

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 728**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.09.2018 E 18196043 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2023 EP 3462017**

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

30 Prioridad:

29.09.2017 US 201715719893

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

22.05.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**DHARMADHIKARI, PARAG RAMESHCHANDRA y
SCHNETZKA, HAROLD ROBERT**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 969 728 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 de orientación autónomo de contingencia para una turbina eólica

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere en general a una turbina eólica, y más en particular al control de orientación autónomo de contingencia para turbinas eólicas.

10 **[0002]** La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una góndola fijada encima de una torre, un generador y una multiplicadora alojada 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 captan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para girar un eje que acopla las palas de rotor a una multiplicadora o, si no se usa una multiplicadora, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

15 **[0003]** Al menos algunas góndolas conocidas, véase por ejemplo el documento EP3124788 A1, incluyen un sistema de orientación para controlar una perspectiva del rotor con respecto a una dirección del viento. Dichos sistemas de orientación en general incluyen un rodamiento de orientación, una pluralidad de accionamientos de orientación que operan para rotar el rodamiento de orientación, un controlador, una o más baterías, un anemómetro de red, etc. Además, la turbina eólica también incluye sensores para detectar una dirección del viento. Por tanto, el controlador se configura para ajustar la orientación de la turbina eólica por medio del sistema de orientación en base a la dirección del viento detectada.

20 **[0004]** Sin embargo, hay casos donde el controlador puede estar fuera de línea, tales como por ejemplo en caso de acontecimientos climáticos o de red adversos (por ejemplo, tifones, huracanes, etc.), así como el mantenimiento regular. Si el controlador está fuera de línea, no hay forma de operar el sistema de orientación. Sin el sistema de orientación, la turbina eólica se puede someter a cargas incrementadas (por ejemplo, cargas asimétricas) que resultan de una desalineación de orientación lo que puede contribuir a ciclos de fatiga significativos en los componentes de turbina eólica. A medida que los componentes de turbina eólica se desgastan, la turbina eólica se vuelve menos eficaz. Además, el desgaste en el componente puede afectar negativamente a la vida útil de la máquina.

25 **[0005]** Para minimizar los efectos negativos mencionados en el presente documento, sería ventajoso para la turbina eólica incluir una lógica de protección que requiera la mayor disponibilidad del sistema de orientación para dirigir la góndola para alinearla con la dirección del viento o fuera de la dirección del viento en caso de que velocidades del viento muy altas. Por tanto, la presente divulgación se refiere a un sistema de control de orientación mejorado y un procedimiento para operar el mismo que proporciona controles redundantes paralelos a prueba de fallos individuales para aislar el sistema de fallos debidos a mal funcionamiento o fallo de cualquier componente.

30 **[0006]** Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden quedar claros a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

35 **[0007]** En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia. El sistema de orientación incluye una pluralidad de componentes de sistema de orientación configurados para cambiar un ángulo de una góndola de la turbina eólica con respecto a una dirección del viento entrante. La pluralidad de componentes de sistema de orientación incluye una fuente de alimentación auxiliar que comprende un dispositivo de control de potencia de freno (por ejemplo, tal como un variador de frecuencia), una unidad de frenado acoplada al dispositivo de control de potencia de freno, al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía acoplados a la unidad de frenado, una pluralidad de mecanismos de accionamiento de orientación acoplados comunicativamente a la fuente de alimentación auxiliar por medio de un enlace de comunicación, y un controlador configurado para implementar una estrategia de control de protección para el sistema de orientación en respuesta a que uno de los componentes de sistema de orientación experimente un fallo. Cada uno de los mecanismos de accionamiento de orientación incluye un dispositivo de control de potencia de orientación.

40 **[0008]** En un modo de realización, si el enlace de comunicación experimenta el fallo, la estrategia de control de protección incluye controlar los restantes componentes de sistema de orientación por medio de uno o más módulos de E/S distribuidos acoplados comunicativamente al controlador.

45 **[0009]** En otro modo de realización, el/los mecanismo(s) de accionamiento de orientación puede(n) incluir, al menos, un motor de accionamiento de orientación y un rodamiento de orientación, estando dispuesto el rodamiento de orientación entre la góndola y una torre de la turbina eólica. En dichos modos de realización, si uno de los motores de accionamiento de orientación experimenta el fallo, la estrategia de control de protección incluye aislar la ruta del motor de accionamiento de orientación que experimenta el fallo y mantener la operación de los restantes motores de accionamiento de orientación. En otros modos de realización, si uno o más de los dispositivos de control de potencia de orientación experimentan el fallo, la estrategia de control de protección incluye aislar la ruta del dispositivo de control

de potencia de orientación que experimenta el fallo y mantener la operación de los restantes dispositivos de control de potencia de orientación con igual reparto de carga automática sobre el resto de las unidades de trabajo.

5 **[0010]** En modos de realización adicionales, la unidad de frenado incluye un troceador de freno (“*brake chopper*”) acoplado al dispositivo de control de potencia de freno y al menos dos resistencias de freno dinámico acopladas al troceador de freno. En dichos modos de realización, si una de las resistencias de freno dinámico experimenta el fallo, la estrategia de control de protección incluye volver automáticamente a la otra resistencia de freno dinámico que no está experimentando el fallo sin interrupción y continuar la operación del sistema de orientación sin interrupción. En otro modo de realización, si el troceador de freno experimenta el fallo, la estrategia de control de protección incluye absorber automáticamente el exceso de energía del sistema de orientación en la fuente de alimentación auxiliar por medio de los dos dispositivos de almacenamiento de energía, y/o desviar la energía a una bomba hidráulica usada en el sistema para disipación.

15 **[0011]** En varios modos de realización, los dos dispositivos de almacenamiento de energía pueden incluir al menos dos unidades de batería acopladas a al menos dos cargadores de batería por medio de un fusible. En dichos modos de realización, si uno de los cargadores de batería experimenta el fallo, la estrategia de control de protección puede incluir volver automáticamente al otro cargador de batería que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación sin interrupción. Además, si una de las unidades de batería experimenta el fallo, la estrategia de control de protección incluye volver automáticamente a la otra unidad de batería que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación sin interrupción.

20 **[0012]** En determinados modos de realización, si el controlador experimenta el fallo, los dispositivos de control de potencia de orientación se configuran y programan para asumir la operación de control del sistema de orientación y operar el sistema sin interrupción.

25 **[0013]** En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para operar un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia. El sistema de orientación tiene una fuente de alimentación auxiliar con un dispositivo de control de potencia de freno, una unidad de frenado acoplada al dispositivo de control de potencia de freno, al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía acoplados a la unidad de frenado, y una pluralidad de mecanismos de accionamiento de orientación acoplados comunicativamente a la fuente de alimentación auxiliar por medio de un enlace de comunicación. Además, cada uno de los mecanismos de accionamiento de orientación tiene un dispositivo de control de potencia de orientación. Como tal, el procedimiento incluye monitorizar, por medio de al menos uno de un controlador de turbina o los dispositivos de control de potencia de orientación, el sistema de orientación para detectar fallos. En respuesta a detectar un fallo, el procedimiento incluye determinar si el fallo es crítico o no crítico en base a la localización del fallo. Si el fallo es crítico, el procedimiento incluye implementar, por medio de los dispositivos de control de potencia de orientación, una estrategia de control de protección para el sistema de orientación. De forma alternativa, si el fallo es no crítico, el procedimiento incluye implementar, por medio del controlador de turbina, la estrategia de control de protección para el sistema de orientación.

30 **[0014]** En un modo de realización, el procedimiento también puede incluir acoplar comunicativamente al menos un sensor de viento, por ejemplo un anemómetro de turbina, al controlador de turbina y a los dispositivos de control de potencia de orientación y monitorizar, por medio de al menos un sensor de viento, la velocidad del viento cerca de la turbina eólica. Por tanto, si la velocidad del viento excede un umbral predeterminado, el procedimiento también incluye implementar la estrategia de control de protección para el sistema de orientación por medio de los dispositivos de control de potencia de orientación o el controlador de turbina dependiendo de si el fallo es crítico o no crítico.

35 **[0015]** En otro modo de realización, los fallos críticos son los fallos en general localizados en el controlador de turbina, la fuente de alimentación auxiliar, una unidad de filtro de la fuente de alimentación auxiliar o una ruta de potencia a la góndola. De forma alternativa, los fallos no críticos en general se localizan en la unidad de frenado, uno de los dispositivos de almacenamiento de energía, uno de los mecanismos de accionamiento de orientación o el enlace de comunicación. Se debe entender que el procedimiento también puede incluir cualquiera de las etapas y/o rasgos característicos descritos en el presente documento. Diversos rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

40 **[0016]** En los dibujos:

60 la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de una góndola de acuerdo con la presente divulgación;

65 la FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación;

5 la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de módulos de E/S distribuidos cuando un enlace de comunicación del sistema ha fallado;

10 la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de los restantes motores del sistema cuando uno de los motores ha fallado;

15 la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de los restantes dispositivos de control de potencia del sistema cuando uno de los dispositivos de control de potencia ha fallado;

20 la FIG. 8 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de una de las resistencias de freno dinámico del sistema cuando una de las resistencias de freno dinámico ha fallado;

25 la FIG. 9 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular absorber el exceso de energía del sistema de orientación en la fuente de alimentación auxiliar y/o uno o más dispositivos de almacenamiento de energía cuando un troceador de freno del sistema ha fallado;

30 la FIG. 10 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular absorber el exceso de energía del sistema de orientación en la fuente de alimentación auxiliar, uno o más dispositivos de almacenamiento de energía y/o una bomba hidráulica cuando un troceador de freno del sistema ha fallado;

35 la FIG. 11 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de uno de los cargadores de batería cuando el otro cargador de batería ha fallado;

40 la FIG. 12 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de una de las unidades de batería cuando la otra unidad de batería ha fallado;

45 la FIG. 13 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de orientación de una turbina eólica que tiene capacidades de control autónomo de contingencia de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular controlar el sistema de orientación por medio de los dispositivos de control de potencia de orientación cuando uno o más componentes críticos del sistema de orientación han fallado; y

50 la FIG. 14 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para operar un sistema de orientación de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación.

55 **[0017]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos 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 técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

60 **[0018]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como 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 en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera del buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de

rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 se puede espaciar alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 24 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0019] La turbina eólica 10 también puede incluir un controlador de turbina eólica 26 centralizado dentro de la góndola 16. Por ejemplo, como se muestra, el controlador de turbina 26 se localiza en el armario de caja superior 48 (FIG. 2). Sin embargo, en otros modos de realización, el controlador 26 se puede localizar dentro de cualquier otro componente de la turbina eólica 10 o en una localización fuera de la turbina eólica 10. Además, el controlador 26 se puede acoplar comunicativamente a cualquier número de componentes de la turbina eólica 10 para controlar la operación de dichos componentes y/o implementar una acción de corrección. Como tal, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador 26 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para realizar 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 de parada), reducir o aumentar la capacidad de la turbina eólica y/o componentes individuales de la turbina eólica 10.

