

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 578 277**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/06 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2004 E 04756954 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2016 EP 1646786**

54 Título: **Procedimiento y aparato de control de carga de un rotor de turbina eólica basado en el desplazamiento radial del árbol**

30 Prioridad:

15.07.2003 US 620485

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

22.07.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PIERCE, KIRK G.;
LEMIEUX, DAVID LAWRENCE y
BLAKEMORE, RALPH W.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 578 277 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de control de carga de un rotor de turbina eólica basado en el desplazamiento radial del árbol

Campo

- 5 La invención se refiere a turbinas eólicas. Más particularmente, la invención se refiere al control de carga basado en el desplazamiento radial del árbol.

Antecedentes

- 10 Las turbinas eólicas de grado de utilidad (es decir, turbinas eólicas diseñadas para suministrar energía eléctrica a una red de suministro eléctrico) pueden tener grandes rotores (por ejemplo, de 30 o más metros de diámetro). La carga asimétrica a través de estos rotores se produce debido a la cizalladura del viento vertical y horizontal, desalineación de guiñada y turbulencias. Estas cargas asimétricas contribuyen a cargas extremas y a la cantidad de ciclos de fatiga en las palas del rotor y en otros componentes de la turbina eólica.

- 15 Diversas técnicas se han desarrollado para reducir la fatiga causada por la carga asimétrica de los rotores. Por ejemplo, en "Reduction of Fatigue Loads on Wind Energy Converters by Advanced Control Methods" de P. Caselitz, et al., Conferencia Europea de Energía Eólica, Octubre de 1997, Castillo de Dublín, Irlanda, se divulga una técnica para la amortiguación activa de oscilaciones de la torre. Sin embargo, las técnicas divulgadas en este documento se basan en la inclinación y la guiñada de la torre, que proporciona información general solamente sobre las cargas sobre componentes individuales de la turbina eólica.

- 20 Una técnica adicional se divulga en una solicitud internacional publicada bajo el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT), titulada "Procedimiento para controlar la operación de una turbina eólica y turbina eólica para su uso en dicho procedimiento" (Publicación WO 01/33075, número de solicitud PCT PCT/DK99/00595), publicado el 10 de mayo de 2001. La solicitud PCT divulga un controlador de turbina que controla el paso de las palas de la turbina eólica en función de las cargas mecánicas impuestas a las palas. Sin embargo, el sistema de control de la solicitud PCT es complejo porque múltiples salidas de los sensores de las palas deben evaluarse constantemente.

Breve descripción de los dibujos

La invención se ilustra a modo de ejemplo, y no a modo de limitación, en las figuras de los dibujos adjuntos, en las que números de referencia iguales se refieren a elementos similares.

La figura 1 es una realización de componentes de la turbina eólica.

- 30 La figura 2 es un diagrama de bloques de una realización de un sistema de control de paso de pala basado en mediciones del sensor.

La figura 3 es una vista de extremo de un árbol principal que tiene cuatro sensores en una primera configuración.

La figura 4 es una vista en perspectiva de un árbol principal que tiene cuatro sensores en una segunda configuración.

La figura 5 es una vista en perspectiva de un árbol principal que tiene cuatro sensores en una tercera configuración.

- 35 La figura 6 es un diagrama de bloques de una realización de un controlador de la turbina.

La figura 7 es un diagrama de flujo de una realización del control de paso de la pala de la turbina eólica en respuesta al desplazamiento de los componentes.

Descripción detallada

- 40 Se describen procedimientos y aparatos para el control de cargas de turbinas eólicas basados en el desplazamiento radial del árbol. En la siguiente descripción, con fines de explicación, se indican numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la invención. Sin embargo, será evidente para un experto en la técnica que la invención puede ponerse en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, se muestran estructuras y dispositivos en forma de diagrama de bloques para evitar oscurecer la invención.

- 45 Cizalladuras de viento verticales y horizontales, desalineación de guiñada y/o turbulencias actúan en conjunto para producir una carga asimétrica a través de un rotor de turbina eólica. La carga resultante produce momentos de flexión en las palas, que se hacen reaccionar a través del cubo y, posteriormente, en el árbol de baja velocidad. Como resultado, el árbol principal se desplaza desde su posición de reposo. Aunque el desplazamiento radial del árbol se puede medir usando un sensor, se requieren dos o más sensores colocados aproximadamente de manera ortogonal para resolver el desplazamiento radial en una forma necesaria para fines de control. Las señales de salida desde los sensores se pueden utilizar para determinar la magnitud y/o la orientación de la carga del rotor resultante
- 50

y mitigar la carga o la naturaleza asimétrica de la carga, por ejemplo, el control de paso de las palas.

El cambio de paso de las palas necesario para reducir la carga y, por lo tanto, para reducir la fatiga y la carga en varios componentes de la turbina se puede determinar a partir de las señales de salida generadas por los sensores. Una transformación Parks DQ, un cálculo del procedimiento de estimación de empuje y/u otras técnicas de control pueden utilizarse para calcular el incremento de paso para cada pala del rotor para reducir la carga general y/o asimétrica del rotor. Pueden reducirse la fatiga y las cargas extremas de las palas del rotor y otros componentes de la turbina.

