

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 775**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)  
**F03D 7/02** (2006.01)  
**H02K 7/18** (2006.01)  
**F03D 80/70** (2006.01)  
**F03D 15/10** (2006.01)  
**F03D 9/25** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2016 E 16168168 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3091227**

54 Título: **Control autónomo de orientación de rotor para una turbina eólica**

30 Prioridad:

**04.05.2015 US 201514702997**

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

**15.02.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CAFFREY, PAUL O.;  
CRIBBS, TIMOTHY BOTSFORD;  
TSCHAPPATT, CHRISTOPHER LEE;  
NOTO, WILLIAM BOREA y  
MIDDENDORF, JOERG**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 805 775 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**

Control autónomo de orientación de rotor para una turbina eólica

5 La presente divulgación se refiere en general a una turbina eólica, y más en particular a un control autónomo de orientación de rotor para turbinas eólicas.

10 La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y respetuosas con el medio ambiente que existen en la actualidad, y las turbinas eólicas han recibido una atención creciente a este respecto. Una turbina eólica moderna suele incluir una góndola fijada en la parte superior de una torre, un generador y una multiplicadora alojados con la góndola, y un rotor configurado con la góndola que tiene un buje rotatorio con una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan la energía cinética del viento utilizando principios conocidos de aerodinámica. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía rotacional para hacer rotar un eje que acopla las palas de rotor a una multiplicadora o, si no se utiliza una multiplicadora, directamente al generador. El generador convierte entonces la energía mecánica en energía eléctrica que se puede desplegar en una red de suministro eléctrico.

15 Al menos algunas góndolas conocidas incluyen un sistema de orientación de rotor para controlar una perspectiva del rotor en relación a la dirección del viento. Dichas turbinas eólicas también incluyen unos sensores para detectar una dirección del viento. De este modo, el controlador de la turbina eólica está configurado para ajustar la orientación del rotor de la turbina eólica a través del sistema de orientación de rotor en base a la dirección del viento detectada.

20 Sin embargo, si el controlador de la turbina eólica está fuera de línea, no hay forma entonces de operar el sistema de orientación del rotor. Sin el sistema de orientación del rotor, la turbina eólica puede sufrir mayores cargas (por ejemplo, cargas asimétricas) que resultan de una desalineación de la orientación del rotor, lo que puede contribuir a importantes ciclos de fatiga en los componentes de la turbina eólica. A medida que los componentes de la turbina eólica se desgastan, la turbina eólica va perdiendo eficacia.

25 El documento US 5 278 773 describe unos sistemas de control de turbina eólica en los que se usan microprocesadores en lugar de un procesador central.

30 El documento WO 2013/110272 describe un sistema de control para una turbina eólica que comprende una pluralidad de estaciones de control dispuestas en una configuración jerárquica de tipo maestro/esclavo que utiliza un sistema de comunicación en tiempo real.

35 Por lo tanto, es necesario un sistema y un procedimiento nuevos y mejorados para un control de orientación del rotor de una turbina eólica que aborde los temas mencionados anteriormente. Más en concreto, sería ventajoso un sistema y procedimiento autónomos para controlar la orientación del rotor de la turbina eólica que no dependa del controlador principal de la turbina eólica.

Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o se pueden desprender claramente de la descripción, o se pueden aprender con la puesta en práctica de la invención.

40 En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para un control autónomo de orientación del rotor de una turbina eólica. El procedimiento incluye medir, a través de un sensor de viento, una o más condiciones de viento, por ejemplo, la velocidad o la dirección del viento, cerca de la turbina eólica. Otra etapa incluye recibir, a través de un módulo distribuido de entradas y salidas (E/S), la una o más condiciones de viento procedentes del sensor de viento. El procedimiento también incluye determinar, a través del módulo distribuido de E/S, una señal de control para un mecanismo de control de orientación del rotor de la turbina eólica en función de la una o más condiciones de viento. Además, el mecanismo de control de orientación del rotor está configurado para modificar una orientación de una góndola de la turbina eólica. Por lo tanto, el procedimiento también incluye controlar, a través del módulo distribuido de E/S, el mecanismo de control de orientación del rotor en base a la señal de control.

45 En una forma de realización, el módulo distribuido de E/S es parte de un sistema de control distribuido de la turbina eólica. En otra forma de realización, el procedimiento también puede incluir almacenar, a través de un almacén de memoria, un esquema de control de orientación del rotor dentro del módulo distribuido de E/S. En otras formas de realización, el sistema de control distribuido de la turbina eólica también puede incluir uno o más dispositivos de interbloqueo configurados para proteger el módulo distribuido de E/S. Según la invención, el procedimiento también incluye recibir, a través del módulo distribuido de E/S, una señal procedente de un controlador principal de turbina del sistema de control distribuido de la turbina eólica que indica que el controlador principal de la turbina está fuera de línea.

50 En ciertas formas de realización, el módulo distribuido de E/S puede incluir un módulo distribuido de E/S de parte superior (top box) del sistema de control distribuido de la turbina eólica. En otras formas de realización,

el módulo distribuido de E/S puede incluir cualquier otro módulo de E/S adecuado en un sistema de control de turbina eólica existente.

5 En otras formas de realización, el mecanismo de control de orientación del rotor puede incluir un motor de control de orientación del rotor, un piñón de control de orientación del rotor y un rodamiento de orientación del rotor acoplado operativamente al piñón de control de orientación del rotor, estando el rodamiento de orientación del rotor configurado entre la góndola y una torre de la turbina eólica. Más en concreto, en ciertas formas de realización, el mecanismo de control de orientación del rotor puede también incluir una reductora de control de orientación del rotor acoplada operativamente con el motor de control de orientación del rotor y con el piñón de control de orientación del rotor, en el que el piñón de control de orientación del rotor está en acoplamiento rotatorio con el rodamiento de orientación del rotor. De este modo, en formas de realización particulares, la etapa de controlar el mecanismo de control de orientación del rotor en base a la señal de control puede incluir enviar la señal de control al motor de control de orientación del rotor de modo que el motor de control de orientación del rotor ejerce una fuerza mecánica a la reductora de control de orientación del rotor y la reductora de control de orientación del rotor acciona el piñón de control de orientación del rotor para hacer rotar el rodamiento de orientación del rotor y por consiguiente, la góndola en torno a un eje de orientación del rotor.

