. El dispositivo 104 informático de usuario está configurado para representar una segunda notificación al usuario 208 con el componente 206 de salida de medios tras la recepción de la segunda señal de notificación procedente del controlador 302. En una forma de realización alternativa, el controlador 302 está configurado para operar el sistema 10 de generador de turbina eólica en una operación de seguridad tras la determinación de que la salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica es inferior a la salud estructural predefinida. En la forma de realización alternativa, las operaciones de seguridad incluyen, por ejemplo, facilitar la reducción de una vibración del conjunto 50 de soporte del generador, reduciendo una velocidad rotacional del rotor 18, incrementar una velocidad rotacional del rotor 18, reducir una resistencia eléctrica del generador 42 transmitida sobre el eje 44 del rotor y / o reducir un esfuerzo estructural transmitido al tren 64 de accionamiento, a la torre 12, a la góndola 16 y / o al buje 20. En otra forma de realización, el controlador 302 está configurado para controlar al menos un sistema 68 de accionamiento del paso en respuesta a una salud estructural determinada de un sistema 10 de generador de turbina eólica para facilitar la reducción de la velocidad rotacional del rotor 18. En una forma de realización, el controlador 302 puede estar configurado para controlar el sistema 68 de accionamiento del paso en respuesta a una salud estructural determinada del sistema 10 de generador de turbina eólica para facilitar la reducción de la velocidad rotacional del rotor 18. En una forma de realización, el controlador 302 puede estar configurado para controlar el sistema 68 de accionamiento del paso en respuesta a una salud estructural determinada del sistema 10 de generador de turbina eólica para desplazar la pala 22 del rotor hasta una posición en bandolera para ralentizar una rotación del rotor 18.

La FIG. 7 es una vista de tamaño ampliado de un sistema 500 alternativo de vigilancia de la salud estructural para su uso con el sistema 10 de generador de turbina eólica. En la forma de realización alternativa, el sistema 500 de vigilancia de la salud estructural incluye un sensor 502 de resistencia acoplado a un componente 504 estructural de un sistema 10 de generador de turbina eólica, como por ejemplo el conjunto 50 de soporte del generador, de la torre 12 y / o de la góndola 16 (mostrado en la FIG. 2). Un grupo electrógeno 506 está acoplado al sensor 502 de resistencia para proporcionar una tensión de energía eléctrica al sensor 502 de resistencia. El sensor 502 de resistencia incluye al menos una barra 508 de resistencia alineada a través de una discontinuidad 510 estructural formada dentro del componente 504 estructural. En una forma de realización, el sensor 502 de resistencia incluye una pluralidad de barras 508 de resistencia cada una de las cuales incluye un valor de resistencia diferente del valor de resistencia de una barra 508 de resistencia adyacente. En la forma de realización alternativa, el sensor 502 de resistencia está acoplado al componente 504 estructural de forma que al menos una porción del sensor 502 de resistencia cubra la discontinuidad 510 estructural. En una forma de realización, la discontinuidad 510 estructural es un agrietamiento 512 estructural que tiene una longitud 514. Por ejemplo, durante la operación del sistema 10 de generador de turbina eólica, el agrietamiento 512 estructural puede aumentar de longitud desde una primera longitud 516 hasta una segunda longitud 518 en una primera dirección 520 a través del componente 504 estructural. El sensor 502 de resistencia está situado sobre el agrietamiento 512 estructural de forma que una primera barra 522 de resistencia esté situada en posición adyacente a la primera longitud 516 y alineada con respecto a la primera dirección 520, como por ejemplo sustancialmente perpendicular a la primera dirección 520. Cuando el agrietamiento 512 estructural aumenta de longitud de la primera longitud 516 a la segunda longitud 518, el agrietamiento 512 estructural se extiende a través de una primera barra 522 de resistencia y separa la primera barra 522 de resistencia en al menos dos segmentos. Cuando la primera barra 522 de resistencia se separa, una resistencia global a través del primer sensor 502 de resistencia aumenta desde una primera resistencia a una segunda resistencia, y el sensor 502 de resistencia transmite una señal al controlador 302 indicativa del cambio de la resistencia global. Cuando el agrietamiento 512 estructural aumenta de longitud de la segunda longitud 518 hasta una tercera longitud 524, el agrietamiento 512 estructural se extiende también a través de una segunda barra 526 de resistencia y provoca que la segunda barra 526 de resistencia se separe en al menos dos segmentos. Cuando la segunda barra 526 de resistencia se separa, la resistencia global a través del sensor 502 de resistencia aumenta de una segunda resistencia a una tercera resistencia, y el sensor 502 de resistencia transmite una señal indicativa del cambio en la resistencia global a través del sensor 502 de resistencia. En una forma de realización, cada barra 508 de resistencia adyacente a lo largo de la dirección 520 incluye una reducción escalonada de la resistencia de forma que cuando cada barra 508 de resistencia es separada, el valor de la resistencia a través del sensor 502 de resistencia disminuye.