[0020] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de la góndola 16 de la turbina eólica 10 mostrada en la FIG. 1. Como se muestra, un generador 24 se puede disponer dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 para producir potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 18. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 puede incluir un eje de rotor 34 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 34, a su vez, se puede acoplar de forma rotatoria a un eje de generador 36 del generador 24 a través de una multiplicadora 38. Como se entiende en general, el eje de rotor 34 puede proporcionar una entrada de par de torsión alto y velocidad baja a la multiplicadora 38 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 22 y del buje 20. La multiplicadora 38 se puede configurar a continuación para convertir la entrada de par de torsión alto de velocidad baja en una salida de par de torsión bajo de velocidad alta para accionar el eje de generador 36 y, por tanto, el generador 24.

[0021] Cada pala de rotor 22 puede incluir un mecanismo de accionamiento de orientación 40 configurado para cambiar el ángulo de la góndola 16 con respecto al viento (por ejemplo, acoplando un rodamiento de orientación 42 de la turbina eólica 10 que se dispone entre la góndola 16 y la torre 12 de la turbina eólica 10). Además, cada mecanismo de accionamiento de orientación 40 puede incluir un motor de accionamiento de orientación 44 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una reductora de accionamiento de orientación 45 y un piñón de accionamiento de orientación 46. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de orientación 44 se puede acoplar a la reductora de accionamiento de orientación 45 de modo que el motor de accionamiento de orientación 44 imparte fuerza mecánica a la reductora de accionamiento de orientación 45. De forma similar, la reductora de accionamiento de orientación 45 se puede acoplar al piñón de accionamiento de orientación 46 para su rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de orientación 46 puede estar, a su vez, en acoplamiento de rotación con el rodamiento de orientación 42 acoplado entre la torre 12 y la góndola 16 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de orientación 46 provoque la rotación del rodamiento de orientación 42. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de orientación 44 acciona la reductora de accionamiento de orientación 45 y el piñón de accionamiento de orientación 46, rotando de este modo el rodamiento de orientación 42 y la góndola 16 alrededor del eje de orientación 43. De forma similar, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más mecanismos de ajuste de *pitch* 32 acoplados comunicativamente al controlador de turbina eólica 26, estando configurado(s) cada mecanismo(s) de ajuste de *pitch* 32 para rotar el rodamiento de *pitch* 47 y por tanto la(s) pala(s) de rotor individual(es) 22 alrededor del eje de *pitch* 28.

[0022] Además, la turbina eólica 10 también puede incluir uno o más sensores 52 para monitorizar diversas condiciones de viento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, se puede medir la dirección del viento, la velocidad del viento o cualquier otra condición del viento adecuada cerca de la turbina eólica 10, por ejemplo a través del uso de un sensor meteorológico adecuado 52. Los sensores meteorológicos adecuados 52 incluyen, por ejemplo, dispositivos de detección y medición por luz ("LIDAR"), dispositivos de detección y medición por sonido ("SODAR"), anemómetros, veletas, barómetros, dispositivos de radar (tales como dispositivos de radar Doppler) o cualquier otro dispositivo sensor que puede proporcionar información direccional de viento ahora conocida o desarrollada posteriormente en la técnica.

[0023] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización del controlador 26 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada que puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica. Más específicamente, como se muestra, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador 26 de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 58 y dispositivos de memoria asociados 60 configurados para realizar una variedad de funciones

implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en el presente documento).

5 **[0024]** Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 60 puede(n) comprender en general uno o más elementos de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados.

15 **[0025]** Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 60 se puede(n) configurar en general para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 58, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones como se describe en el presente documento. Adicionalmente, el controlador 26 también puede incluir una interfaz de comunicaciones 62 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Una interfaz puede incluir uno o más circuitos, terminales, clavijas, contactos, conductores u otros componentes para enviar y recibir señales de control. Además, el controlador 26 puede incluir una interfaz de sensor 64 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde los sensores se conviertan en señales que se pueden entender y procesar por los procesadores 58.

25 **[0026]** En referencia ahora a las FIGS. 4-13, se ilustra un sistema de control distribuido 100 para una turbina eólica, tal como la turbina eólica 10 de la FIG. 1, de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la divulgación. Como se muestra, el sistema de control 100 incluye el controlador principal de turbina eólica 26 y una pluralidad de módulos de entrada y salida (E/S) distribuidos 104, 106, 108 para el control individual de uno o más componentes de la turbina eólica. Más específicamente, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el sistema de control 100 incluye un módulo de E/S distribuido de caja superior 104, un módulo de E/S distribuido de torre inferior 106 y un módulo de E/S distribuido de torre 108. Además, como se muestra, cada uno de los módulos de E/S distribuidos 104, 106, 108 se conectan al controlador de turbina principal 26 por medio de una pluralidad de enlaces de comunicación 92 para aplicar consignas y monitorizar. Se debe entender que los enlaces de comunicaciones 92 como se describe en el presente documento pueden incluir cualquier medio de comunicación adecuado para transmitir las señales. Por ejemplo, los enlaces de comunicaciones 92 pueden incluir cualquier número de enlaces cableados o inalámbricos, incluyendo la comunicación por medio de una o más conexiones Ethernet, conexiones de fibra óptica, buses de red, líneas de potencia, conductores o circuitos para transmitir información de forma inalámbrica. Además, se pueden comunicar señales a través de los enlaces de comunicaciones 92 usando cualquier protocolo de comunicación adecuado, tal como un protocolo de comunicación en serie, un protocolo de banda ancha a través de línea de potencia, un protocolo de comunicación inalámbrica u otro protocolo adecuado.

40 **[0027]** Por tanto, durante la operación normal, el controlador de turbina 26 se configura para recibir información 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 bien señales discretas. Más específicamente, en determinados modos de realización, el módulo de E/S distribuido de caja superior 104 se configura para proporcionar E/S al controlador de turbina 26 para controlar los componentes torre arriba de la turbina eólica 10, por ejemplo, los mecanismos de accionamiento de orientación 40. De forma similar, el módulo de E/S distribuido torre abajo 106 se configura para proporcionar E/S al controlador de turbina 26 para controlar el conjunto eléctrico torre abajo, por ejemplo, transformadores, etc. El módulo de E/S distribuido de torre 108 se configura para proporcionar E/S a los componentes de torre como se describe en el presente documento. Además, el sistema de control 100 puede incluir más o menos módulos de E/S distribuidos que los representados en la FIG. 4 dependiendo de los componentes específicos de la turbina eólica 10.

55 **[0028]** Todavía en referencia a la FIGS. 4-13, el sistema de control 100 de la presente divulgación proporciona más específicamente capacidades de control de orientación autónomo de contingencia. Más específicamente, el sistema de control 100 incluye un sistema de orientación 70 que tiene una pluralidad de componentes de sistema de orientación configurados para cambiar un ángulo de la góndola 16 de la turbina eólica 10 con respecto a una dirección del viento entrante 66 que puede operar a través de diversos fallos del sistema global 100. Por ejemplo, como se muestra, uno de los componentes de sistema de orientación puede incluir una fuente de alimentación auxiliar 72 que tiene un dispositivo de control de potencia de freno hidráulico (por ejemplo, un variador de frecuencia 74). Más específicamente, la fuente de alimentación auxiliar 72 se configura para alimentar todos los controladores lógicos programables (PLC) del sistema 70, así como proporcionar la comunicación y los controles del sistema 70. Además, otro componente de sistema de orientación incluye una unidad de filtro 73 que se conecta a la salida de la fuente de alimentación auxiliar 72. Por ejemplo, en un modo de realización, la fuente de alimentación auxiliar 72 puede corresponder a un inversor de frecuencia fija (es decir, que funciona a la frecuencia deseada que es igual a la frecuencia de red predominante) que proporciona una salida PWM. En dicho modo de realización, la unidad de filtro 73 puede incluir un filtro sinusoidal para eliminar los armónicos de la salida.

[0029] Los componentes de sistema de orientación pueden incluir además una unidad de frenado 76 acoplada al variador de frecuencia de freno 74. Más específicamente, como se muestra en el modo de realización ilustrado, la unidad de frenado 76 puede incluir un troceador de freno 78 acoplado al variador de frecuencia de freno 74 y al menos dos resistencias de freno dinámico 80, 82 acopladas al troceador de freno 78. Como tal, las múltiples resistencias de freno dinámico 80, 82 proporcionan redundancia a la unidad de frenado 76 del sistema de orientación 70 en el caso de un fallo de resistencia.

[0030] Además, como se muestra, el sistema de orientación 70 incluye al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía 84, 86 acoplados a la unidad de frenado 76. Más específicamente, como se muestra, cada uno del/de los dispositivo(s) de almacenamiento de energía 84, 86 puede incluir al menos dos unidades de batería 85, 87 acopladas a al menos dos cargadores de batería 88, 89 por medio de un fusible 90. En otras palabras, las unidades de batería 85, 87 y/o cargadores de batería 88, 89 se diseñan para operar en una configuración de carga compartida, pudiendo cada una de las unidades de batería 85, 87 y/o cargadores de batería 88, 89 tomar la carga completa. Además, el fusible 90 descrito en el presente documento proporciona protección por fusible de CC en la salida de la(s) unidad(es) de batería 85, 87, en particular para protección contra sobrecarga y arco eléctrico contra cortocircuitos.

[0031] Como se menciona, el sistema de orientación 70 también incluye una pluralidad de mecanismos de orientación 40 (incluyendo, al menos, el motor de accionamiento de orientación 44 y el rodamiento de orientación 42) que se acoplan comunicativamente a la fuente de alimentación auxiliar 72 generada internamente para atender cargas eléctricas. durante un acontecimiento de red o falta de disponibilidad de la red eléctrica por medio de un enlace de comunicación 92. Más específicamente, como se muestra, cada uno de los mecanismos de accionamiento de orientación 40 incluye un dispositivo de control de potencia de orientación (por ejemplo, variador de frecuencia de orientación 75. Por ejemplo, en determinados modos de realización, los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75 pueden corresponder a convertidores frontales de cuatro cuadrantes que proporcionan puentes de CA y CC consecutivos para permitir el flujo de energía en ambas direcciones con un bus de CC común. Además, como se muestra, el sistema de orientación 70 puede incluir un transformador de devanado múltiple 77 para facilitar la transferencia de energía bidireccional, permitiendo de este modo el intercambio de energía entre todos los componentes de sistema de orientación.