20 En formas de realización adicionales, el sensor de viento puede ser cualquier sensor de viento adecuado, que incluye, pero no se limita a, un dispositivo de detección y alcance de luz (LIDAR: Light Detection and Ranging), un dispositivo de detección y alcance de sonido (SODAR: Sonic Detection and Ranging), un anemómetro, una veleta, un barómetro, un dispositivo de radar, o cualquier otro dispositivo de detección que pueda proporcionar información sobre la dirección del viento que se conozca actualmente o que se desarrolle más adelante en la técnica.

25 En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para operar una turbina eólica cuando un controlador principal de turbina eólica está fuera de línea. El procedimiento incluye programar un módulo distribuido de entradas y salidas (E/S) con un esquema de control para uno o más componentes de turbina eólica. Otra etapa incluye medir, a través de un sensor de viento, una o más condiciones de viento cerca de la turbina eólica. El procedimiento también incluye determinar, a través de un esquema de control, una señal de control para uno o más componentes de turbina eólica en función de la una o más condiciones de viento. De este modo, el procedimiento también incluye controlar, a través del módulo distribuido de E/S, uno o más componentes de la turbina eólica en función de la señal de control. Se debe entender que el procedimiento también puede incluir cualquiera de las características y/o etapas adicionales que se describen en el presente documento.

40 En otro aspecto más, la presente divulgación se refiere a un sistema de control distribuido para un control autónomo de orientación del rotor de una turbina eólica. El sistema puede incluir un sensor de viento configurado para medir una o más condiciones de viento cerca de la turbina eólica, un controlador principal de la turbina y al menos un módulo de control distribuido acoplado comunicativamente con el controlador principal de la turbina y el sensor de viento. Además, el módulo de control distribuido está configurado para realizar una o más operaciones, entre las que se incluyen, pero no se limitan a, recibir la una o más condiciones de viento procedentes del sensor de viento, determinar una señal de control para un mecanismo de control de orientación del rotor de la turbina eólica, en el que el mecanismo de control de orientación del rotor está configurado para modificar la orientación de una góndola de la turbina eólica, y controlar el mecanismo de control de orientación del rotor en base a la señal de control.

50 En una forma de realización, el módulo de control distribuido es parte de un sistema de control distribuido de la turbina eólica. Más en concreto, en ciertas formas de realización, el módulo de control distribuido incluye al menos uno de entre un módulo distribuido de E/S de parte superior o un controlador de seguridad independiente del sistema de control distribuido. Se debe entender que el sistema también puede incluir cualquiera de las características que se describen en el presente documento.

55 Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y a las reivindicaciones anexas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan a esta especificación y forman parte de la misma, ilustran formas de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

60 La Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una forma de realización de una turbina eólica según la presente divulgación;

La Figura 2 ilustra una vista interna simplificada de una forma de realización de una góndola según la presente divulgación;

65 La Figura 3 ilustra un diagrama esquemático de una forma de realización de un sistema de control distribuido según la presente divulgación;

La Figura 4 ilustra un diagrama de bloques de una forma de realización de un módulo de control distribuido según la presente divulgación;

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo de una forma de realización de un procedimiento para un control autónomo de orientación del rotor de una turbina eólica según la presente divulgación; y

La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de una forma de realización de un procedimiento para operar una turbina eólica cuando un controlador principal de la turbina eólica está fuera de línea de acuerdo con la presente divulgación.

Ahora se hará referencia en detalle a formas de realización de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la materia que se pueden hacer diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la misma. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización pueden ser utilizadas con otra forma de realización para generar otra forma de realización adicional. De este modo, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones cuando caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En general, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para un control autónomo de orientación del rotor de una turbina eólica. Un controlador de turbina eólica típico incluye un sistema de control distribuido que tiene una pluralidad de módulos distribuido de entradas y salidas (E/S) por toda la turbina para un control de los componentes individuales de la turbina eólica. En dicho sistema, el controlador principal generalmente debe recibir todas las E/S de cada uno de los módulos antes de ponerse en línea. Por lo tanto, el controlador continuará esperando todas las entradas requeridas, durante cuyo tiempo, el controlador principal no puede controlar la turbina. En este estado de espera, la turbina eólica puede experimentar una alta carga y/o vibraciones. Por lo tanto, el sistema y el procedimiento de la presente divulgación proporcionan un módulo de módulo distribuido de entradas y salidas (E/S) que tiene un esquema de control pre-programado almacenado en el mismo y que está configurado para controlar diversos componentes de la turbina eólica cuando el controlador principal está fuera de línea. Más en concreto, en determinadas formas de realización, el módulo distribuido de E/S recibe una o más condiciones de viento y determina una señal de control para un mecanismo de control de orientación del rotor de la turbina eólica en función de la una o más condiciones de viento. El módulo distribuido de E/S controla entonces de forma autónoma el mecanismo de control de orientación del rotor en función de la señal de control.

La presente divulgación proporciona muchas ventajas que no están presentes en el estado de la técnica. Por ejemplo, si el controlador principal falla al recibir ciertas entradas o salidas, entonces el módulo distribuido de E/S está configurado para hacer rotar la góndola para proteger la turbina eólica de una carga excesiva. De este modo, se reducen tensiones en la torre de la turbina eólica, aumentando con ello la vida útil de la torre. Además, la presente divulgación está configurada para utilizar hardware existente y, por lo tanto, es relativamente barata de implementar.

En referencia ahora a los dibujos, la Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una forma de realización de una turbina eólica 10. Según se muestra, la turbina eólica 10 en general incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada sobre la torre 12, y un rotor 18 acoplado con la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada con el buje 20 y que se extiende hacia afuera con respecto al buje 20. Por ejemplo, en la figura ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en una forma de realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 puede estar espaciada alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 y permitir una transferencia de energía cinética del viento en forma de energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede estar acoplado de forma rotatoria con un generador eléctrico 24 (Figura 2) ubicado dentro de la góndola 16 para permitir la producción de energía eléctrica.