En la forma de realización alternativa, el controlador 302 está configurado para recibir señales indicativas de la longitud 514, como por ejemplo la primera longitud 516, la segunda longitud 518 o la tercera longitud 524, de la discontinuidad 510 estructural desde el sensor 502 de resistencia, y está configurado para asociar un valor de longitud de discontinuidad estructural con cada señal recibida. El controlador 302 está también configurado para calcular una salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica en base a la longitud 514 de la discontinuidad estructural y para comparar la salud estructural calculada con una salud estructural predefinida del sistema 10 de generador de turbina eólica. En la forma de realización alternativa, el controlador 302 está configurado para transmitir la segunda señal de notificación al dispositivo 104 informático de usuario tras la determinación de que

la longitud 514 de discontinuidad estructural detectada es más larga que la longitud de la discontinuidad estructural predefinida. En una forma de realización, el controlador 302 está configurado para controlar el sistema 68 de accionamiento del paso para desplazar la pala 22 del rotor hasta una posición en bandolera para ralentizar una rotación del rotor 18 tras la determinación de que la longitud 514 de la discontinuidad estructural detectada es mayor que la longitud de la discontinuidad estructural predefinida.

En una forma de realización, el sensor 502 de resistencia está configurado para transmitir una primera señal indicativa de la primera longitud 516 y para transmitir una segunda señal indicativa de la segunda longitud 518 al controlador 302. El controlador 302 está configurado para calcular un periodo de tiempo entre la recepción de la primera señal y de la segunda señal. El controlador 302 está también configurado para calcular una velocidad de expansión de la discontinuidad estructural igual a la diferencia entre la primera longitud y la segunda longitud dividida por el periodo de tiempo calculado. El controlador 302 está también configurado para determinar la salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica en base a la velocidad de expansión calculada y para comparar la salud estructural calculada con una salud estructural predefinida del sistema 10 de generador de turbina eólica. En una forma de realización alternativa, el controlador 302 está configurado para controlar el sistema 68 de accionamiento del paso para desplazar la pala 22 del rotor hasta una posición en bandolera tras la determinación de que la velocidad de expansión calculada es mayor que una velocidad de expansión predefinida.

En una forma de realización, el sistema 500 de vigilancia de la salud estructural incluye un sensor 530 ultrasónico acoplado al componente 504 estructural. El sensor 530 ultrasónico está configurado para transmitir al menos una señal o una onda 532 sonora de alta frecuencia dentro del componente 504 estructural hacia el agrietamiento 512 estructural y para recibir al menos una onda sonora de retorno o eco 534 reflejada a partir del agrietamiento 512 estructural. El sensor 530 ultrasónico está también configurado para calcular un intervalo de tiempo entre el envío de la onda 532 sonora de alta frecuencia y la recepción del eco 534, y transmitir una señal indicativa del intervalo de tiempo al controlador 302. El controlador 302 está configurado para determinar una longitud del agrietamiento 512 estructural en base a la señal recibida desde el sensor 530 ultrasónico.