La determinación del desplazamiento radial del árbol principal se obtiene a partir de sensores que miden el desplazamiento del árbol utilizando tecnologías de sensores basadas en efectos de campo acústicos, ópticos, magnéticos, capacitivos o inductivos. Según la invención, se utilizan sensores de proximidad para medir el desplazamiento radial del árbol principal. En una realización se utilizan un mínimo de dos sensores que miden el desplazamiento radial del árbol principal. Como se describe en mayor detalle más adelante, también se pueden utilizar sensores adicionales y/o diferentes.

La figura 1 es una realización de componentes de turbinas eólicas. Los componentes de la figura 1, a excepción del cubo 110, están alojados en una góndola 185 encima de la torre 190. La altura de la torre 190 se puede seleccionar en base a factores y condiciones conocidas en la técnica. En una realización, múltiples microcontroladores (por ejemplo, dentro del panel de control 195) se utilizan para la monitorización y el control general del sistema, incluyendo la regulación del paso y de la velocidad, el árbol de alta velocidad y la aplicación del freno de guiñada, la guiñada y la aplicación del motor de la bomba y la monitorización de fallos. Arquitecturas de control distribuidas o centralizadas alternativas también se pueden utilizar.

En una realización, el sistema de control proporciona señales de control al controlador 120 de paso de pala variable para controlar el paso de las palas (no mostradas en la figura 1) que accionan el cubo 110 como consecuencia del viento. En una realización, el cubo 110 recibe tres palas; sin embargo, cualquier número de palas puede ser utilizado. En una realización, el paso de las palas puede controlarse individualmente mediante el controlador de paso de las palas 120. El cubo 110 y las palas de la turbina se combinan para formar un rotor de turbina eólica.

El tren de accionamiento de la turbina eólica incluye un árbol 175 del rotor conectado al cubo 110 y una caja de engranajes 160 que, en una realización, utiliza una geometría de trayectoria doble para accionar un árbol de alta velocidad encerrado dentro de la caja de engranajes. El árbol de alta velocidad se utiliza para accionar el generador 150. En una realización, el par del rotor se transmite a través de un acoplamiento 165. Cualquier tipo de generador, por ejemplo, un generador de inducción de rotor bobinado se puede utilizar en la turbina eólica de la figura 1.

Un accionamiento de guiñada 170 y una cubierta de guiñada 180 proporcionan un sistema de orientación de guiñada para la turbina eólica. En una realización, el sistema de guiñada se acciona eléctricamente y está controlado por el sistema de control basado en la información recibida de una veleta 155 montada en la góndola. En una realización, el sistema de guiñada está montado sobre una brida proporcionada sobre la torre 190.

Como se describe en mayor detalle a continuación, uno o más sensores de proximidad están colocados para detectar una desviación del árbol principal 175 desde una predeterminada posición de reposo. Utilizando los datos desde los sensores, un controlador de la turbina (no mostrado en la figura 1) puede determinar las cargas sobre las palas que causaron la deflexión detectada por los sensores. Con esta información, el controlador de la turbina puede hacer que el paso de las palas cambie para reducir la carga sobre las palas o para reducir la naturaleza asimétrica de las cargas (es decir, para provocar una carga más simétrica sobre el rotor).

La figura 2 es un diagrama de bloques de una realización de un sistema de control del paso de la pala en base a las mediciones del sensor. Un(os) sensor(es) 200 de proximidad genera(n) señales en respuesta al desplazamiento de los componentes de la turbina eólica, por ejemplo, el árbol principal. Un controlador 210 de la turbina está acoplado al sensor(es) 200 para recibir las señales generadas por el(los) sensor(es) 200. El controlador 210 de la turbina analiza las señales para determinar las fuerzas que causaron la deflexión.

En una realización, el controlador 210 de la turbina incluye un procesador que recibe señales de salida (ya sea señales analógicas o digitales) desde el sensor(es) 200. El procesador puede ser, por ejemplo, un procesador de propósito general que ejecuta instrucciones, un circuito de control por cable, o una combinación de un procesador de propósito general y circuitos por cable. En respuesta a las señales recibidas desde el sensor(es) 200, el controlador de la turbina genera señales de control que se transmiten al controlador 220 de paso de las palas.

El controlador 220 de paso de las palas está acoplado a uno o más accionadores de rotación de las palas (por ejemplo, 230, 240, 250) que controlan el paso de las palas de la turbina eólica. Al variar el paso de las palas, la magnitud y/o la duración de las cargas colocadas sobre la turbina se pueden reducir, mejorando así el rendimiento global de la turbina eólica.

La carga asimétrica a través de un rotor de turbina eólica puede producirse debido a la cizalladura del viento vertical y horizontal, la desalineación de guiñada, turbulencias, etc. Las cargas asimétricas a través del rotor se manifiestan como deflexiones o tensiones en el árbol principal. Por lo tanto, la medición del desplazamiento del árbol, por

ejemplo, el desplazamiento radial, se puede utilizar para calcular la magnitud de la carga asimétrica.