La turbina eólica 10 también puede incluir un controlador de turbina eólica 26 centralizado dentro de la góndola 16. Sin embargo, en otras formas de realización, el controlador 26 puede estar ubicado dentro de cualquier otro componente de la turbina eólica 10 o en un lugar fuera de la turbina eólica 10. Además, el controlador 26 puede estar acoplado comunicativamente con cualquier número de los componentes de la turbina eólica 10 con el fin de controlar la operación de dichos componentes y/o implementar una acción de corrección. De este modo, el controlador 26 puede incluir un dispositivo informático u otra unidad de procesamiento adecuada. De este modo, en diversas formas de realización, el controlador 26 puede incluir instrucciones legibles informáticamente adecuadas que, cuando son implementadas, configuran el controlador 26 para que realice diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica. En consecuencia, el controlador 26 se puede configurar en general para controlar los diversos modos de operación (por ejemplo, secuencias de arranque o parada), reducir o aumentar la potencia de la turbina eólica, y/o componentes individuales de la turbina eólica 10.

En referencia ahora a la Figura 2, se ilustra una vista interna simplificada de una forma de realización de la góndola 16 de la turbina eólica 10 que se muestra en la Figura 1. Según se muestra, un generador 24 puede estar dispuesto dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 puede estar acoplado con el rotor 18 para producir energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 18. Por ejemplo, según se muestra en la forma de realización ilustrada, el rotor 18 puede incluir un eje de rotor 34 acoplado con el buje 20 para rotar con el mismo. El eje de rotor 34 puede, a su vez, estar acoplado de forma rotatoria con un eje de generador 36 del generador 24 a través de una multiplicadora 38. Según se entiende generalmente, el eje de rotor 34 puede proporcionar una entrada de baja velocidad y alto par a la multiplicadora 38 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 22 y el buje 20. La multiplicadora 38 puede entonces estar configurada para convertir la entrada de baja velocidad y alto par en una salida de alta velocidad y bajo par para accionar el eje del generador 36 y, por lo tanto, el generador 24.

La turbina eólica 10 puede incluir un mecanismo de control de orientación del rotor 40 configurado para cambiar el ángulo de la góndola 16 en relación con el viento (por ejemplo, engranando un rodamiento de orientación del rotor 43 de la turbina eólica 10). Además, cada mecanismo de control de orientación del rotor 40 puede incluir un motor de control de orientación del rotor 44 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una reductora de control de orientación del rotor 45 y un piñón de control de orientación del rotor 46. En dichas formas de realización, el motor de control de orientación del rotor 44 puede estar acoplado con la reductora de control de orientación del rotor 45 de modo que el motor de control de orientación del rotor 44 ejerce una fuerza mecánica a la reductora de control de orientación del rotor 45. De forma similar, la reductora de control de orientación del rotor 45 puede estar acoplada con el piñón de control de orientación del rotor 46 para su rotación. El piñón de control de orientación del rotor 46 puede, a su vez, estar en acoplamiento rotatorio con un rodamiento de orientación del rotor 42 acoplado entre la torre 12 y la góndola 16, de modo que la rotación del piñón de control de orientación del rotor 46 provoca la rotación del rodamiento de orientación del rotor 42. De este modo, en dichas formas de realización, la rotación del motor de control de orientación del rotor 44 acciona la reductora de control de orientación del rotor 45 y el piñón de control de orientación del rotor 46, haciendo rotar con ello el rodamiento de orientación del rotor 42 y la góndola 16 en torno al eje de orientación del rotor 43. De manera similar, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más mecanismos de ajuste de ángulo de paso 32 acoplados comunicativamente con el controlador de la turbina eólica 26, estando configurado cada mecanismo o mecanismos de ajuste de ángulo de paso 32 para hacer rotar un rodamiento de ángulo de paso 47 y, por lo tanto, la pala o palas individuales del rotor 22 en torno al eje de ángulo de paso 28.

Además, la turbina eólica 10 puede incluir también uno o más sensores 52 para monitorizar diversas condiciones de viento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, según se muestra en la Figura 2, se puede medir la dirección y la velocidad del viento o cualquier otra condición de viento adecuada cerca de la turbina eólica 10, por ejemplo, a través del uso de un sensor climatológico adecuado 52. Sensores climatológicos adecuados incluyen, por ejemplo, dispositivos de detección y alcance de luz ("LIDAR"), dispositivos de detección y alcance de sonido ("SODAR"), anemómetros, veletas, barómetros, dispositivos de radar (tales como dispositivos de radar Doppler o cualquier otro dispositivo de detección que pueda proporcionar información sobre la dirección del viento que se conozca actualmente o que se desarrolle más adelante en la técnica).

Según se ha mencionado, un controlador típico de turbina eólica incluye un sistema de control distribuido que tiene un controlador principal y una pluralidad de módulos distribuidos de entradas y salidas (E/S) por toda la turbina para un control de los componentes individuales de la turbina eólica. Por lo tanto, para las turbinas eólicas convencionales, se requiere que el controlador principal reciba todas las E/S de cada uno de los módulos antes de ponerse en línea. El controlador continuará esperando todas las entradas necesarias, durante cuyo tiempo, el controlador no podrá controlar la turbina, causando de este modo una carga excesiva y/o vibraciones. En otras situaciones, el controlador principal puede ser inaccesible o no estar disponible de otro modo, por ejemplo, debido a un corte de energía y/o a un mantenimiento planificado. Por lo tanto, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos que abordan las cuestiones mencionadas anteriormente.

Por ejemplo, según se muestra en la Figura 3, se ilustra un sistema de control distribuido 100 para una turbina eólica, tal como la turbina eólica 10 de la Figura 1, de acuerdo con formas de realización de ejemplo de la divulgación. Según se muestra, el sistema de control 100 incluye el controlador principal de la turbina eólica 26 y una pluralidad de módulos distribuidos de entradas y salidas (E/S) 104, 106, 108 para un control individual de uno o más componentes de la turbina eólica. Más en concreto, según se muestra en la ilustración, el sistema de control 100 incluye unas E/S distribuidas de parte superior 104, unas E/S distribuidas de la torre 106 y unas E/S distribuidas de conversión de potencia 108. Además, según se muestra, cada uno de los módulos distribuidos de E/S 104, 106, 108 está conectado al controlador principal de la turbina 26 a través de redes de comunicaciones 112 para comando y monitorización. Se debe entender que la red de comunicaciones 112, según se describe en el presente documento, puede incluir cualquier medio de comunicación adecuado para transmitir las señales. Por ejemplo, la red de comunicaciones 112 puede incluir cualquier número de enlaces alámbricos o

inalámbricos, que incluyen una comunicación a través de una o más conexiones Ethernet, conexiones de fibra óptica, buses de red, líneas de energía, conductores o circuitos para transmitir información de forma inalámbrica. Además, las señales pueden ser comunicadas a través de la red de comunicaciones 112 utilizando cualquier protocolo de comunicación adecuado, tal como un protocolo de comunicación en serie, un protocolo de banda ancha a través de una línea de energía, un protocolo de comunicación inalámbrica u otro protocolo adecuado.