La FIG. 8 es un diagrama de flujo de un procedimiento 600 ejemplar de operación de un sistema 24 de vigilancia de la salud estructural. En la forma de realización ejemplar, el procedimiento 600 incluye la transmisión 602, por el sensor 56, de al menos una primera señal de vigilancia indicativa de una discontinuidad estructural al controlador 302 de vigilancia de la salud estructural. El controlador 302 calcula 604 una salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica en base a la primera señal de vigilancia, y compara 606 la salud estructural calculada con una salud estructural predefinida. El controlador 302 transmite 608 una primera señal de notificación al dispositivo 304 informático de usuario tras recibir una señal indicativa de la discontinuidad estructural. El controlador 302 transmite 610 también una segunda señal de notificación al dispositivo 104 informático de usuario tras la determinación 612 de que la salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica es inferior a una salud estructural predefinida. En una forma de realización, el controlador 302 opera 614 el sistema 68 de accionamiento del paso para hacer rotar la pala 22 del rotor hasta una posición en bandolera para ralentizar una rotación del rotor 18 tras la determinación 612 de que la salud estructural del sistema 10 de generador de turbina eólica es inferior a una salud estructural predefinida.

Un efecto técnico ejemplar cierto de los procedimientos, el sistema y el aparato descritos en la presente memoria puede incluir al menos una de las siguientes etapas: (a) la transmisión, desde un sensor hasta un controlador, de al menos una señal de vigilancia indicativa de una discontinuidad estructural; (b) el cálculo, mediante un dispositivo informático, de una salud estructural de una turbina eólica en base a la señal de vigilancia; (c) la comparación de la salud estructural calculada con una salud estructural predefinida; (d) la transmisión de la primera señal de notificación desde el controlador hasta un dispositivo remoto tras la recepción de una señal indicativa de la discontinuidad estructural; (e) la transmisión de una segunda señal de notificación desde el controlador hasta el dispositivo a distancia tras la determinación de que la salud estructural es menor que una salud estructural predefinida; y (f) la operación de un sistema de accionamiento del paso para hacer rotar una pala del rotor hasta una posición en bandolera tras la determinación de que la salud del componente estructural es menor que una salud estructural predefinida.

Los sistemas y procedimientos descritos con anterioridad facilitan la vigilancia de la salud estructural de una turbina eólica. Más en concreto, un sistema de vigilancia de la salud estructural facilita la detección de una o más discontinuidades estructurales dentro de los componentes de la turbina eólica y la determinación de la salud de la turbina eólica en base a las una o más discontinuidades estructurales. Así mismo, el sistema descrito en la presente memoria opera la turbina eólica en una operación de seguridad tras la determinación de que la salud del sistema de turbina eólica es diferente de una salud estructural predefinida. En cuanto tal, se facilita que el daño que pueda producirse a una turbina eólica durante su operación se reduzca o se elimine, extendiendo de esta manera la vida operativa de una turbina eólica.

En las líneas anteriores se han descrito con detalle formas de realización ejemplares de sistemas y procedimientos de vigilancia de una salud estructural de una turbina eólica. Los sistemas y procedimientos no están limitados a las formas de realización específicas descritas en la presente memoria sino que, antes bien, los componentes de los sistemas y / o etapas de los procedimientos pueden ser utilizados de manera independiente y por separado respecto de los demás componentes y / o etapas descritos en la presente memoria. Por ejemplo, los procedimientos pueden

también ser utilizados en combinación con los sistemas de vigilancia de turbina eólica, y no están limitados a su puesta en práctica con únicamente los sistemas de turbina eólica según se describen en la presente memoria. Antes bien, la forma de realización ejemplar puede ser puesta en práctica y utilizada en conexión con otras muchas aplicaciones de vigilancia de turbinas.

- 5 Aunque pueden mostrarse en algunos dibujos y no en otros características de diversas formas de realización de la invención, ello es únicamente por razones de comodidad. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede referirse y / o reivindicarse en combinación con cualquier otra característica de cualquier otro dibujo.