[0032] Todavía en referencia a la FIGS. 4-13, el sistema de orientación 70 también puede incluir uno o más controladores 79 configurados para implementar una estrategia de control de protección para el sistema de orientación 70 en respuesta a que uno de los componentes de sistema de orientación experimente un fallo. Por ejemplo, en un modo de realización, los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75 pueden corresponder a convertidores inteligentes, teniendo cada uno un controlador separado 79 configurado para evaluar las fuerzas localmente y compararlas con uno o más consignas de accionamiento, lo que elimina la dependencia del controlador de turbina 26.

[0033] Como tal, las FIGS. 5-13 ilustran diversos escenarios de operación del sistema de orientación 70 en respuesta a un fallo de uno de los componentes de sistema de orientación. Por ejemplo, en referencia en particular a la FIG. 5, si uno o más del enlace de comunicación 92 experimentan el fallo, la estrategia de control de protección incluye controlar los restantes componentes de sistema de orientación por medio de uno o más de los módulos de E/S distribuidos 104, 106, 108 acoplados comunicativamente al controlador de turbina 26, es decir, como se indica por las líneas de puntos 91.

[0034] En referencia en particular a la FIG. 6, si uno de los motores de accionamiento de orientación 44 experimenta el fallo (como se indica por el cuadro de puntos 93), la estrategia de control de protección incluye aislar una ruta del motor de accionamiento de orientación 44 que experimenta el fallo y mantener la operación de los restantes motores de accionamiento de orientación 44 para proporcionar reparto de carga automática de los restantes motores 44. Por ejemplo, en un modo de realización, se puede abrir un conmutador asociado con el motor de accionamiento de orientación 44 que experimenta el fallo para aislar su ruta. Dicha operación puede ser posible gracias a un margen de seguridad de la ruta de potencia.

[0035] En referencia ahora a la FIG. 7, si uno o más de los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75 experimentan el fallo (como se indica por el cuadro de puntos 94), la estrategia de control de protección incluye aislar una ruta del variador de frecuencia de orientación 75 que experimenta el fallo y mantener la operación de los restantes accionamientos de frecuencia variable de orientación 75 para proporcionar reparto de carga automática de los restantes accionamientos de frecuencia variable de orientación 75. Dicha carga compartida se configura para accionar la carga común y compartirla equitativamente a pesar del número de accionamientos de frecuencia variable 75. Por lo tanto, el fallo de uno o dos de los accionamientos de frecuencia variable 75 (o motores 44) requiere que el resto de accionamientos 75 tomen más carga para compensar el componente defectuoso.

[0036] En referencia ahora a la FIG. 8, si una de las resistencias de freno dinámico 80 u 82 experimenta el fallo (como se indica por el cuadro de puntos 95), la estrategia de control de protección incluye volver automáticamente a la otra resistencia de freno dinámico 80 que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación 70 usando la misma sin interrupción. Dicha operación es posible debido a la lógica de control que monitoriza el estado de las resistencias 80, 82 para proporcionar una operación redundante de las mismas para no detener la operación debido al fallo. Para sistemas con una única resistencia de freno dinámico, el fallo de la misma provoca que la turbina

eólica se detenga para el trabajo de reparación. Como tal, la presente divulgación evita dicho apagado y permite que el troceador de freno 78 opere con la resistencia de freno dinámico funcional sin interrupción.

5 **[0037]** En referencia ahora a las FIGS. 9 y 10, si el troceador de freno 78 experimenta el fallo (como se indica por el cuadro de puntos 96), la estrategia de control de protección incluye absorber el exceso de energía del sistema de orientación 70 en uno o más de los componentes de sistema de orientación. Más específicamente, como se muestra en la FIG. 9, el exceso de energía se puede absorber en la fuente de alimentación auxiliar 72 y/o el/los dispositivo(s) de almacenamiento de energía 84, 86. De forma alternativa, como se muestra en la FIG. 10, el exceso de energía se puede absorber en una bomba hidráulica 81. En dicho modo de realización, la bomba hidráulica 81 puede usar a continuación la energía para aplicar las pastillas de freno 83 al rodamiento de orientación 42.

15 **[0038]** En referencia ahora a la FIG. 11, si uno de los cargadores de batería 88 experimenta el fallo (como se indica por el cuadro de puntos 97), la estrategia de control de protección puede incluir volver automáticamente al otro cargador de batería 89 que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación 70 usando el mismo sin interrupción. Además, como se muestra en la FIG. 12, si una de las unidades de batería 87 experimenta el fallo (como se indica por el cuadro de puntos 98), la estrategia de control de protección incluye volver automáticamente a la otra unidad de batería 85 que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación 70 usando la misma sin interrupción.

20 **[0039]** En referencia ahora a la FIG. 13, si determinados componentes de sistema de orientación experimentan un fallo, el fallo 99 se considera crítico y la estrategia de control de protección debe tomar la acción apropiada. Por ejemplo, como se muestra, dichos componentes críticos pueden incluir uno cualquiera del controlador de turbina 26, la fuente de alimentación auxiliar 72, la unidad de filtro 73, el fusible 90 o combinaciones de los mismos.

25 **[0040]** Más específicamente, en un modo de realización, si el controlador de turbina 26 experimenta el fallo, los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75 se configuran para controlar la operación del sistema de orientación 70. Además, el transformador de devanado múltiple 77 se configura para facilitar la transferencia de energía bidireccional entre todos los componentes de sistema de orientación, incluyendo la red de potencia y el sistema de respaldo). Además, como se establece en el presente documento, los dispositivos de almacenamiento de energía múltiples 84, 86 dividen la capacidad de batería en elementos más pequeños para atender las rutas de potencia individuales a cada motor de orientación 44, mitigando de este modo el modo de fallo común debido al fallo del fusible 90. Además, como se menciona, el uso de convertidores inteligentes para los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75 para evaluar las fuerzas localmente y compararlas con la consigna de accionamiento elimina la dependencia en el controlador de turbina 26. Además, el sensor de viento 52 se puede conectar por separado al controlador de turbina 26 y al sistema de orientación 70 para permitir que el sistema de orientación 70 opere independientemente del controlador de turbina 26. Además, si falla el suministro de potencia auxiliar 72, los accionamientos de frecuencia de orientación 75 pueden generar la microrred requerida y trabajar en modo de reparto de carga, mientras suministran potencia a los auxiliares así como al sistema de control.

40 **[0041]** En referencia ahora a la FIG. 14, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 200 para operar un sistema de orientación de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Más específicamente, el procedimiento 200 proporciona control de orientación autónomo de contingencia de la turbina eólica 10. Además, la FIG. 14 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis. Los expertos en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, comprenderán que las etapas de cualquiera de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden modificar, expandir, omitir, reorganizar y/o adaptar de diversas formas sin desviarse del alcance de la presente. presente divulgación.

50 **[0042]** Como se muestra en 202, el procedimiento 200 incluye monitorizar, por medio del controlador de turbina 26 o los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75, el sistema de orientación 70 para detectar fallos. Como se muestra en 204, el procedimiento 200 incluyó determinar si se detecta un fallo. En respuesta a detectar un fallo, como se muestra en 206, el procedimiento 200 incluye monitorizar, por medio de al menos un sensor de viento 52, una velocidad del viento cerca de la turbina eólica 10. Más específicamente, como se menciona, el procedimiento 200 puede incluir acoplar comunicativamente el/los sensor(es) de viento 52, por ejemplo, un anemómetro de turbina, al controlador de turbina 26 y los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75.

60 **[0043]** Como se muestra en 208, el procedimiento 200 incluyó determinar si la velocidad del viento excede un umbral predeterminado. Como se muestra en 210, si la velocidad del viento excede el umbral, el procedimiento 200 incluye determinar si el fallo es crítico o no crítico en base a la localización del fallo. Más específicamente, como se menciona, los fallos críticos pueden incluir fallos en general localizados en el controlador de turbina 26, la fuente de alimentación auxiliar 72, la unidad de filtro 73 de la fuente de alimentación auxiliar 72, o una ruta de corriente continua (CC) a la góndola 16 (es decir, el fusible 90). De forma alternativa, los fallos no críticos se pueden localizar en la unidad de frenado 76, uno de los dispositivos de almacenamiento de energía 84, 86, uno de los mecanismos de accionamiento de orientación 40 y/o el enlace de comunicación 92.

65

5 **[0044]** En consecuencia, si el fallo es crítico, como se muestra en 212, el procedimiento 200 incluye implementar, por medio de los accionamientos de frecuencia variable de orientación 75, una estrategia de control de protección para el sistema de orientación 70. De forma alternativa, como se muestra en 214, si el fallo es no crítico, el procedimiento 200 incluye implementar, por medio del controlador de turbina 26, la estrategia de control de protección para el sistema de orientación 70.

10 **[0045]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistemas y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema de orientación (70) de una turbina eólica (10) que tiene capacidades de control autónomo de contingencia, comprendiendo el sistema de orientación (70):

una pluralidad de componentes de sistema de orientación configurados para cambiar un ángulo de una góndola (16) de la turbina eólica (10) con respecto a una dirección del viento entrante (66), comprendiendo la pluralidad de componentes de sistema de orientación:

10 una fuente de alimentación auxiliar (72) que comprende un dispositivo de control de potencia de freno (74);
una unidad de frenado (76) acoplada al dispositivo de control de potencia de freno (74);
al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía (84, 86) acoplados a la unidad de frenado (76);
una pluralidad de mecanismos de accionamiento de orientación (40) acoplados comunicativamente a la fuente de alimentación auxiliar (72) por medio de un enlace de comunicación (92), comprendiendo cada uno de los mecanismos de accionamiento de orientación (40) un dispositivo de control de potencia de orientación (75); y
15 un controlador (26) configurado para implementar una estrategia de control de protección para el sistema de orientación (70) en respuesta a que uno de los componentes de sistema de orientación experimente un fallo.
- 20 2. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 1, en el que si el enlace de comunicación (92) experimenta el fallo, la estrategia de control de protección comprende controlar los restantes componentes del sistema de orientación por medio de uno o más módulos de E/S distribuidos acoplados comunicativamente al controlador (26).
- 25 3. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 1 o 2, en el que el uno o más mecanismos de accionamiento de orientación (40) comprenden, al menos, un motor de accionamiento de orientación (44) y un rodamiento de orientación (42), estando dispuesto el rodamiento de orientación (42) entre la góndola (16) y una torre (12) de la turbina eólica (10).
- 30 4. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 3, en el que si uno o más de los motores de accionamiento de orientación (44) experimentan el fallo, la estrategia de control de protección comprende aislar una ruta del motor de orientación (44) que experimenta el fallo y mantener la operación de los restantes motores de accionamiento de orientación (44).
- 35 5. El sistema de orientación (70) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que si uno o más de los dispositivos de control de potencia de orientación (75) experimentan el fallo, la estrategia de control de protección comprende aislar una ruta del dispositivo de control de potencia de orientación (75) que experimenta el fallo y mantener la operación de los restantes dispositivos de control de potencia de orientación (75).
- 40 6. El sistema de orientación (70) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad de frenado (76) comprende un troceador de freno (78) acoplado al dispositivo de control de potencia de freno (74) y al menos dos resistencias de freno dinámico (80, 82) acopladas al troceador de freno (78).
- 45 7. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 6, en el que si una de las resistencias de freno dinámico (80, 82) experimenta el fallo, la estrategia de control de protección comprende volver automáticamente a la otra resistencia de freno dinámico (80, 82) que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación (70) usando la misma sin interrupción.
- 50 8. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 6 o 7, en el que si el troceador de freno (78) experimenta el fallo, la estrategia de control de protección comprende absorber automáticamente el exceso de energía del sistema de orientación (70) en al menos una de las fuentes de alimentación auxiliar (72), los al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía (84, 86), o una bomba hidráulica.
- 55 9. El sistema de orientación (70) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía (84, 86) comprenden al menos dos unidades de batería (85, 87) acopladas a al menos dos cargadores de batería (88, 89) por medio de un fusible (90).
- 60 10. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 9, en el que si uno de los cargadores de batería (88, 89) experimenta el fallo, la estrategia de control de protección comprende volver automáticamente al otro cargador de batería (88, 89) que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación (70) usando el mismo sin interrupción.
11. El sistema de orientación (70) de la reivindicación 10, en el que si una de las unidades de batería experimenta el fallo, la estrategia de control de protección comprende volver automáticamente a la otra unidad de batería que no está experimentando el fallo y operar el sistema de orientación (70) usando la misma sin interrupción.