De este modo, el controlador de la turbina 26 está configurado para recibir información procedente de los módulos de entrada y enviar información a los módulos de salida. Las entradas y salidas pueden ser señales analógicas que cambian continuamente o señales discretas. Más en concreto, en ciertas formas de realización, las E/S distribuidas de parte superior 104 están configuradas para proporcionar E/S al controlador de la turbina 26 para controlar componentes en una parte superior de la torre de la turbina eólica 10, por ejemplo, el mecanismo de control de orientación del rotor 40. De forma similar, las E/S distribuidas en una parte inferior de la torre 106 están configuradas para proporcionar E/S al controlador de la turbina 26 para controlar unidades eléctricas en una parte inferior de la torre, por ejemplo, transformadores, etc. Las E/S distribuidas de conversión de energía 108 están configuradas para proporcionar E/S al controlador de la turbina 26 para controlar el convertidor de energía de la turbina eólica 10. Además, el sistema de control 100 puede incluir opcionalmente uno o más controladores de seguridad independientes 110 configurados para proteger los diversos componentes del sistema de control 100. En otras formas de realización adicionales, el sistema de control 100 puede incluir más o menos módulos distribuidos de E/S que los que se describen en la Figura 3, en función de los componentes específicos de la turbina eólica 10.

El sistema de control 100 también incluye uno o más sistemas de control de ángulo de paso 102, configurados para controlar el ángulo de paso de las palas de rotor 22. Por ejemplo, según se muestra, el sistema de control 100 incluye tres sistemas de control de ángulo de paso 102, es decir, uno para cada una de las tres palas de rotor 22 de la turbina eólica 10 de la Figura 1. De este modo, en formas de realización adicionales, el sistema de control 100 también puede tener más de tres o menos de tres sistemas de control de ángulo de paso 102.

Durante una operación normal, el controlador principal 26 normalmente espera recibir todas las E/S de cada uno de los módulos 104, 106, 108 antes de ponerse en línea. Sin embargo, un beneficio de la presente divulgación es que, si el controlador 26 no es puesto en línea, uno o más de los módulos 104, 106, 108 del sistema de control 100 pueden estar configurados para operar de manera autónoma para proteger a la turbina eólica 10 de mayores tensiones o cargas.

Por ejemplo, en ciertas formas de realización, uno o más de los módulos 104, 106, 108 del sistema de control 100 pueden incluir un dispositivo informático u otra unidad de procesamiento adecuada que puede incluir unas instrucciones legibles informáticamente adecuadas que, cuando son implementadas, configuran los módulos 104, 106, 108 para que realicen diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica. Más en concreto, según se muestra en la Figura 4, se ilustra un diagrama de bloques de una forma de realización de componentes adecuados que pueden estar incluidos en los módulos 104, 106, 108 (o en el controlador de la turbina 26) de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación. Según se muestra, los módulos 104, 106, 108 pueden incluir uno o más procesadores 58 y dispositivos de memoria asociados 60 configurados para realizar una diversidad de funciones implementadas informáticamente (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en este documento).

Tal y como se utiliza en el presente documento, el término "procesador" se refiere no sólo a circuitos integrados que en la técnica se encuentran incluidos en un dispositivo informático, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un micro dispositivo informático, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. Además, el dispositivo o dispositivos de memoria 60 pueden comprender generalmente un elemento o elementos de memoria que incluyen, pero no se limitan a, un medio legible informáticamente (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio RAM), un medio no volátil legible informáticamente (por ejemplo, una memoria flash), un disquete, una memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados.

Dicho dispositivo o dispositivos de memoria 60 pueden en general estar configurados para almacenar instrucciones adecuadas y legibles informáticamente que, cuando son implementadas por el procesador o procesadores 58, configuran los módulos 104, 106, 108 para que realicen diversas funciones según se describe en el presente documento. Además, los módulos 104, 106, 108 también pueden incluir una interfaz de comunicaciones 62 para facilitar las comunicaciones entre los módulos 104, 106, 108 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Una interfaz puede incluir uno o más circuitos, terminales, pines, contactos, conductores u otros componentes para enviar y recibir señales de control. Además, los módulos 104, 106, 108 pueden incluir una interfaz de sensor 64 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que señales transmitidas desde los sensores sean convertidas en señales que puedan ser comprendidas y procesadas por los procesadores 58.

De este modo, en ciertas formas de realización, las E/S distribuidas de parte superior 104 puede utilizar diferentes instrucciones legibles informáticamente almacenadas en un lenguaje o protocolo diferente con respecto al controlador de la turbina 26. De esta manera, las E/S distribuidas de parte superior 104 puede ser un dispositivo autónomo y separado del controlador de la turbina 26. De este modo, en ciertas formas de realización, las E/S distribuidas de parte superior 104 (que ya recibe señales procedentes del anemómetro 52) pueden incluir un esquema de control o un algoritmo para controlar uno o más componentes de la turbina eólica, por ejemplo, el mecanismo de control de orientación del rotor 40 de la turbina eólica 10. En consecuencia, en ciertas formas de realización, el esquema de control de las E/S distribuidas de parte superior 104, cuando es implementado de este modo, es configurado para proporcionar un control autónomo de orientación de rotor de la turbina eólica 10, con independencia de que el controlador principal 26 esté en línea.