- 10 La presente descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para hacer posible que cualquier persona experta en la materia ponga en práctica la invención, incluyendo la realización y la utilización de cualquier dispositivo o sistema y la ejecución de cualquier procedimiento incorporado. El ámbito patentable de la invención se define por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que puedan estar alcance del experto en la materia. Dichos otros ejemplos están destinados a quedar incluidos en el ámbito de las reivindicaciones si presentan elementos estructurales que no difieran del tenor literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias intrascendentes respecto del tenor literal de las reivindicaciones.
- 15

**REIVINDICACIONES**

1.- Un sistema (24, 500) de vigilancia de salud estructural para su uso con una turbina eólica, comprendiendo dicho sistema de vigilancia de salud estructural:

5 al menos un sensor (56) que comprende un sensor (432) ultrasónico o un sensor (50) de resistencia que puede estar montado con respecto a un componente (504) estructural de la turbina eólica y configurado para detectar una discontinuidad estructural formada dentro del componente estructural, estando dicho sensor también configurado para transmitir al menos una señal de vigilancia indicativa de la discontinuidad estructural; y

10 un controlador (302) acoplado de forma comunicativa a dicho sensor para recibir la señal de vigilancia procedente de dicho sensor, estando dicho controlador configurado para:

determinar una salud estructural de la turbina eólica en base a la señal recibida;

transmitir una primera señal de notificación a un dispositivo informático de usuario tras la recepción de la señal de vigilancia; y

15 transmitir una segunda señal de notificación al dispositivo informático de usuario tras la determinación de que la salud estructural es inferior a una salud estructural predefinida;

20 en el que la discontinuidad estructural presenta una primera longitud (516), estando dicho sensor (530) configurado para transmitir la primera señal indicativa de la longitud de la discontinuidad estructural, estando dicho controlador (302) configurado para transmitir la segunda señal de notificación a dicho dispositivo informático de usuario tras la determinación de que la longitud de la discontinuidad estructural es mayor que una longitud predefinida:

**caracterizado porque:**

25 cuando la discontinuidad estructural aumenta de la primera longitud (516) hasta una segunda longitud (518), dicho sensor (530) está configurado para transmitir una primera señal indicativa de la primera longitud (516) y una segunda señal indicativa de la segunda longitud (518), y dicho controlador (302) está configurado para:

calcular una velocidad de expansión de la discontinuidad estructural en base a la primera longitud (516), la segunda longitud (518), y un periodo de tiempo entre la recepción de la primera señal y la recepción de la segunda señal; y

30 determinar que la salud estructural de la turbina eólica es inferior a una salud estructural cuando la velocidad de expansión calculada es mayor que una velocidad de expansión predefinida.

35 2.- Un sistema (24, 500) de vigilancia de salud estructural de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha turbina eólica incluye al menos una pala (22) del rotor acoplada a un sistema (68) de accionamiento del paso, estando dicho controlador (302) configurado para operar el sistema de accionamiento del paso para hacer rotar la pala del rotor tras la determinación de que la longitud de la discontinuidad estructural es mayor que una longitud predefinida.

3.- Un sistema (24, 500) de vigilancia de salud estructural de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicha turbina eólica incluye al menos una pala (22) del rotor acoplada a un sistema (68) de accionamiento del paso, estando dicho controlador (302) configurado para operar el sistema de accionamiento del paso para hacer rotar la pala del rotor tras la determinación de que la salud estructural es inferior a una salud estructural predefinida.

40 4.- Un sistema (24, 500) de vigilancia de salud estructural de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que dicho sensor (530) está montado con respecto a al menos un elemento de entre un bastidor (54) del generador y una torre (12) de la turbina eólica.