12. El sistema de orientación (70) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, si el controlador (26) experimenta el fallo, los dispositivos de control de potencia de orientación (75) se configuran para controlar la operación del sistema de orientación (70) sin interrupción.
- 5 13. Un procedimiento para operar un sistema de orientación (70) de una turbina eólica (10) que tiene capacidades de control autónomo de contingencia, teniendo el sistema de orientación (70)
- 10 una fuente de alimentación auxiliar (72) con un dispositivo de control de potencia de freno (74), una unidad de frenado (76) acoplada al dispositivo de control de potencia de freno (74), al menos dos dispositivos de almacenamiento de energía (84, 86) acoplados a la unidad de frenado (76), y una pluralidad de mecanismos de accionamiento de orientación (40) acoplados comunicativamente a la fuente de alimentación auxiliar (72) por medio de un enlace de comunicación (92), teniendo cada uno de los mecanismos de accionamiento de orientación (40) un dispositivo de control de potencia de orientación (75), comprendiendo el procedimiento:
- 15 monitorizar, por medio de al menos uno de un controlador de turbina (26) o los dispositivos de control de potencia de orientación (75), el sistema de orientación (70) para detectar fallos; en respuesta a detectar un fallo, determinar si el fallo es crítico o no crítico en base a la localización del fallo; si el fallo es crítico, implementar, por medio de los dispositivos de control de potencia de orientación (75), una primera estrategia de control de protección para el sistema de orientación (70); y
- 20 si el fallo es no crítico, implementar, por medio del controlador de turbina (26), una segunda estrategia de control de protección para el sistema de orientación (70).
14. El procedimiento de la reivindicación 13, que comprende además:
- 25 acoplar comunicativamente al menos un sensor de viento al controlador de turbina (26) y a los dispositivos de control de potencia de orientación (75); monitorizar, por medio del al menos un sensor de viento, una velocidad del viento cerca de la turbina eólica (10); y,
- 30 si la velocidad del viento excede un umbral predeterminado, implementar la primera o segunda estrategias de control de protección para el sistema de orientación (70) por medio de los dispositivos de control de potencia de orientación (75) o bien por medio el controlador de turbina (26), respectivamente, dependiendo de si el fallo es crítico o no crítico.
- 35 15. El procedimiento de la reivindicación 13 o 14, en el que los fallos críticos se localizan en al menos uno del controlador de turbina (26), la fuente de alimentación auxiliar (72), una unidad de filtro de la fuente de alimentación auxiliar (72), o una ruta de corriente continua (CC) a la góndola (16), y en el que los fallos no críticos se localizan en al menos una de la unidad de frenado (76), uno de los dispositivos de almacenamiento de energía (84, 86), uno de los mecanismos de accionamiento de orientación (40), o el enlace de comunicación (92).

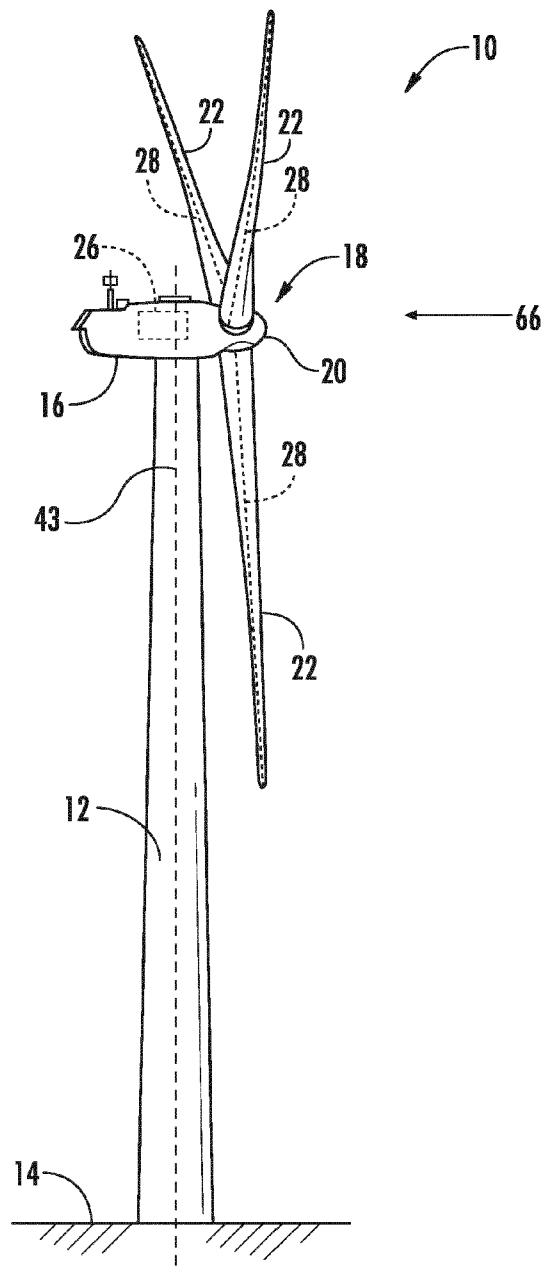
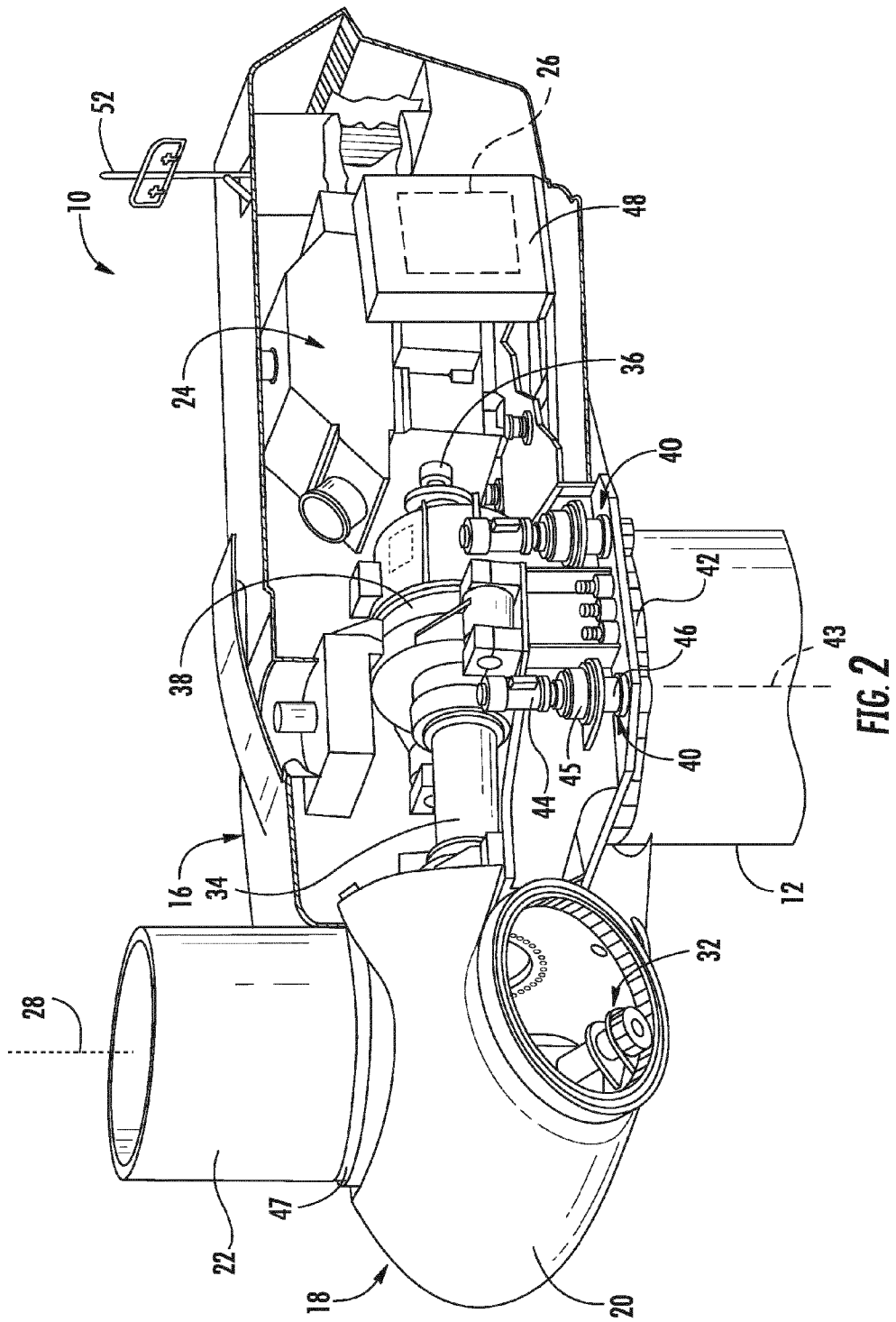