En referencia ahora a la Figura 5, un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo (200) para controlar una turbina eólica según formas de realización de ejemplo de la presente divulgación. El procedimiento (200) se puede implementar utilizando uno o más dispositivos de control, tales como uno o más de los módulos 104, 106, 108 o el controlador de seguridad separado 110 representados en la Figura 3. Además, en la Figura 5 se muestran unas etapas realizadas en un orden determinado a efectos de ilustración y discusión. Los expertos en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en este documento, entenderán que las etapas de cualquiera de los procedimientos divulgados en este documento pueden ser modificadas, expandidas, omitidas, re-dispuestas, y/o adaptadas de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

Según se muestra en (202), el procedimiento 200 incluye medir, a través de un sensor de viento, una o más condiciones de viento cerca de la turbina eólica. En (204), el procedimiento 200 incluye recibir, a través del módulo distribuido de E/S 104, la una o más condiciones de viento procedentes del sensor de viento. Según se ha mencionado, el módulo distribuido de E/S 104 incluye uno o más esquemas de control de orientación del rotor pre-programados o lógicos almacenados en el dispositivo de memoria 60. De este modo, en (206), el procedimiento 200 incluye determinar una señal de control para el mecanismo de control de orientación del rotor 40 de la turbina eólica 10 en función de la una o más condiciones de viento a través del esquema de control. De este modo, en (208), el procedimiento 200 incluye controlar, a través del módulo distribuido de E/S, el mecanismo de control de orientación del rotor 40 en base a la señal de control. Más en concreto, en ciertas formas de realización, la etapa de controlar el mecanismo de control de orientación del rotor 40 en base a la señal de control puede incluir enviar la señal de control al motor de control de orientación del rotor 44 de manera que el motor de control de orientación del rotor 44 ejerce una fuerza mecánica a la reductora de control de orientación del rotor 45 y la reductora de control de orientación del rotor 45 acciona el piñón de control de orientación del rotor 47 para hacer rotar el rodamiento de orientación del rotor 42 y, en consecuencia, la góndola 16, en torno al eje de orientación del rotor 43.

En formas de realización adicionales, el sistema de control distribuido 100 puede incluir también uno o más dispositivos de interbloqueo configurados para proteger los módulos 104, 106, 108, en particular el módulo distribuido de parte superior 104. Por ejemplo, en ciertas formas de realización, el dispositivo o dispositivos de interbloqueo están configurados para impedir que el módulo distribuido de parte superior 104 controle el mecanismo de control de orientación del rotor 40 de manera que pueda causar daños a la turbina 10. En otras formas de realización, el módulo distribuido de E/S 104 puede permanecer en un modo de operación estándar a menos que o hasta que el módulo 104 reciba una señal procedente del controlador de la turbina 26 que indique que el controlador 26 está fuera de línea.

La presente divulgación, según se describe en el presente documento, se refiere a un control autónomo de orientación del rotor de una turbina eólica, pero se debe entender que el esquema de control de la presente divulgación se puede aplicar también para controlar otros componentes diversos de la turbina eólica, además del mecanismo de control de orientación del rotor. Por ejemplo, según se muestra en la Figura 6, se ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 300 para operar una turbina eólica cuando el controlador principal de la turbina eólica está fuera de línea. Según se muestra en 302, el procedimiento 300 incluye programar un módulo distribuido de entradas y salidas (E/S) con un esquema de control para uno o más componentes de la turbina eólica. En 304, el procedimiento 300 incluye medir, a través de un sensor de viento, la una o más condiciones de viento cerca de la turbina eólica. En 306, el procedimiento 300 incluye también determinar, a través del esquema de control, una señal de control para el uno o más componentes de la turbina eólica en función de la una o más condiciones de viento. De este modo, en 308, el procedimiento 300 incluye controlar, a través del módulo distribuido de E/S, el uno o más componentes de la turbina eólica en base a la señal de control.

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen la modalidad preferida, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia llevar a la práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y la realización de cualesquiera procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un procedimiento (200) para un control autónomo de orientación de rotor de una turbina eólica (10) cuando un controlador principal de la turbina eólica (10) está fuera de línea, comprendiendo el procedimiento:
- medir (202), a través de un sensor de viento (52), una o más condiciones de viento cerca de la turbina eólica (10);
- 10 recibir (204), a través de un módulo distribuido de entradas y salidas (E/S) (104), la una o más condiciones de viento procedentes del sensor de viento (52);
- recibir, a través del módulo distribuido de E/S (104), una señal procedente de un controlador principal de un sistema de control distribuido de la turbina eólica (10) que indica que el controlador principal de la turbina está fuera de línea;
- 15 determinar (206), a través del módulo distribuido de E/S (104), una señal de control para un mecanismo de control de orientación del rotor (40) de la turbina eólica (10) en función de la una o más condiciones de viento, estando el mecanismo de control de orientación del rotor (40) configurado para modificar una orientación de una góndola (16) de la turbina eólica (10); y
- controlar (208), a través del módulo distribuido de E/S (104), el mecanismo de control de orientación del rotor (40) en base a la señal de control.
- 20
2. El procedimiento (200) de la reivindicación 1, en el que el módulo distribuido de E/S (104) forma parte de un sistema de control distribuido de la turbina eólica (100).
- 25
3. El procedimiento (200) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además almacenar, a través de un almacén de memoria (60), un esquema de control de orientación del rotor dentro del módulo distribuido de E/S (104).
- 30
4. El procedimiento (200) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo distribuido de E/S (104) comprende un módulo distribuido de E/S de parte superior del sistema de control distribuido de la turbina eólica (100).
- 35
5. El procedimiento (200) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el mecanismo de control de orientación del rotor (40) comprende un motor de control de orientación del rotor (44), un piñón de control de orientación del rotor (46) y un rodamiento de orientación del rotor (42) acoplado operativamente con el piñón de control de orientación del rotor (46), estando el rodamiento de orientación del rotor (42) configurado entre la góndola (16) y una torre de la turbina eólica (10).
- 40
6. El procedimiento (200) según la reivindicación 5, en el que el mecanismo de control de orientación del rotor (40) comprende además una reductora de control de orientación del rotor (45) acoplada operativamente con el motor de control de orientación del rotor (44) y con el piñón de control de orientación del rotor (46), y en el que el piñón de control de orientación del rotor (46) está en acoplamiento rotatorio con el rodamiento de orientación del rotor (42).
- 45
7. El procedimiento (200) según la reivindicación 6, en el que controlar el mecanismo de control de orientación del rotor (40) en base a la señal de control comprende además enviar la señal de control al motor de control de orientación del rotor (44) de manera que el motor de control de orientación del rotor (44) ejerce una fuerza mecánica a la reductora de control de orientación del rotor (45) y la reductora de control de orientación del rotor (45) acciona el piñón de control de orientación del rotor (46) para hacer rotar el rodamiento de orientación del rotor (42) y, en consecuencia, la góndola (16) en torno a un eje de orientación del rotor (43).
- 50
8. Un procedimiento (300) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento:
- 55 programar (302) un módulo distribuido de entradas y salidas (E/S) (104) con un esquema de control para uno o más componentes de la turbina eólica (10);
- determinar (306), a través de un esquema de control, una señal de control para el uno o más componentes de la turbina eólica (10) en función de la una o más condiciones de viento; y
- controlar (308), a través del módulo distribuido de E/S (104), el uno o más componentes de la turbina eólica (10) en base a la señal de control.
- 60
9. Un sistema de control distribuido para un control autónomo de orientación de rotor de una turbina eólica (10), comprendiendo el sistema:
- un sensor de viento (52) configurado para medir una o más condiciones de viento cerca de la turbina eólica (10);
- 65 un controlador principal de la turbina configurado para recibir entradas y salidas procedentes de un módulo de control distribuido;

al menos un módulo de control distribuido acoplado comunicativamente con el controlador principal de la turbina y el sensor de viento (52), en el que el módulo de control distribuido está configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo la una o más operaciones:

- 5 recibir una indicación procedente del controlador principal de la turbina que indica que el controlador principal de la turbina está fuera de línea;
- recibir la una o más condiciones de viento procedentes del sensor de viento (52),
- determinar una señal de control para un mecanismo de control de orientación del rotor (40) de la turbina eólica (10), estando el mecanismo de control de orientación del rotor (40) configurado para modificar una orientación de una góndola (16) de la turbina eólica (10), y
- 10 controlar el mecanismo de control de orientación del rotor (40) en base a la señal de control.

10. El sistema de la reivindicación 9, en el que el módulo de control distribuido comprende al menos uno de entre un módulo distribuido de E/S de parte superior (104) o un controlador de seguridad independiente.

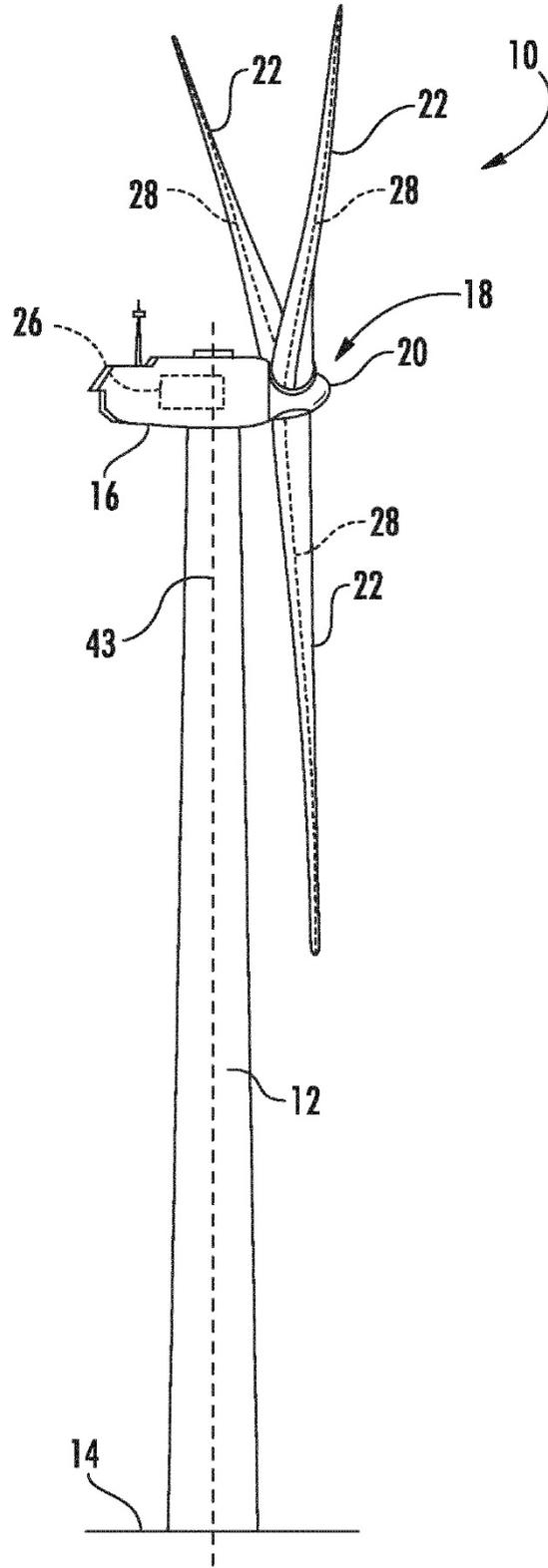
- 15 11. El sistema de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que el módulo de control distribuido comprende además un almacén de memoria (60) con un esquema de control de orientación del rotor almacenado en el mismo.

- 20 12. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el mecanismo de control de orientación del rotor (40) comprende un motor de control de orientación del rotor (44), un piñón de control de orientación del rotor (46), un rodamiento de orientación del rotor (42) acoplado operativamente con el piñón de control de orientación del rotor (46), y una reductora de control de orientación del rotor (45) acoplada operativamente con el motor de control de orientación del rotor (44) y con el piñón de control de orientación del rotor (46), en el que el rodamiento de orientación del rotor (42) está configurado entre la góndola (16) y una torre de la turbina eólica (10), y en el que el piñón de control de orientación del rotor (46) está en acoplamiento rotatorio con el rodamiento de orientación del rotor (42).