5.- Una turbina eólica, que comprende:

una torre (12);

45 una góndola (16) acoplada a dicha torre;

un generador (42) situado en dicha góndola;

un rotor (18) acoplado de forma rotatoria a dicho generador; y

50 un sistema (24, 500) de vigilancia de salud estructural operativamente acoplado a un componente (504) estructural de dicha turbina eólica, comprendiendo dicho sistema (24, 500) de vigilancia de salud estructural el sistema de la reivindicación 1.

FIG. 1

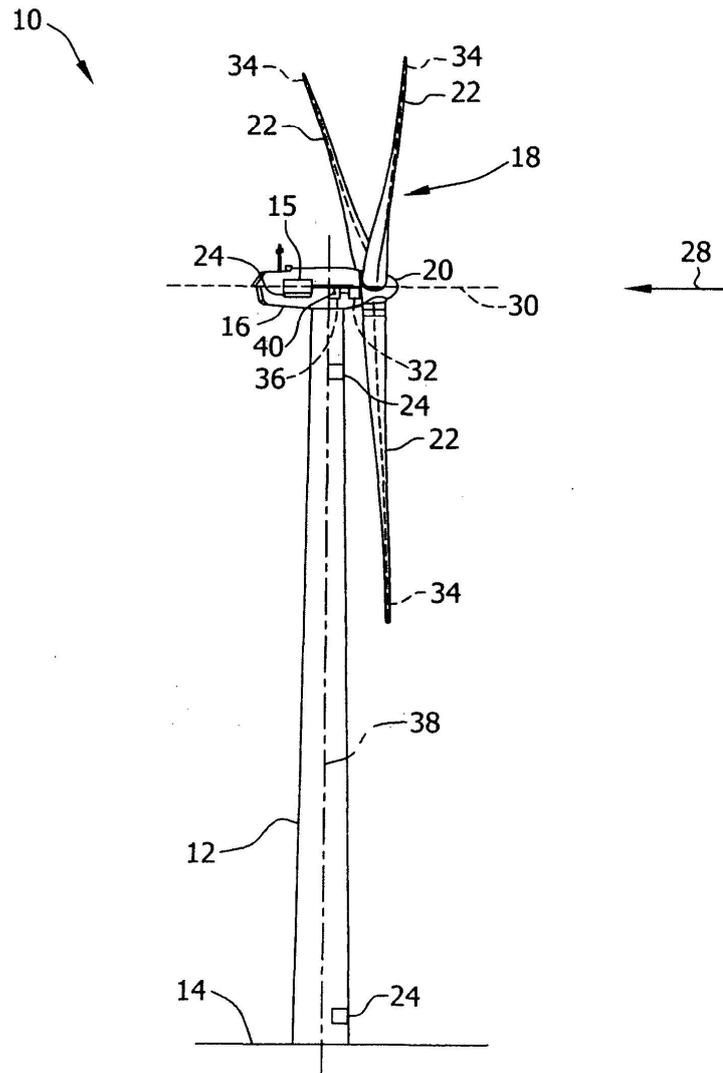


FIG. 2

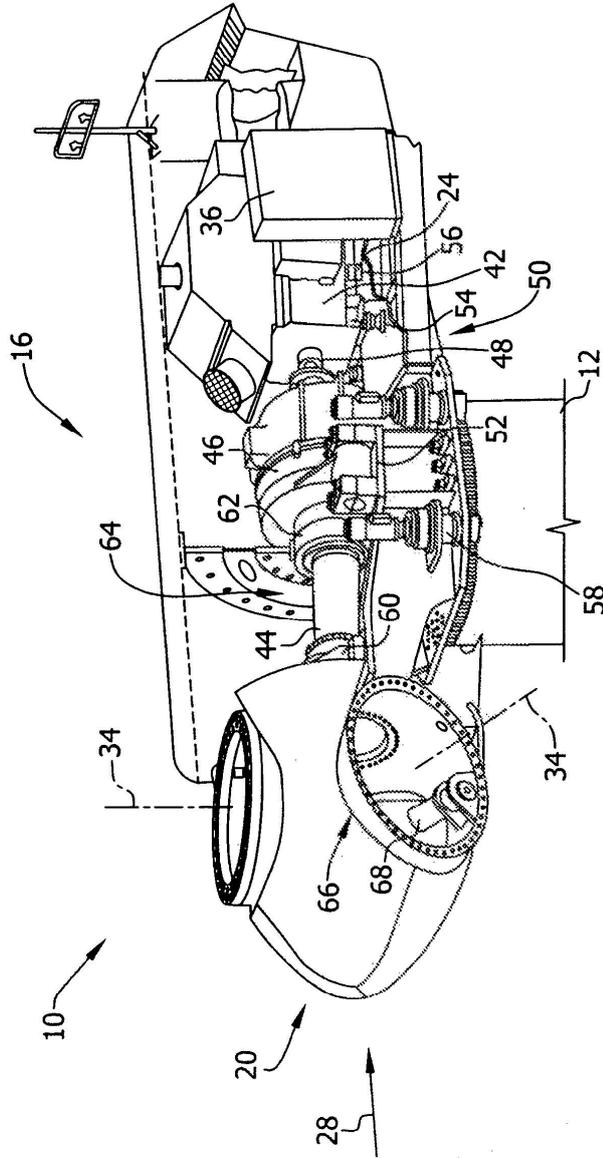


FIG. 3

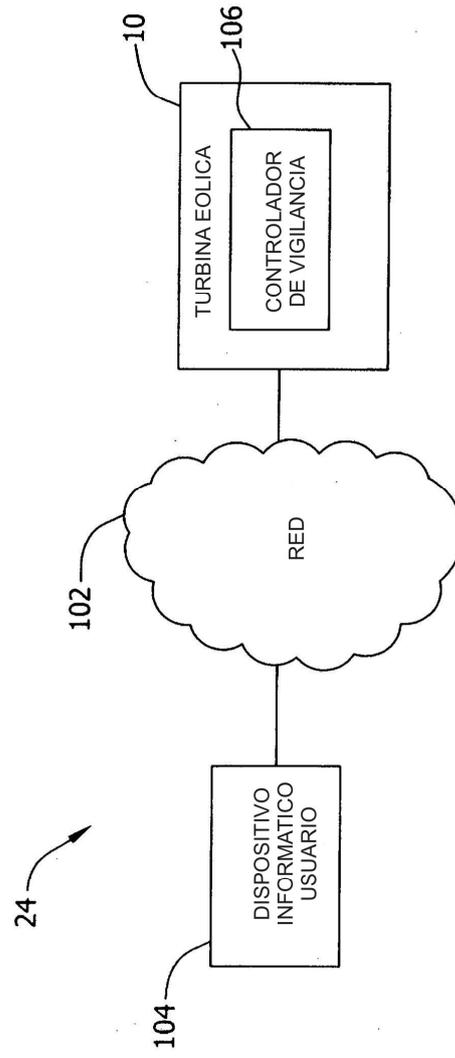


FIG. 4

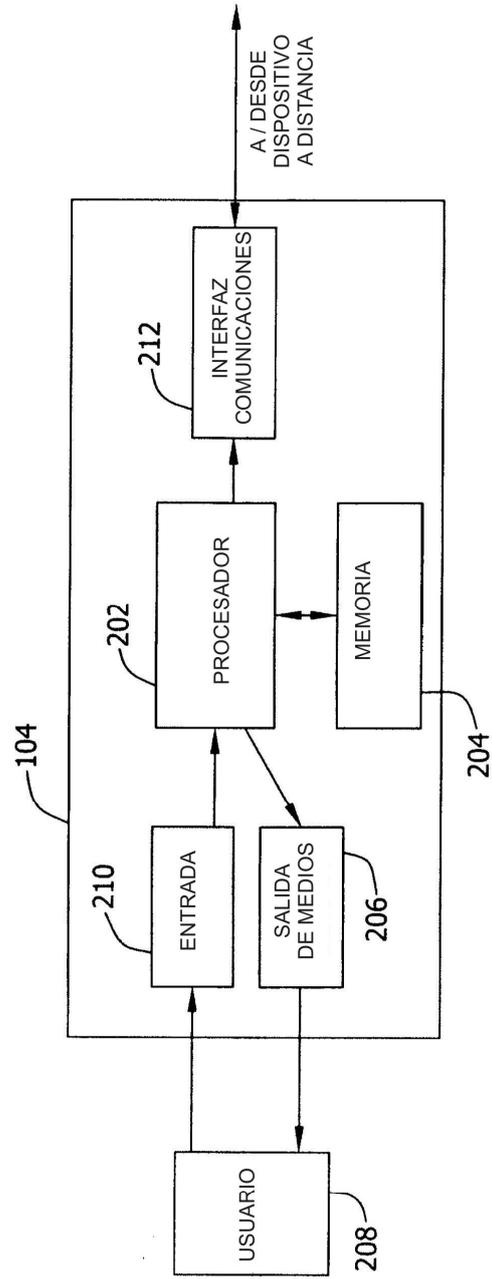
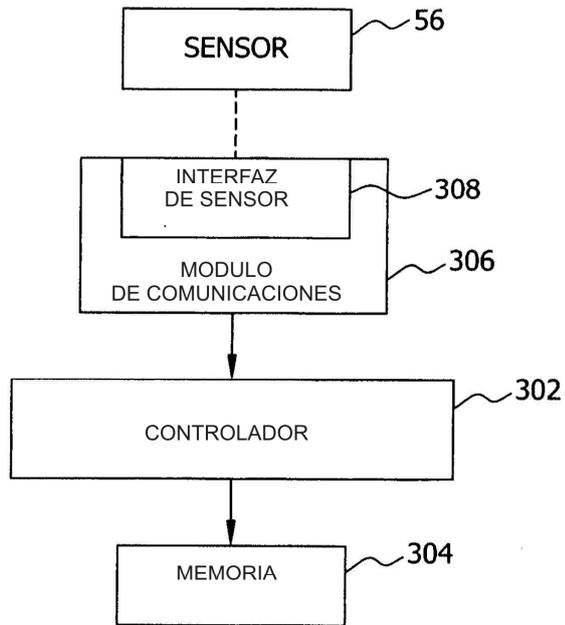