FIG. 1



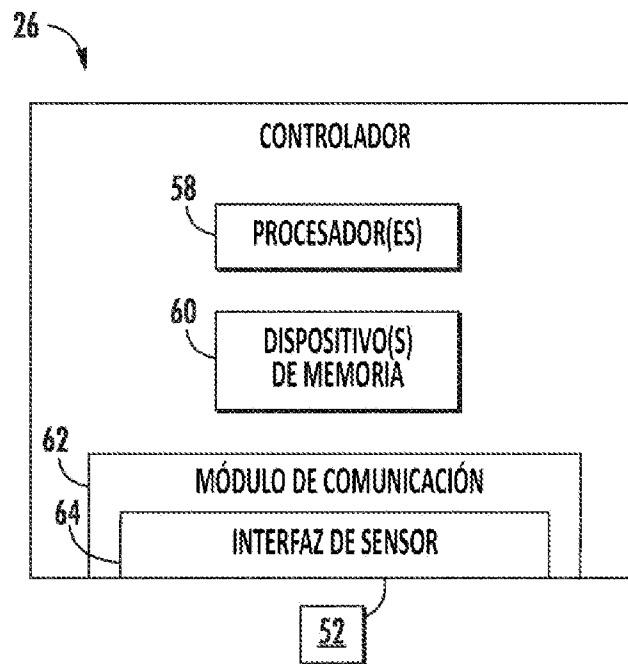


FIG. 3

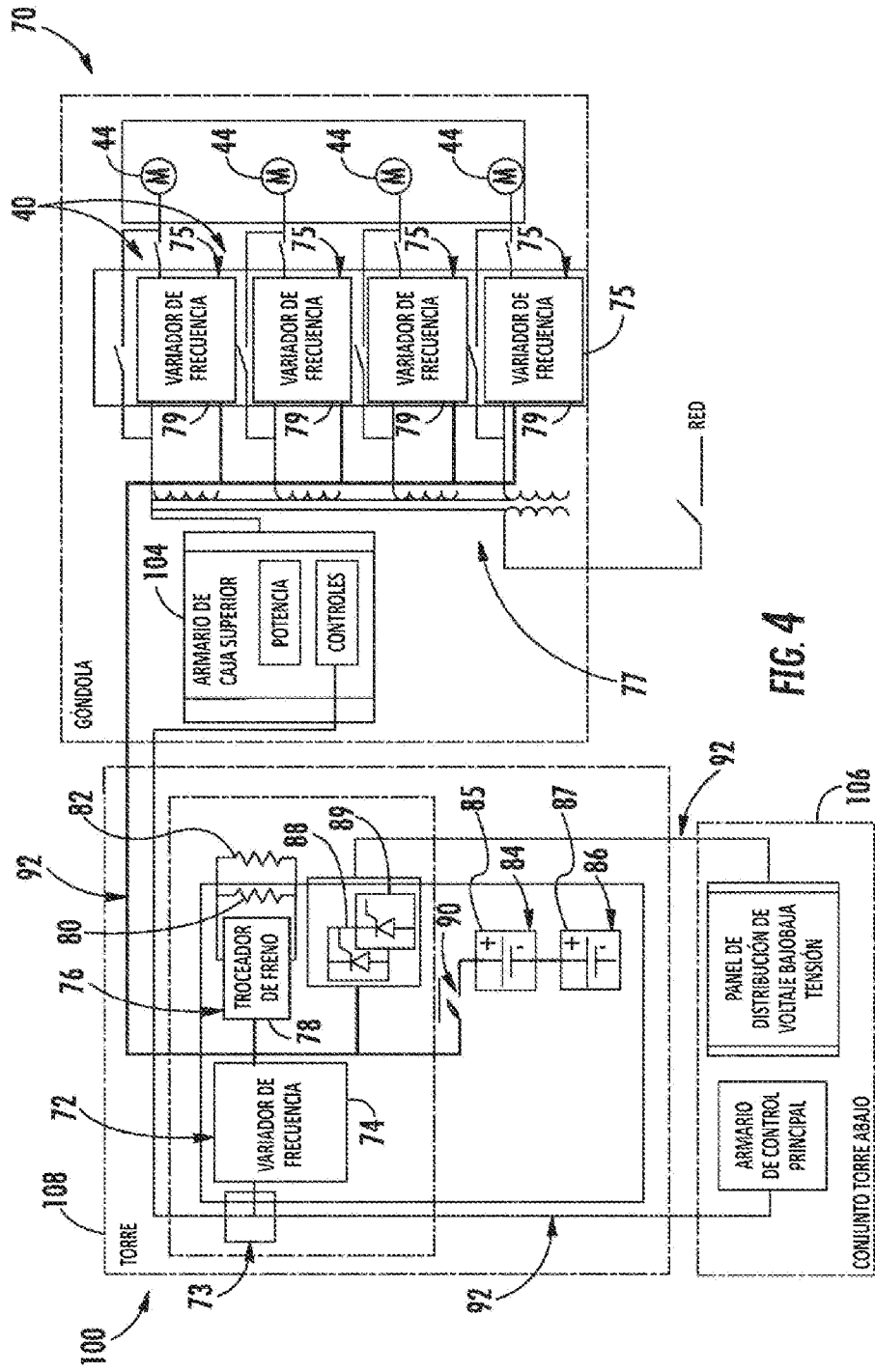


FIG. 4

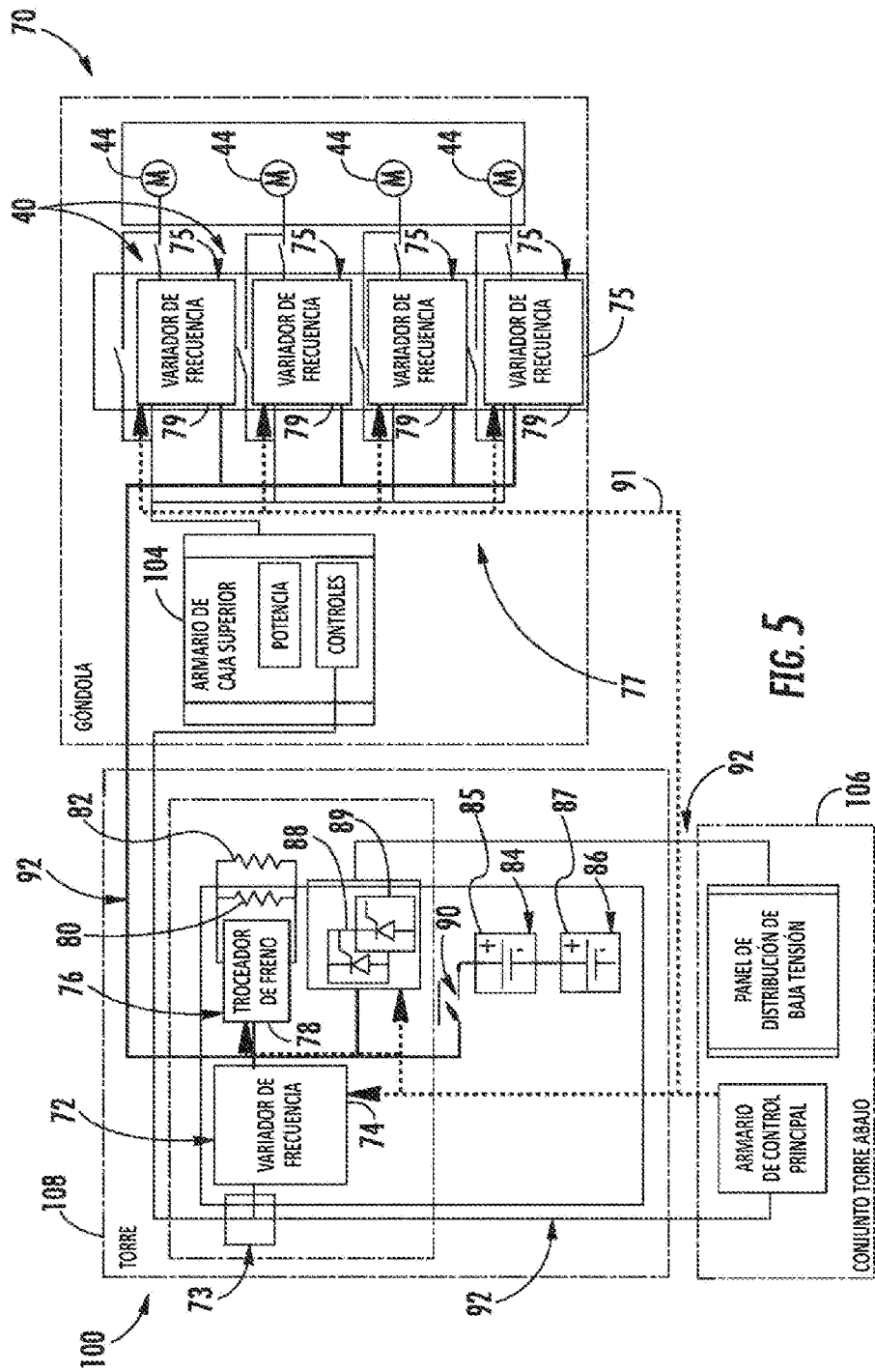