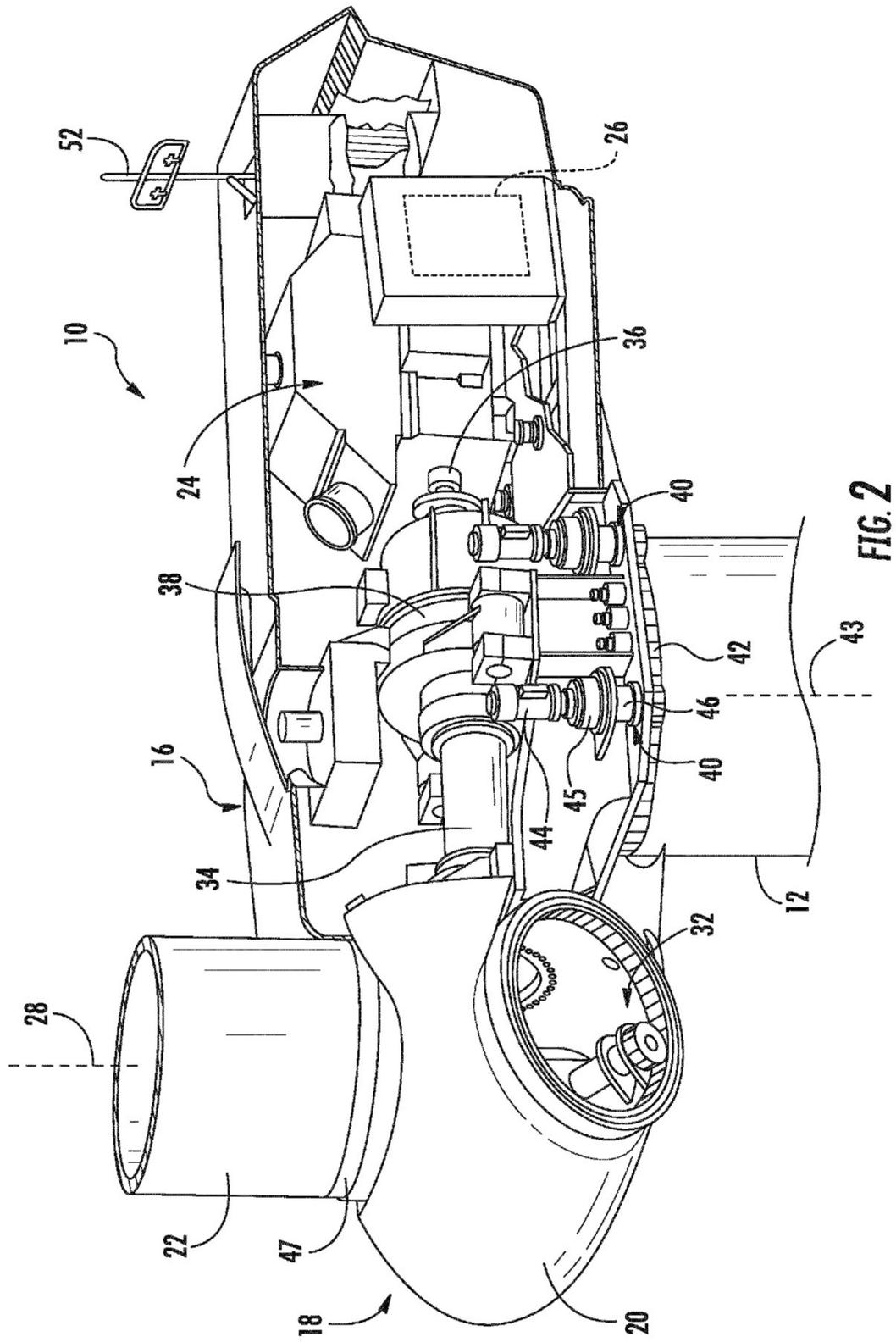
- 30 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que controlar el mecanismo de control de orientación del rotor (40) en base a la señal de control comprende además enviar la señal de control al motor de control de orientación del rotor (44) de manera que el motor de control de orientación del rotor (44) ejerce una fuerza mecánica a la reductora de control de orientación del rotor (45) y la reductora de control de orientación del rotor (45) acciona el piñón de control de orientación del rotor (46) para hacer rotar el rodamiento de orientación del rotor (42) y, en consecuencia, la góndola (16) en torno a un eje de orientación del rotor (43).

- 35 14. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que el sensor de viento (52) comprende además al menos uno de entre un dispositivo de detección y alcance de luz (LIDAR), un dispositivo de detección y alcance de sonido (SODAR), un anemómetro, una veleta, un barómetro o un dispositivo de radar.

- 40 15. El sistema, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 9 a 14, en el que el sistema de control distribuido de la turbina eólica comprende además uno o más dispositivos de interbloqueo configurados para proteger el módulo de control distribuido.