5 La magnitud calculada puede utilizarse para determinar un comando de paso de la pala para cada pala del rotor de la turbina eólica, para reducir la carga asimétrica que actúa sobre el árbol del rotor, y que se transmite a otros componentes de la turbina. Una transformación de coordenadas, procedimiento de estimación de empuje y/u otras técnicas de control pueden utilizarse para calcular el ángulo de paso de cada pala del rotor para reducir la carga general del rotor asimétrico. Pueden reducirse la fatiga y las cargas extremas de las palas del rotor y otros componentes de la turbina.

10 En una realización, el desplazamiento radial del árbol se determina por análisis de las señales de los sensores que miden el desplazamiento del árbol utilizando tecnologías de sensores basadas en campo acústico, óptico, magnético, corrientes de Foucault, capacitivo o inductivo u otra tecnología. Según la invención, los sensores de proximidad se utilizan para medir el desplazamiento relativo a un marco de referencia de baja deflexión, por ejemplo, un marco principal o carcasa del cojinete principal del árbol de baja velocidad.

15 Un mínimo de dos sensores se utiliza para medir el desplazamiento radial del árbol; sin embargo, para redundancia, con fines de diagnóstico de los sensores, o por otras razones, se pueden utilizar más de dos sensores. La figura 3 ilustra una realización con cuatro sensores, con cada sensor (310, 320, 330 y 340) colocado a 90° entre sí alrededor de la circunferencia de la superficie del árbol principal 300. La figura 4 ilustra una realización con cuatro sensores situados en pares situados a 90° entre sí alrededor del árbol principal 300. La figura 5 ilustra una realización alternativa con cuatro sensores situados en pares situados a 90° entre sí alrededor del árbol principal 300. En una realización, los sensores están situados lo más lejos posible de la caja de engranajes. En una realización alternativa, los sensores están situados aproximadamente a medio camino entre la caja de engranajes 160 y el cojinete principal 125.

20 La figura 6 es un diagrama de bloques de una realización de un controlador de la turbina. El controlador 680 de la turbina incluye bus 600 u otro dispositivo de comunicación para comunicar información, y un procesador 610 acoplado al bus 600 para procesar la información. Aunque el controlador 680 de la turbina se ilustra con un solo procesador, el controlador 680 de la turbina puede incluir múltiples procesadores y/o co-procesadores. El controlador 680 de la turbina incluye, además, una memoria de acceso aleatorio (RAM) 620 u otro dispositivo de almacenamiento dinámico 640 (en adelante, memoria), acoplada al bus 600 para almacenar información e instrucciones para ejecutarse mediante el procesador 610. La memoria 620 también se puede utilizar para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones mediante el procesador 610.

25 El controlador 680 de la turbina también puede incluir una memoria de sólo lectura (ROM) y/u otro dispositivo 630 de almacenamiento estático acoplado al bus 600 para almacenar información estática e instrucciones para el procesador 610. El dispositivo 640 de almacenamiento de datos está acoplado al bus 600 para almacenar información e instrucciones. El(los) dispositivo(s) de entrada/salida 650 puede(n) incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al controlador 680 de la turbina y/o recibir datos de salida desde el 680 controlador de la turbina.

30 Las instrucciones se proporcionan a la memoria desde un dispositivo de almacenamiento, tal como un disco magnético, un circuito integrado de memoria de sólo lectura (ROM), CD-ROM, DVD, a través de una conexión remota que es cableada o inalámbrica que proporciona acceso a uno o más medios electrónicamente accesibles, etc. En realizaciones alternativas, se pueden usar circuitos cableados en lugar de, o en combinación con, instrucciones de software. Por lo tanto, la ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

35 La interfaz 660 del sensor es una interfaz que permite que el controlador 680 de la turbina se comunique con uno o más sensores dentro de una turbina eólica. Por ejemplo, la interfaz 660 del sensor puede estar acoplada para recibir señales de salida desde uno o más sensores que detectan la deflexión de los componentes de la turbina eólica como se ha descrito anteriormente. La interfaz 660 del sensor puede ser, por ejemplo, un convertidor analógico a digital que convierte una señal de tensión analógica generada por los sensores en una señal digital de varios bits para ser utilizada por el(los) procesador(es) 610.

40 El(los) procesador(es) 610 puede(n) entonces analizar los datos y transmitir datos a un controlador de paso de las palas a través del dispositivo(s) de entrada/salida 650 para hacer que el controlador de paso de las palas para cambie el paso de una o más palas de la turbina eólica. El(los) procesador(es) 610 también puede(n) tomar otras acciones en respuesta a las señales de los sensores. Por ejemplo, el(los) procesador(es) 610 puede(n) causar un freno, ya sea mecánico o logrado aerodinámicamente a través del paso de las palas, que se aplicará para detener o ralentizar la rotación del cubo o de un árbol de rotación.