FIG 5

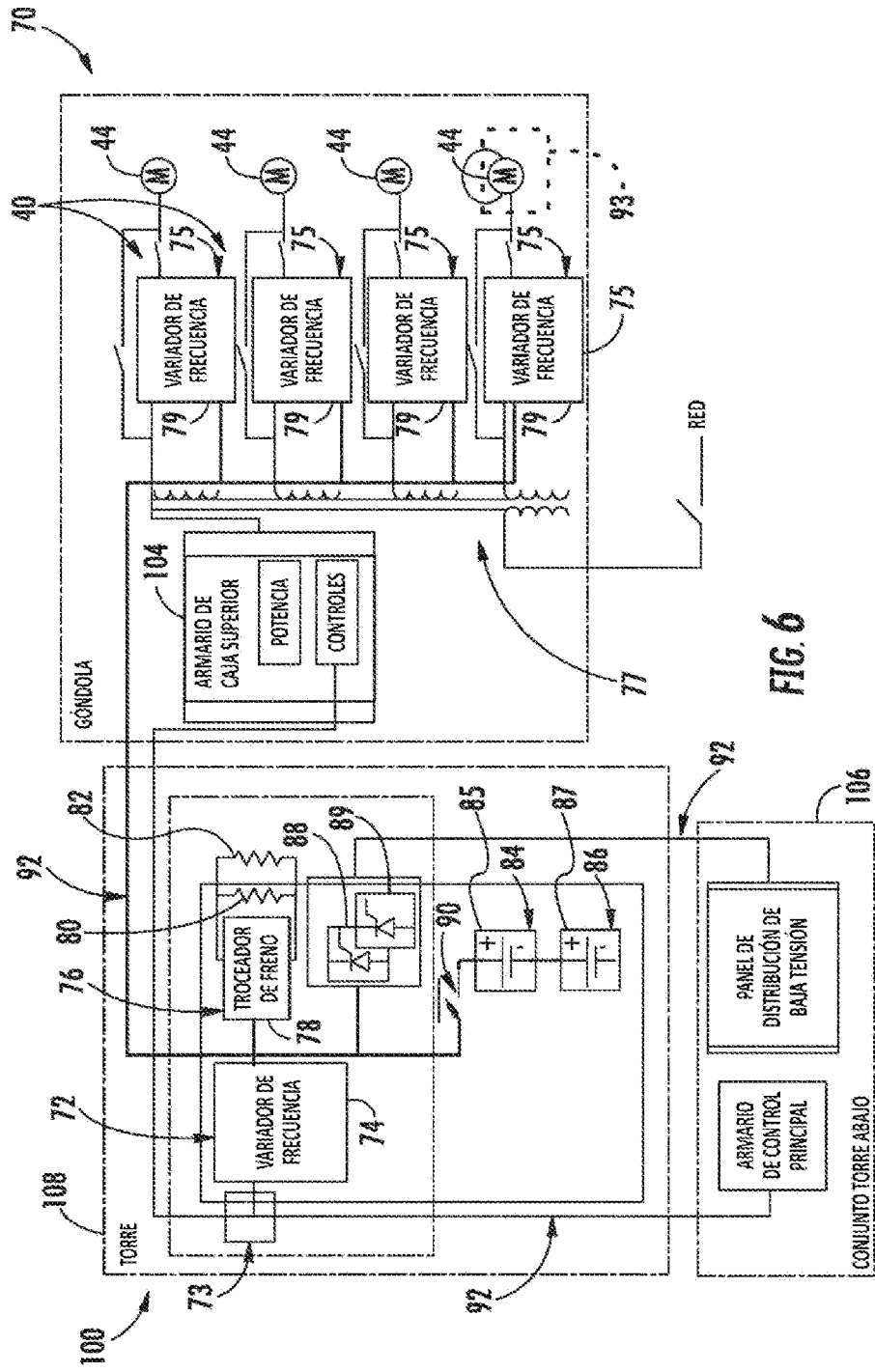


FIG. 6

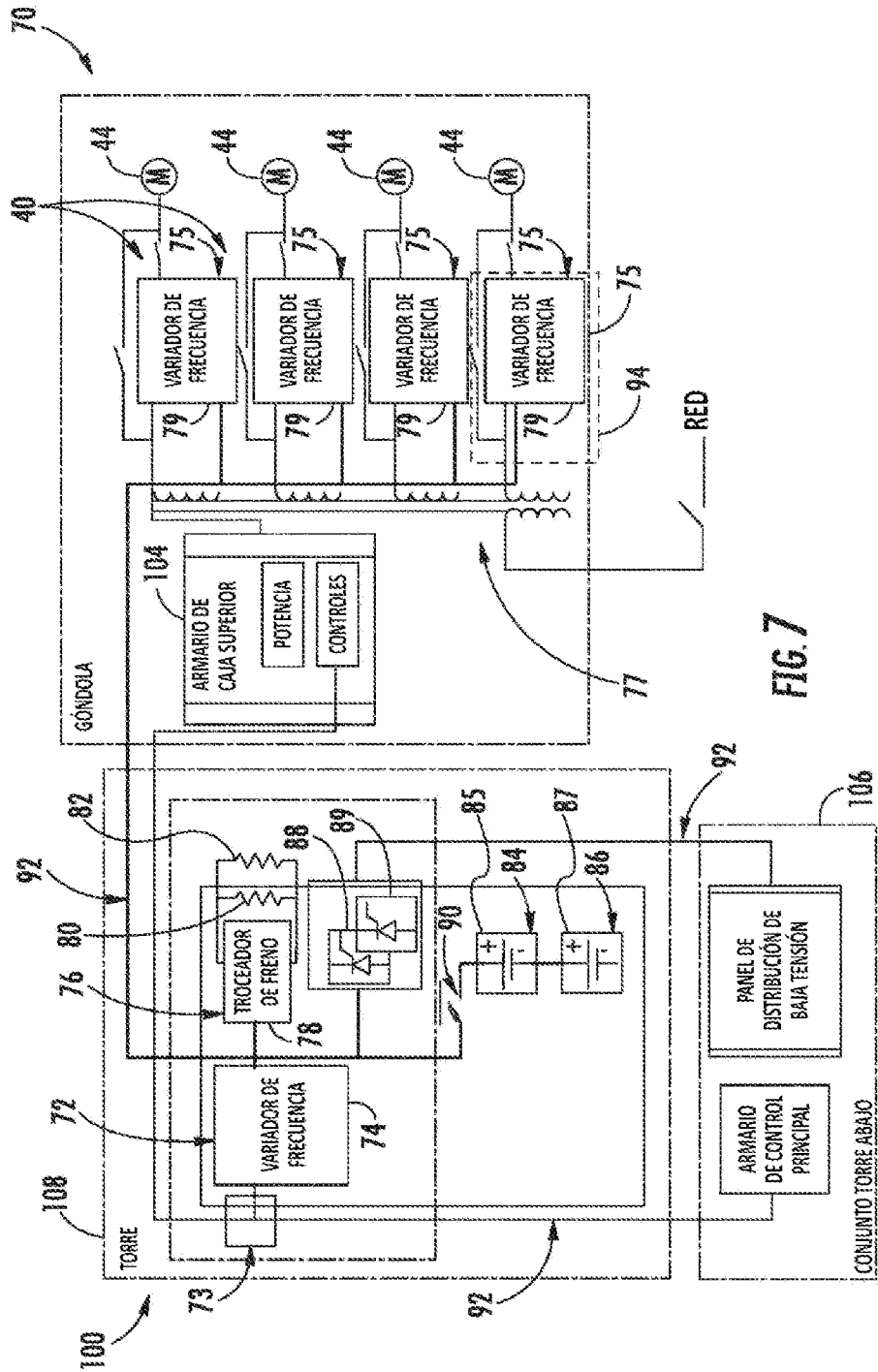


FIG 7

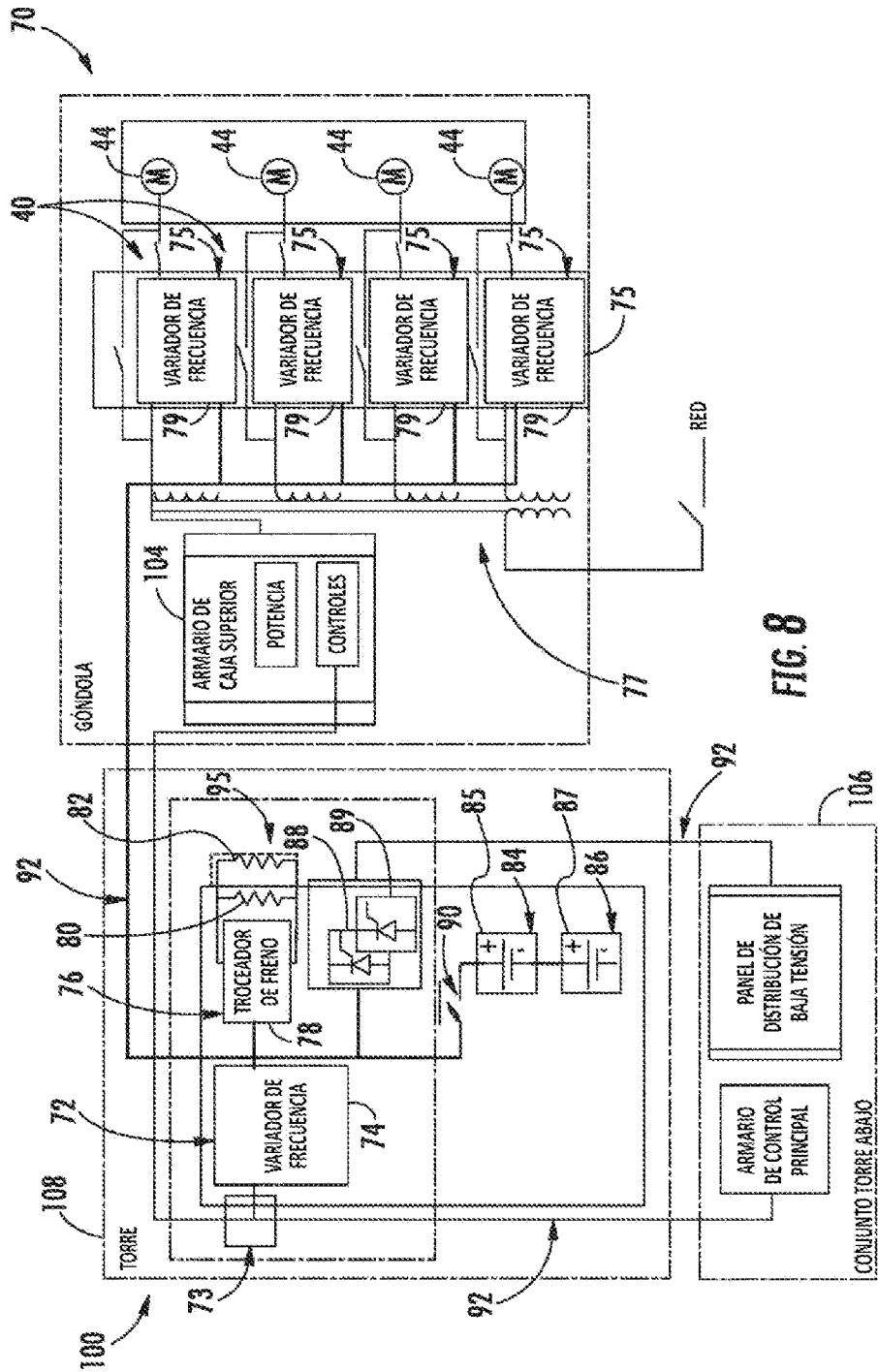


FIG. 8