FIG. 5

106



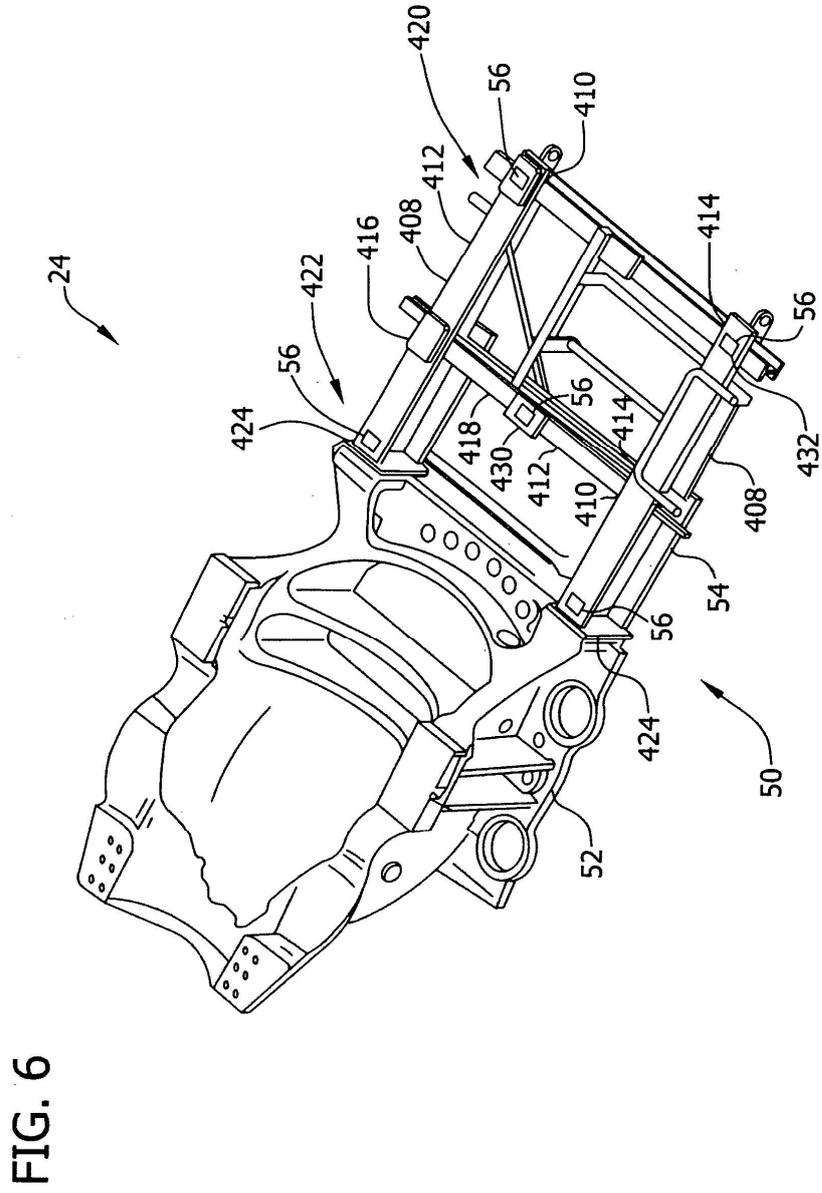


FIG. 6

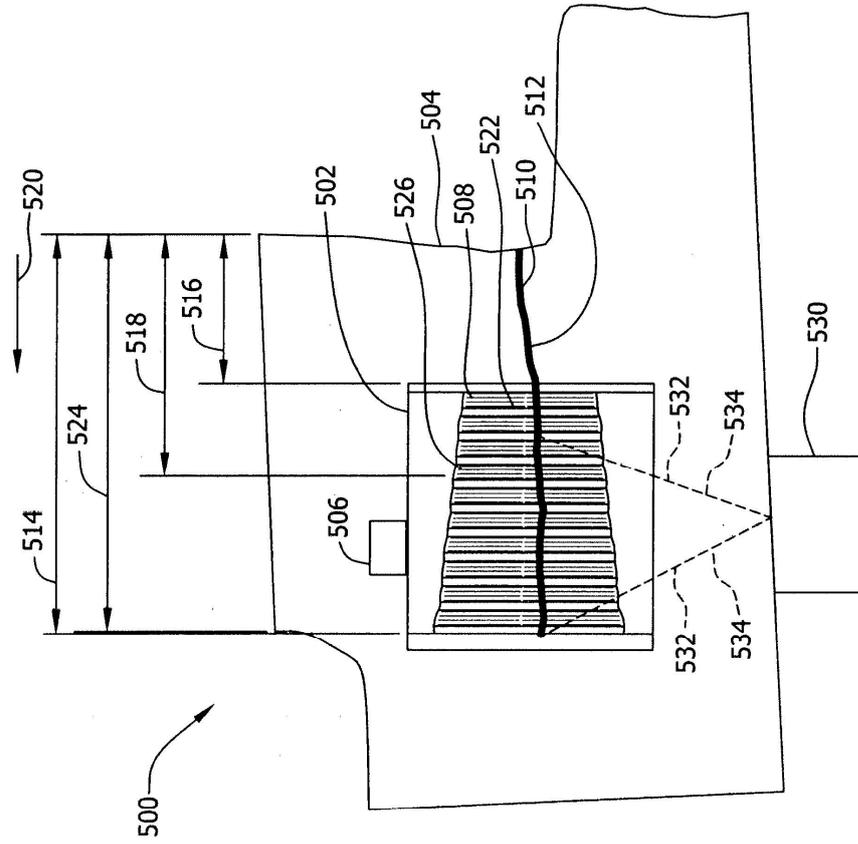


FIG. 7

FIG. 8