45 La figura 7 es un diagrama de flujo de una realización del control de paso de las palas de una turbina eólica en respuesta al desplazamiento radial del árbol. Se reciben señales desde uno o más sensores, 710. El componente que recibe las señales (por ejemplo, un procesador, un convertidor analógico a digital) está acoplado con los sensores y convierte las señales a un formato utilizable, si es necesario.

5 En respuesta a las señales de los sensores, los circuitos de control (por ejemplo, un procesador, circuitos de control cableados) determinan la carga en uno o más componentes de la turbina eólica utilizando las señales desde los sensores, 720. El circuito de control puede utilizar cualesquiera ecuaciones matemáticas conocidas en la técnica para convertir entre los datos de entrada (por ejemplo, magnitud del desplazamiento) en datos de carga relevantes (por ejemplo, fuerzas ejercidas sobre una pala de la turbina eólica). La carga en las palas del rotor que provocaron el desplazamiento, así como las propiedades asimétricas de la carga, se pueden determinar también por el circuito de control.

10 El circuito de control determina una respuesta a la condición de carga, 730. Por ejemplo, en respuesta a un aumento de la carga en una pala de la turbina, el circuito de control puede determinar que la respuesta debe cambiar el paso de una o más de las palas de la turbina eólica. Como otro ejemplo, el circuito de control puede determinar que la respuesta debe ser la aplicación de un freno para detener o ralentizar la rotación del cubo. Como un ejemplo adicional, el circuito de control puede determinar la respuesta si se debe ejercer alguna otra acción, tal como la inducción de un ajuste de guiñada compensatorio.

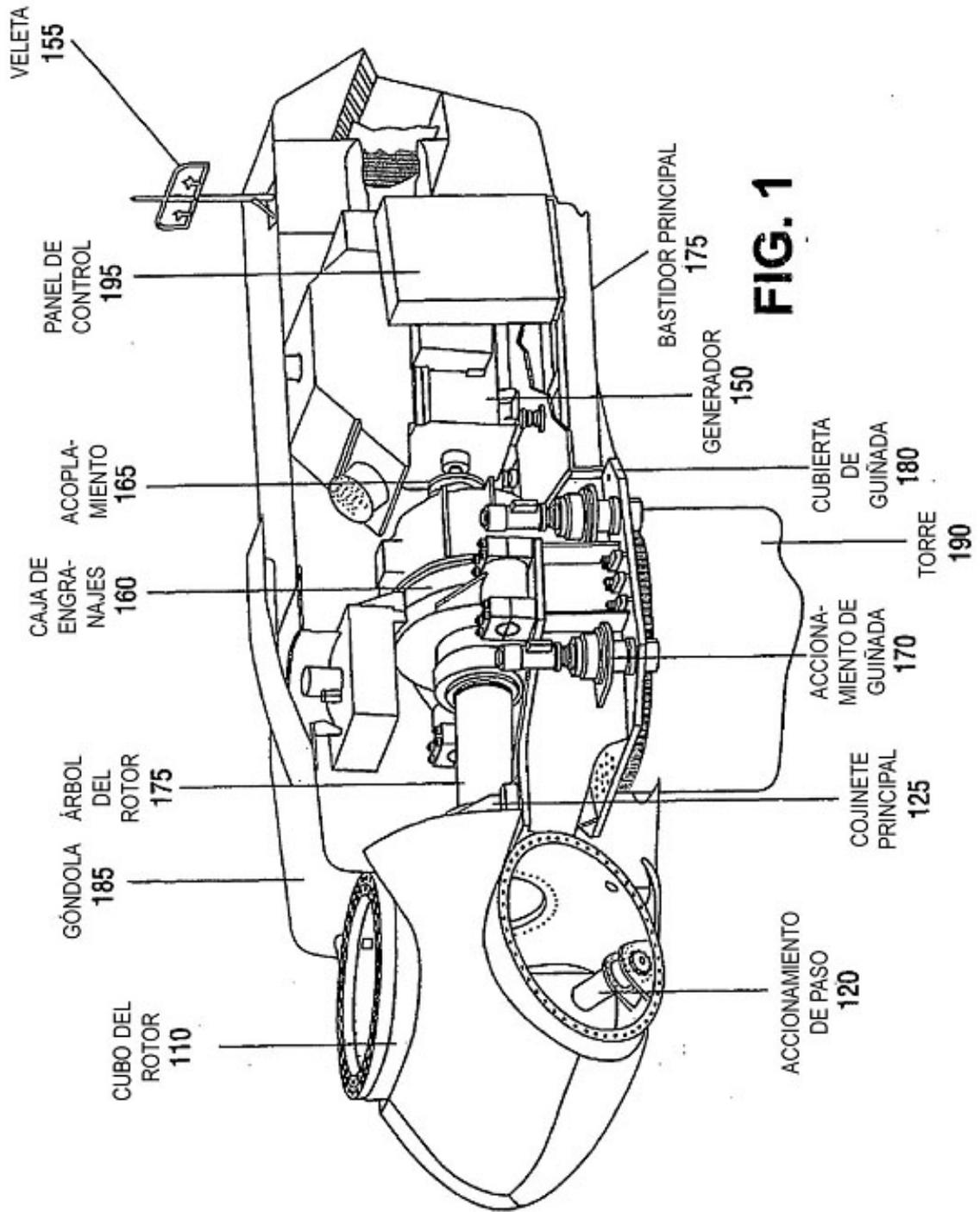
15 El circuito de control genera la señal para activar la respuesta seleccionada, 740. Por ejemplo, el circuito de control puede generar una señal en forma de, por ejemplo, un paquete de datos o un conjunto de señales de control transmitidas a través de líneas de control individuales, para hacer que un controlador de paso de pala cambie el paso de una o más palas. Si la respuesta seleccionada no hace que la turbina eólica funcione dentro de un rango de operación aceptable, 750, el proceso se puede repetir según sea necesario o incluso interrumpirse, lo que resulta en un control de paso sin los beneficios del algoritmo(s) de control de paso de retroalimentación del árbol de baja
20 velocidad.