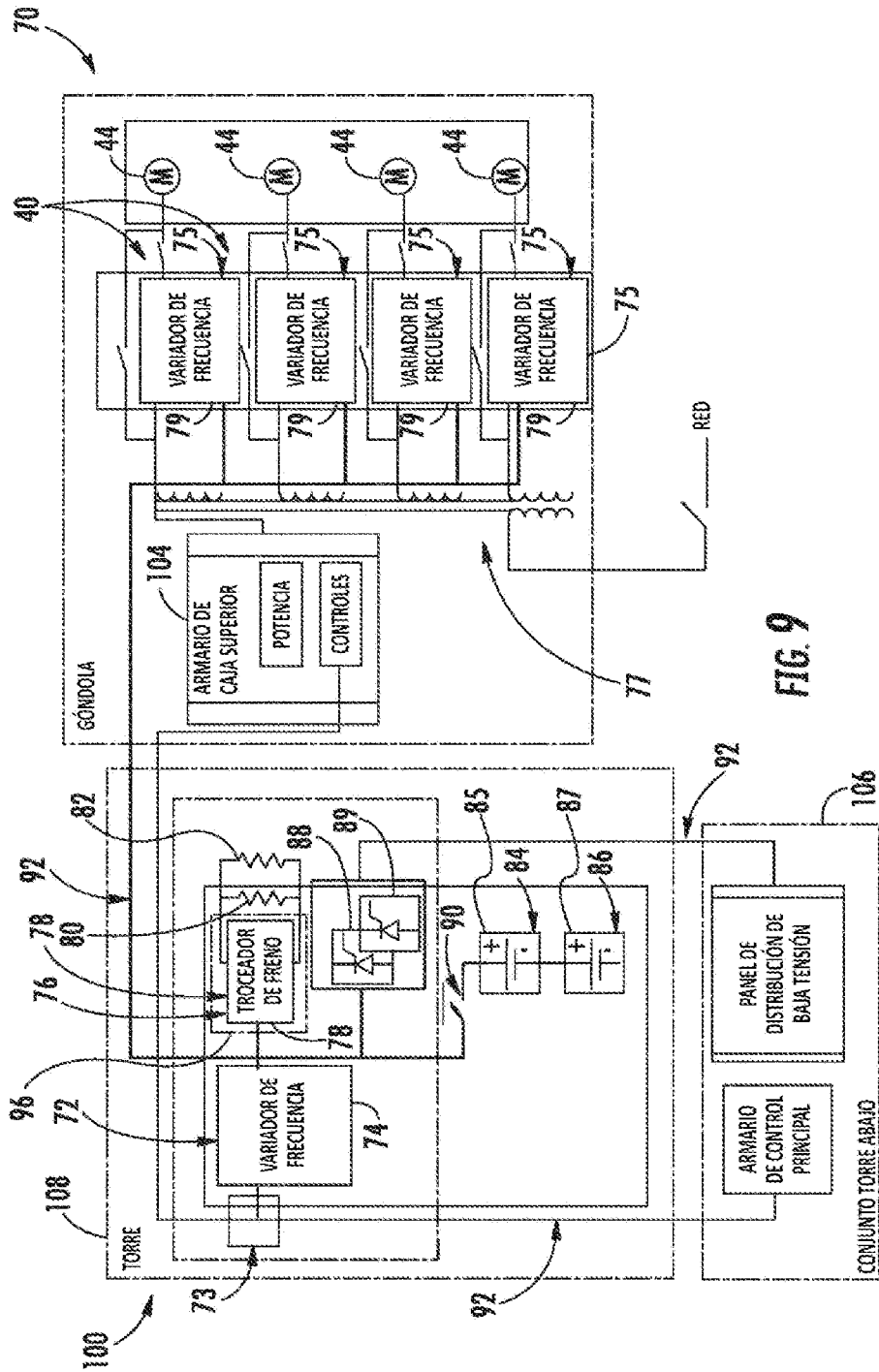


FIG. 9

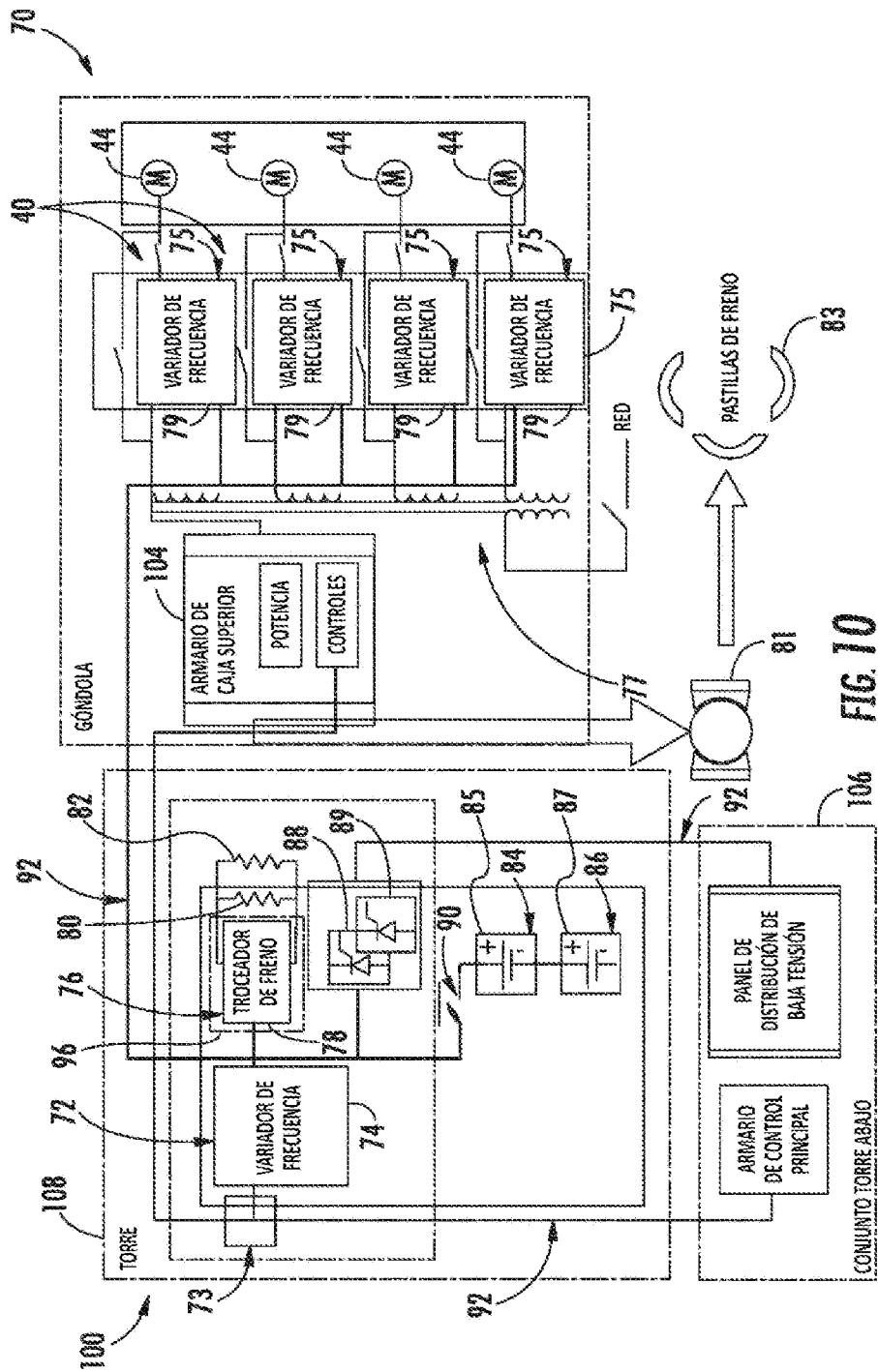


FIG. 10

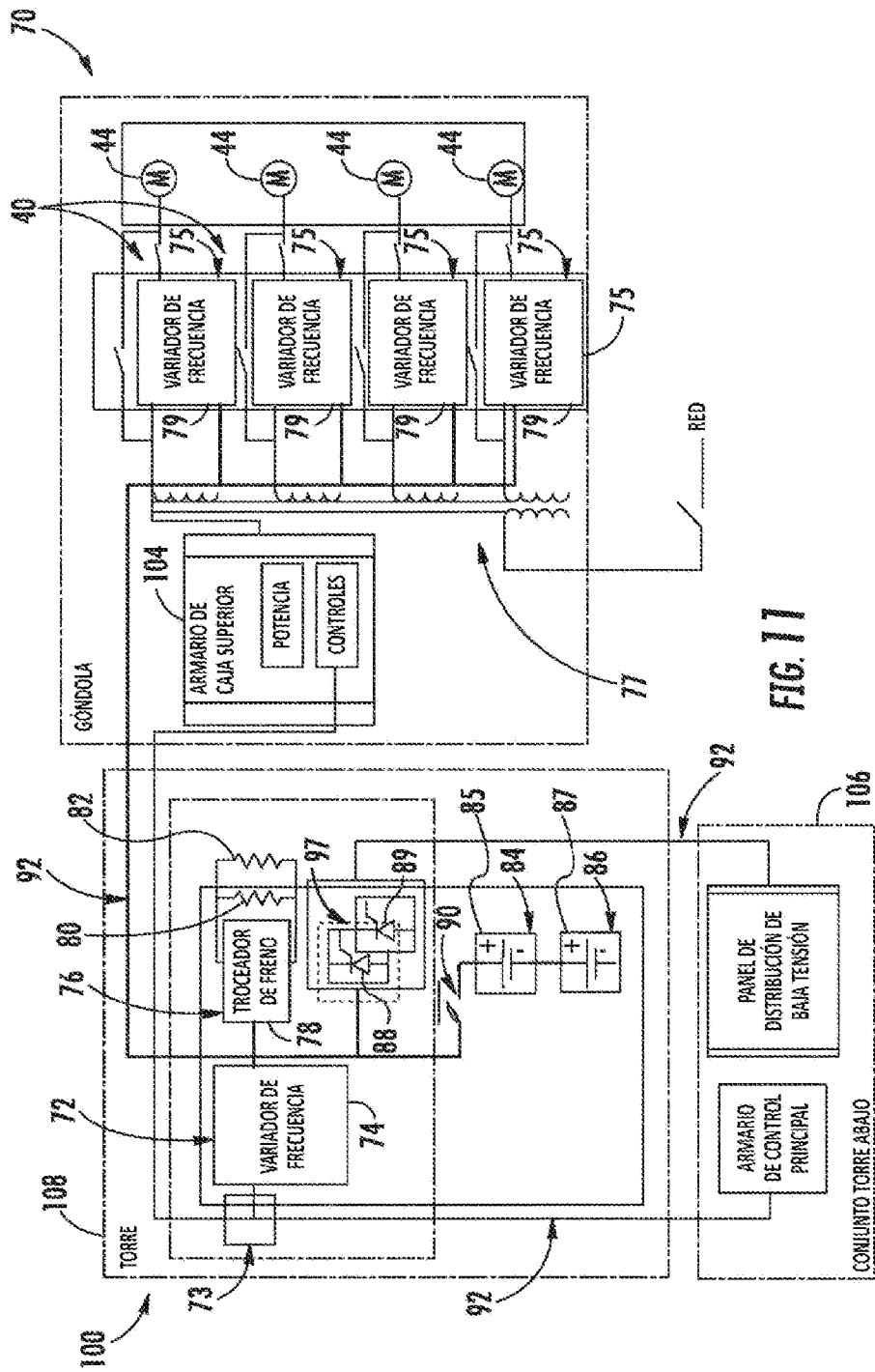


FIG. 11