**FIG. 1**



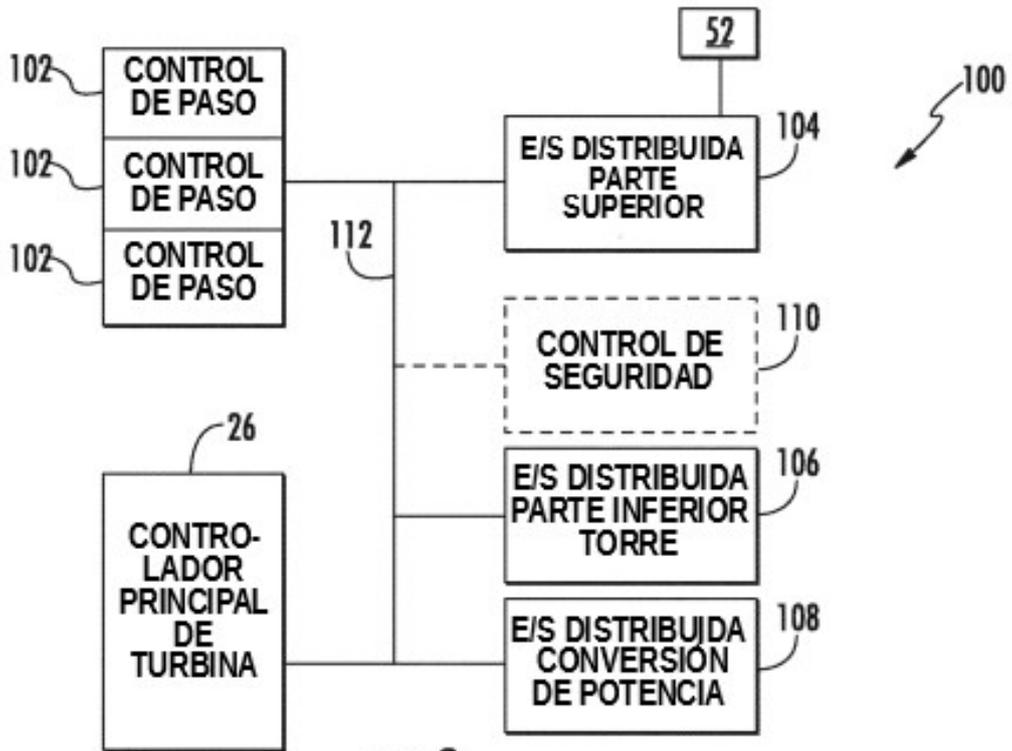


FIG. 3

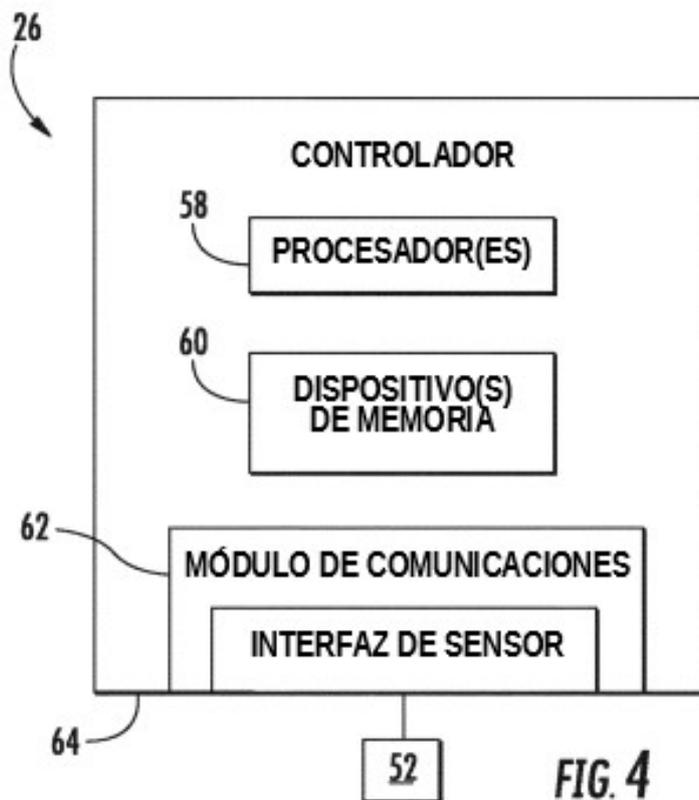


FIG. 4

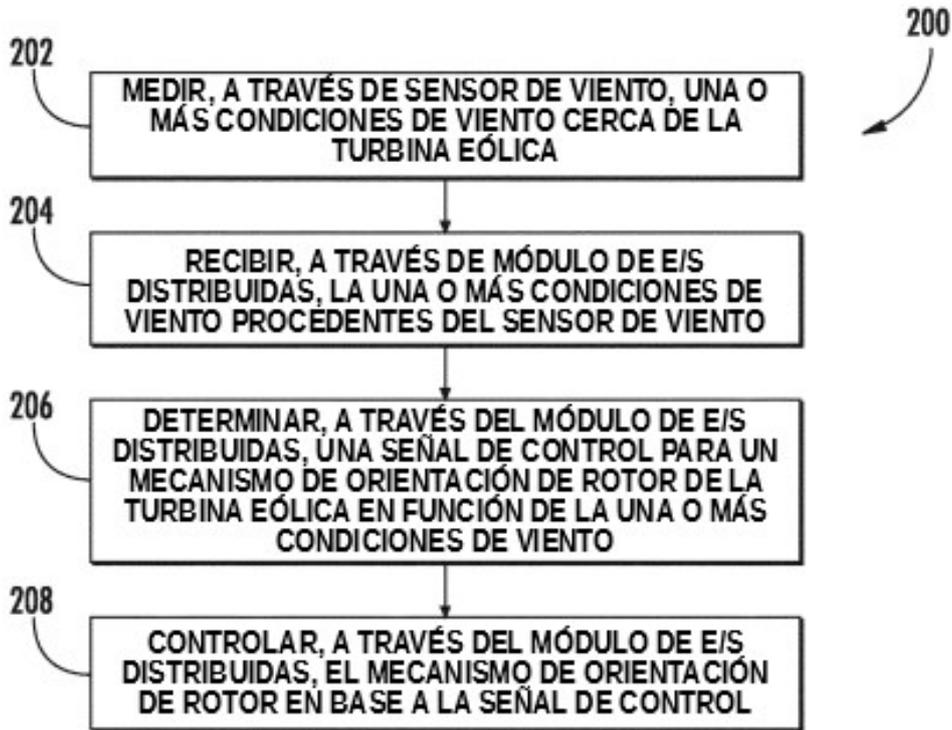


FIG. 5

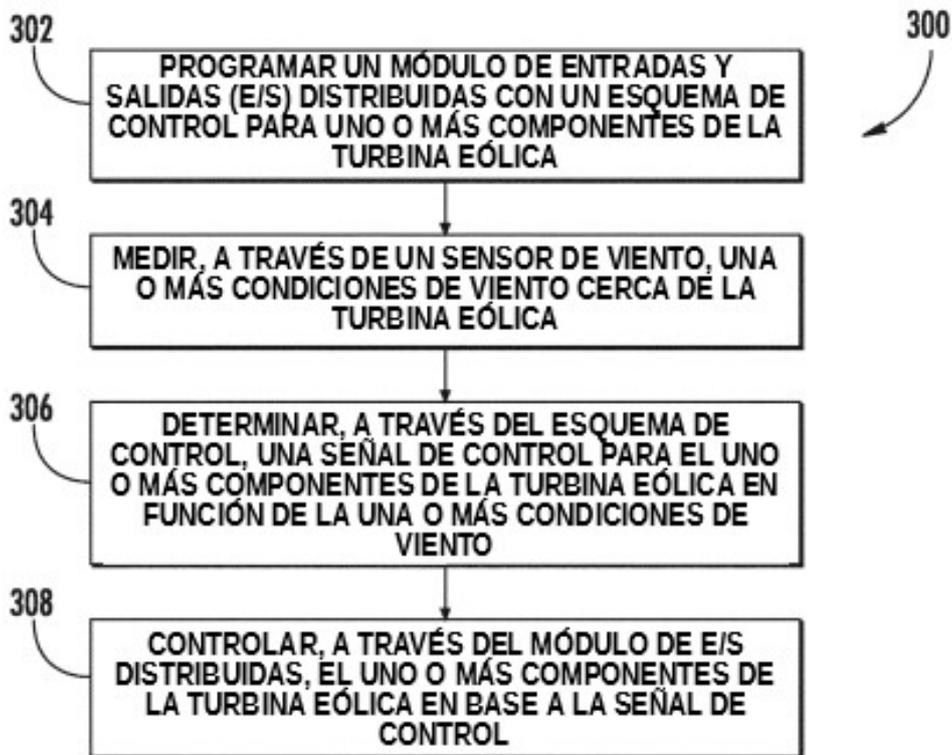


FIG. 6