La referencia en la memoria a "una realización" o "un modo de realización" significa que un rasgo particular, estructura o característica descrita en conexión con la realización se incluye en al menos una realización de la invención. Las apariciones de la frase "en una realización" en diversos lugares de la memoria no son necesariamente todas referentes a la misma realización.

25 En la memoria anterior, la invención ha sido descrita con referencia a realizaciones específicas de la misma. Sin embargo, será evidente que varias modificaciones y cambios se pueden hacer en la misma sin apartarse de la invención según el juego de reivindicaciones. La memoria y los dibujos, en consecuencia, deben considerarse con carácter ilustrativo y no en un sentido restrictivo.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica, que comprende:
- 5 uno o más sensores de proximidad (200, 310, 320, 330, 340) encarados a un árbol (300) para detectar el desplazamiento radial del árbol (300) desde una posición predeterminada con respecto a un componente relativamente sin deflexión; y
- un circuito de control (210, 220, 680) acoplado con el uno o más sensores para mitigar la carga provocada por la deflexión en el uno o más componentes en respuesta a señales desde el uno o más sensores.
2. La turbina eólica de la reivindicación 1, en la que el circuito de control (210, 220, 680) mitiga las cargas de flexión sobre el árbol (300) mediante el control del paso de una o más palas de la turbina eólica.
- 10 3. La turbina eólica de la reivindicación 1, en la que el uno o más componentes comprenden un árbol principal (300) de la turbina eólica.
4. La turbina eólica de la reivindicación 1, en la que el conjunto de sensores (200, 310, 320, 330, 340) comprende uno de: dos sensores de proximidad encarados al árbol, y además en la que los dos sensores están separados aproximadamente 90° entre sí con respecto al eje del árbol, cuatro sensores de proximidad encarados al árbol, y además en la que los cuatro sensores están separados aproximadamente 90° con respecto al eje del árbol, y dos pares de sensores de proximidad encarados al árbol, donde los dos pares de sensores están separados aproximadamente 90° con respecto al eje del árbol.
- 15 5. Un procedimiento que comprende:
- 20 recibir (710) señales desde uno o más sensores de proximidad (200, 310, 320, 330, 340) encarados a un árbol que indica el desplazamiento radial de un árbol (300) de una turbina eólica desde una posición predeterminada con respecto a un componente relativamente sin deflexión;
- determinar una carga (720) colocada sobre la turbina eólica en base a las señales desde el uno o más sensores; y
- hacer que una o más palas (740) de la turbina eólica cambien de paso en base a la carga determinada.
- 25 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el árbol (300) comprende un árbol principal.
7. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el uno o más sensores (200, 310, 320, 330, 340) detectan el desplazamiento radial del árbol (300) desde una posición de reposo.
8. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el conjunto de sensores (200, 310, 320, 330, 340) comprende uno de: dos sensores de proximidad encarados al árbol (300), y además en la que los dos sensores están separados aproximadamente 90° entre sí con respecto al eje del árbol, cuatro sensores de proximidad encarados al árbol, y además en la que los cuatro sensores están separados aproximadamente 90° con respecto al eje del árbol, y dos pares de sensores de proximidad encarados al árbol, donde los dos pares de sensores están separados aproximadamente 90° con respecto al eje del árbol.
- 30