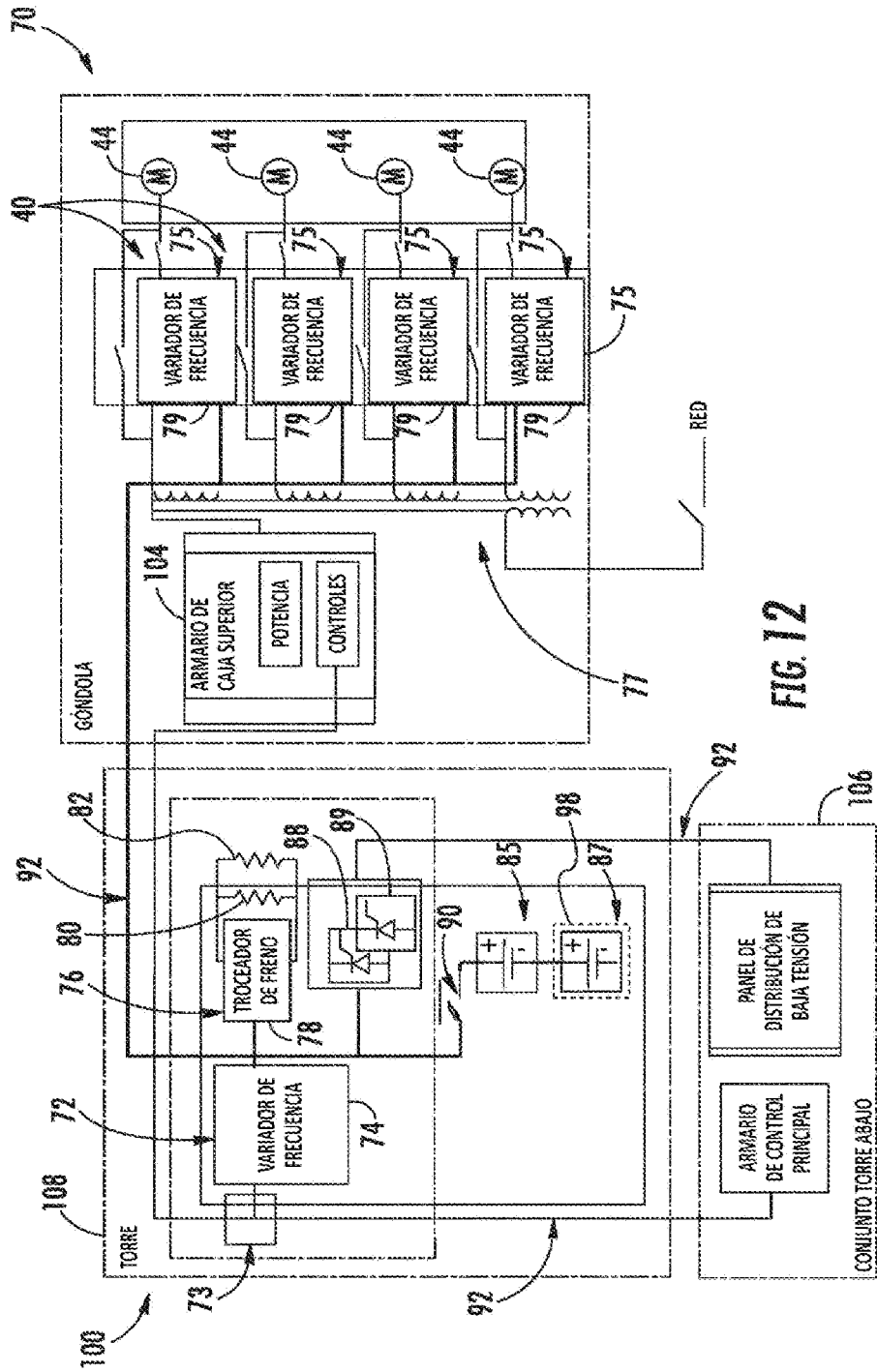


FIG. 12

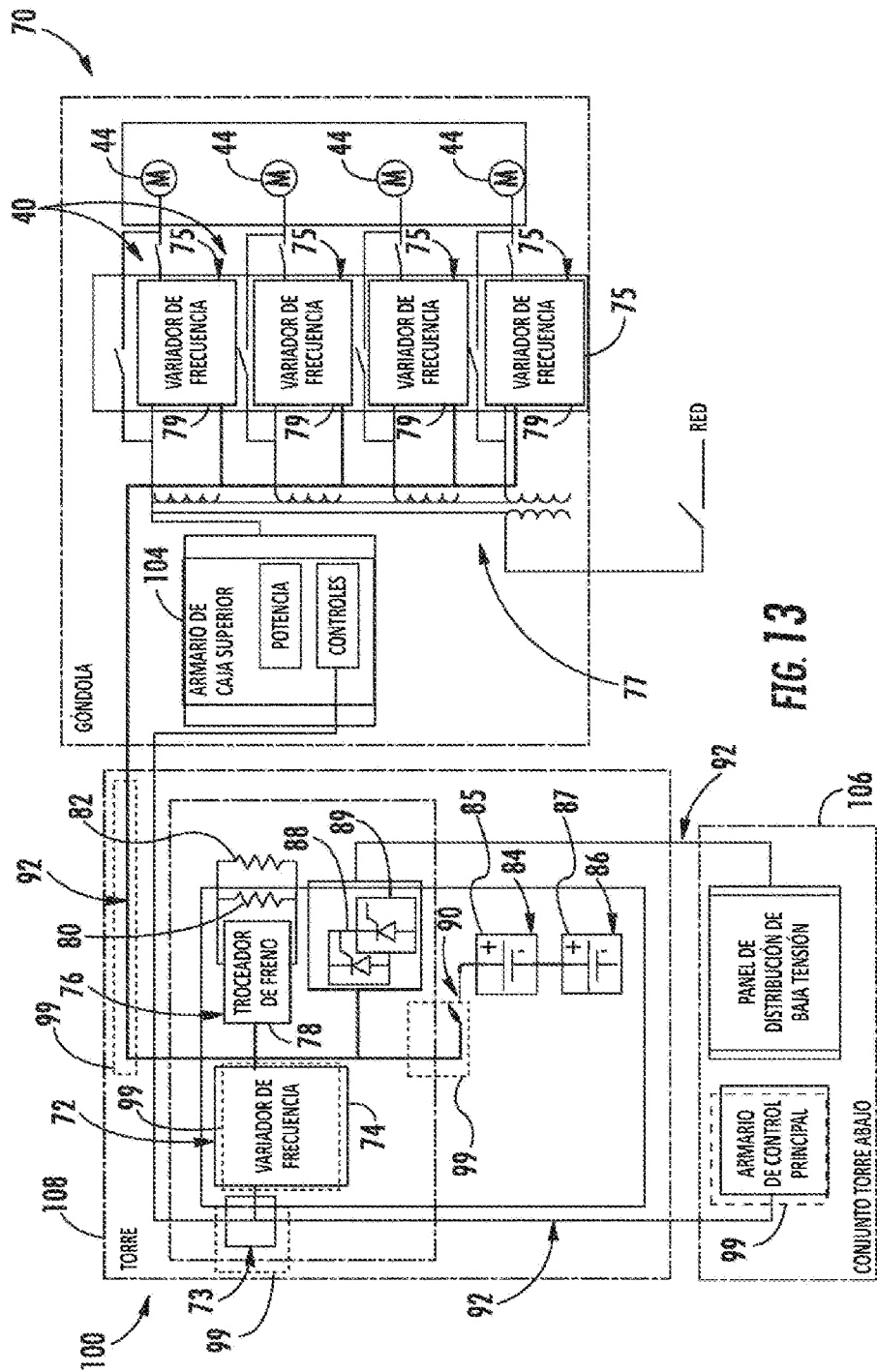


FIG. 13

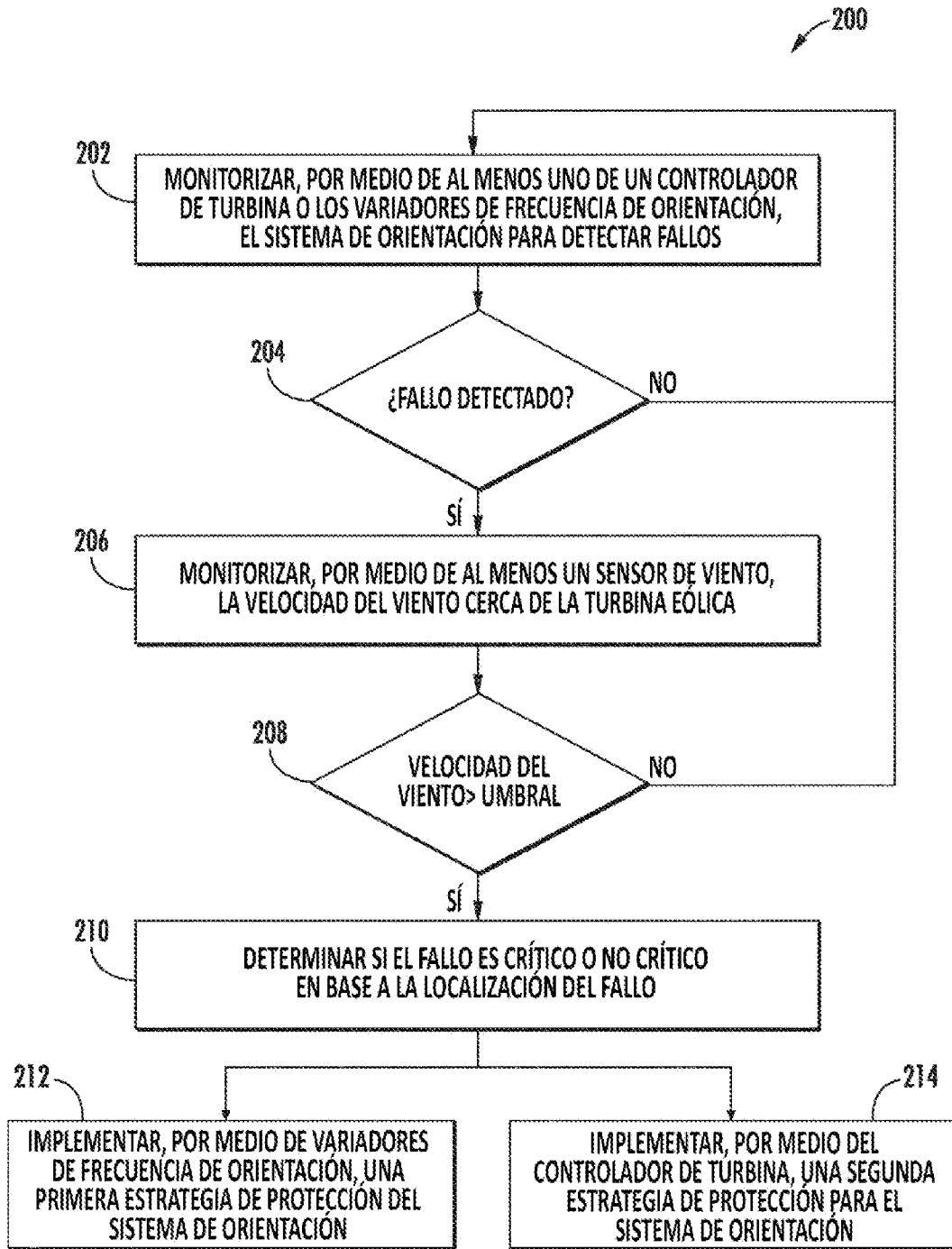


FIG. 14