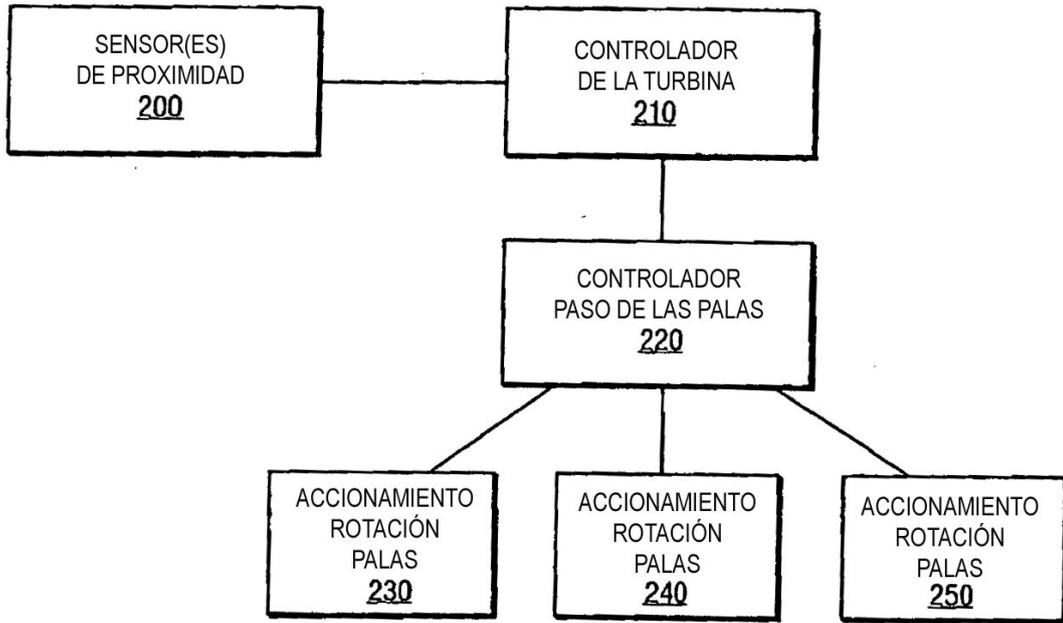


FIG. 2

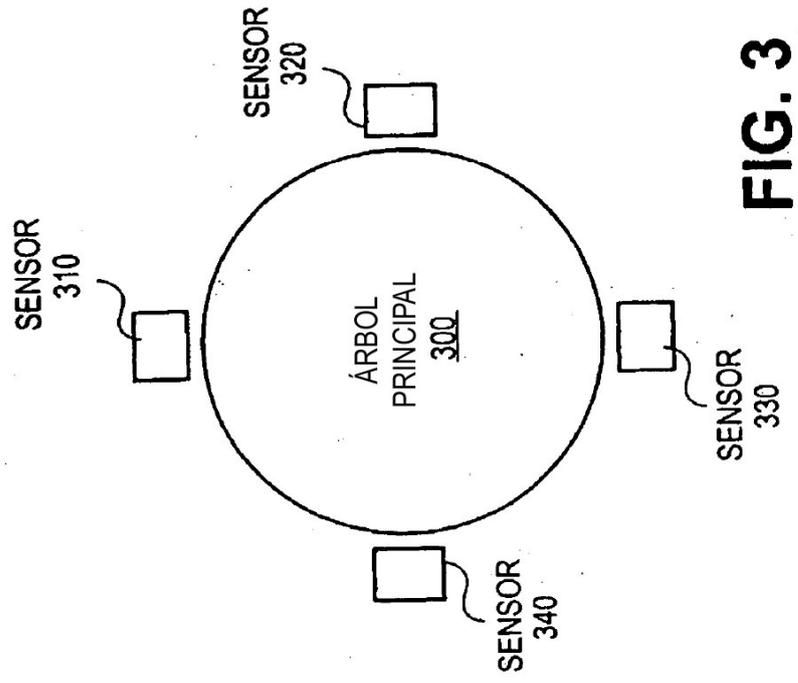


FIG. 3

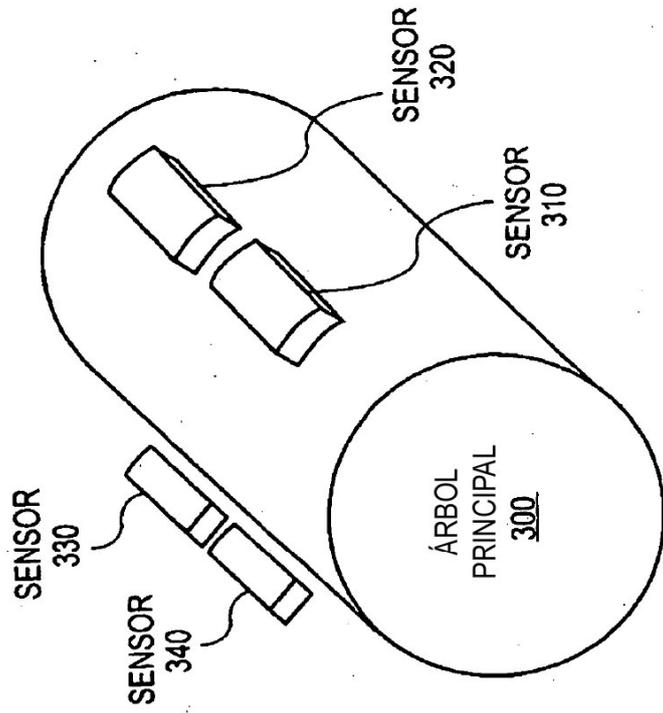


FIG. 4

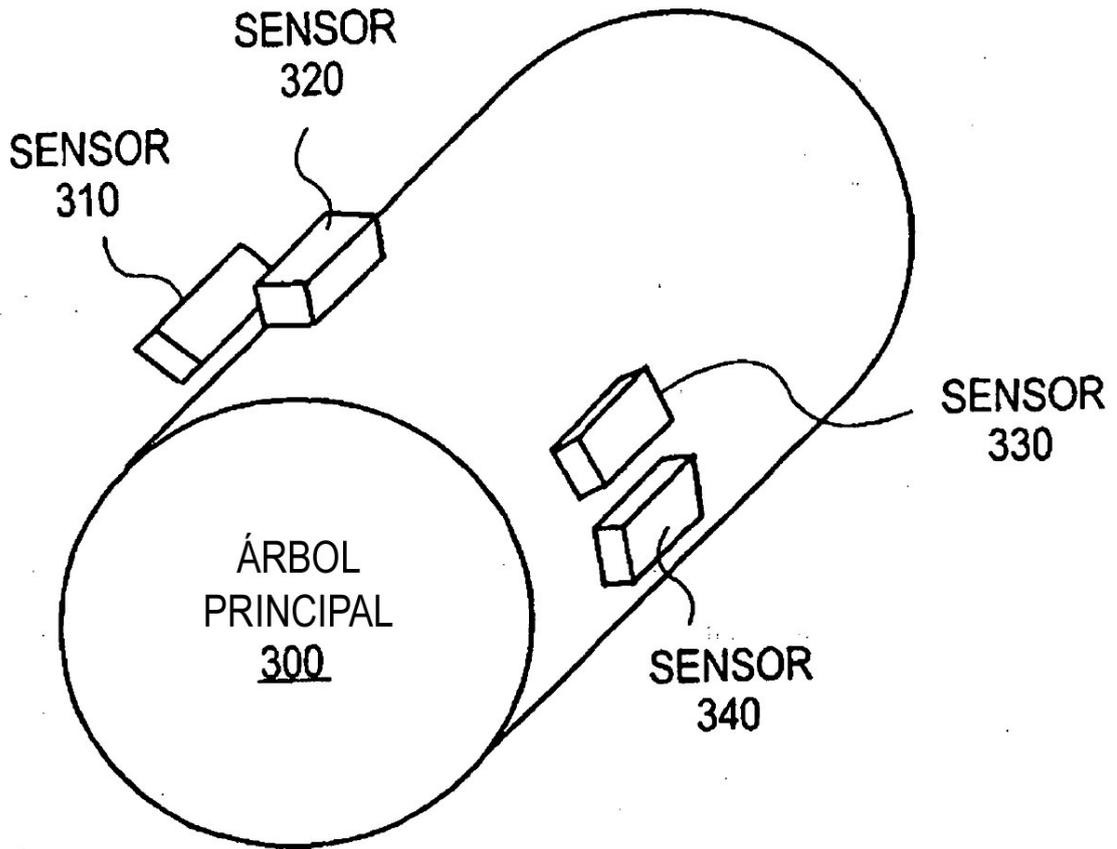


FIG. 5

680

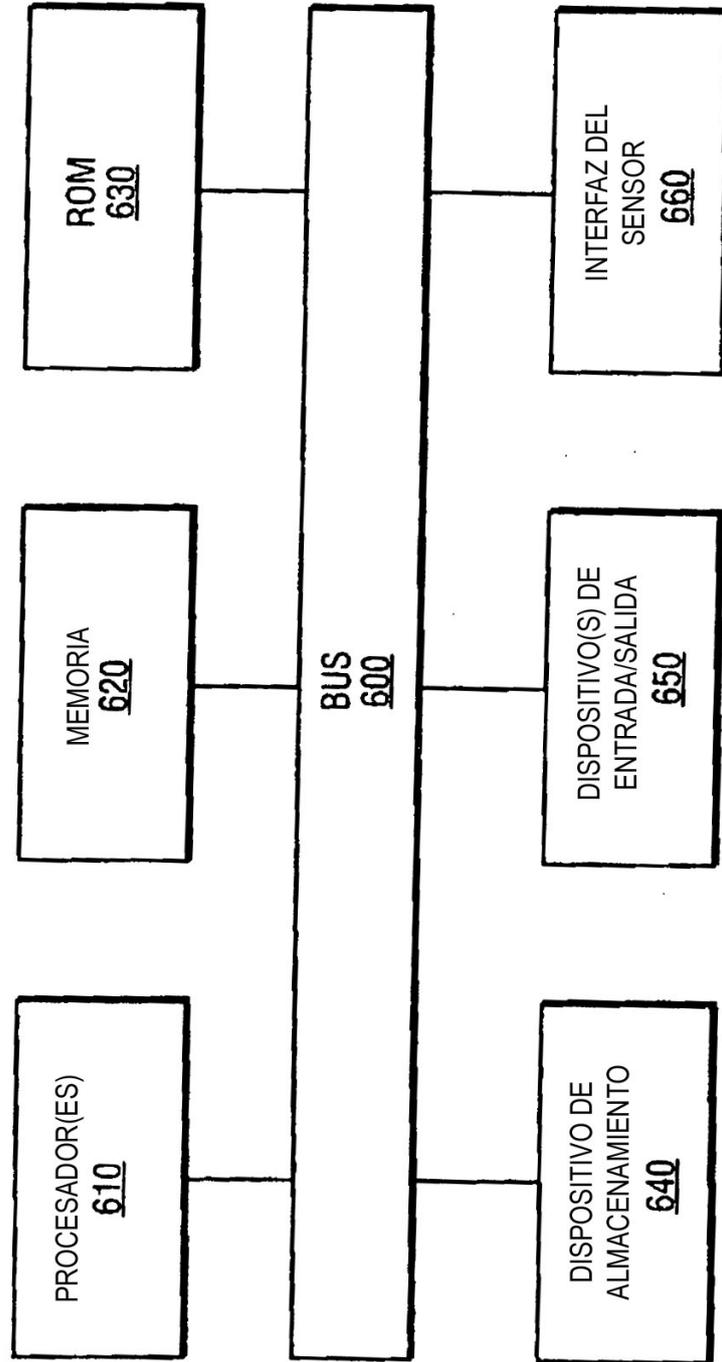


FIG. 6

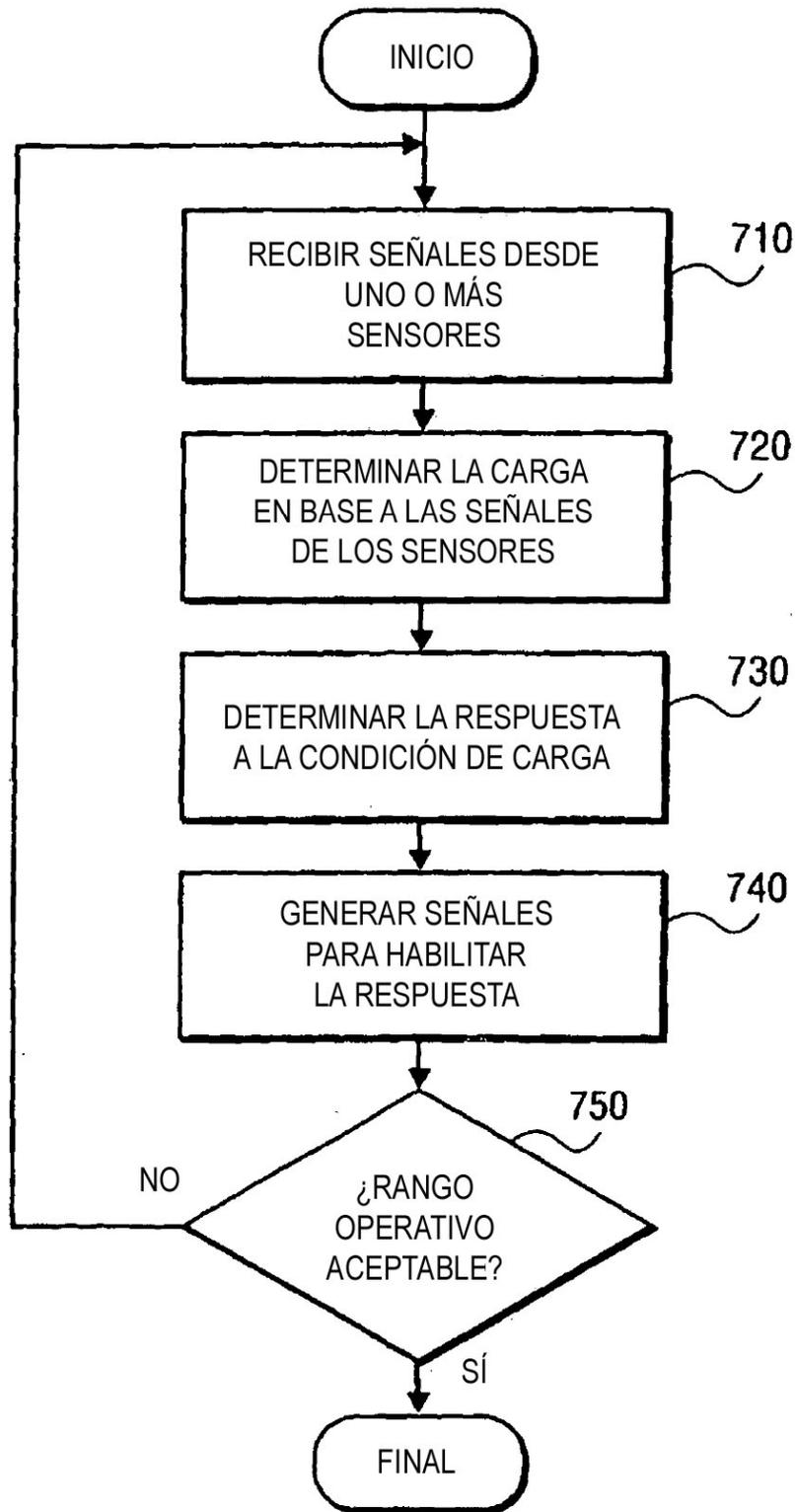


FIG. 7