

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 928 716**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2018** **E 18213154 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2022** **EP 3502463**

54 Título: **Sistema y procedimiento para proteger turbinas eólicas durante ráfagas de viento**

30 Prioridad:

22.12.2017 US 201715851887

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

22.11.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

VADLAMUDI, VENKATA KRISHNA y
VADDI, PRASHANTH KUMAR REDDY

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 928 716 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

Sistema y procedimiento para proteger turbinas eólicas durante ráfagas de viento

5 **[0001]** La presente invención se refiere en general a turbinas eólicas y, más en particular, a sistemas y procedimientos para proteger turbinas eólicas durante ráfagas de viento extremas.

10 **[0002]** La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más ecológicas disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y un rotor. El rotor incluye típicamente un buje rotatorio que tiene una o más palas de rotor unidas al mismo. Un rodamiento de *pitch* se configura típicamente de forma operativa entre el buje y la pala de rotor para permitir la rotación alrededor de un eje de *pitch*. Las palas de rotor captan energía cinética del viento usando principios aerodinámicos conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A 15 continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

20 **[0003]** Una salida de potencia del generador se incrementa con la velocidad del viento hasta que la velocidad del viento alcanza una velocidad nominal del viento para la turbina. A y por encima de la velocidad nominal del viento, el generador funciona a una potencia nominal. La potencia nominal es una potencia de salida a la que el generador puede funcionar con un nivel de fatiga o carga extrema para los componentes de turbina que está predeterminado como aceptable. A velocidades del viento mayores de una determinada velocidad, típicamente denominada "límite de desconexión" o "límite de consigna de monitorización", la turbina eólica puede implementar una acción de control, tal como apagar o reducir los valores nominales de la turbina eólica para proteger los 25 componentes de turbina eólica contra daños.

30 **[0004]** A veces, las turbinas eólicas pueden experimentar cambios repentinos en la velocidad del viento o dirección del viento o cambios repentinos en la velocidad del viento y dirección del viento simultáneamente debido a la naturaleza estocástica del viento. Los cambios repentinos en la velocidad del viento o la dirección del viento provocan una carga extrema en la turbina eólica. Para minimizar el impacto de cargas extremas en la turbina eólica, los esquemas de control de protección convencionales apagan la turbina eólica cuando el cambio en la dirección del viento supera los límites umbrales predeterminados.

35 **[0005]** Los esquemas de control de protección convencionales pueden dar lugar a un gran número de desconexiones en el campo, lo que afecta a la disponibilidad de la turbina eólica para producir potencia. Dichos esquemas de control también pueden provocar una carga extrema de funcionamiento mayor de lo normal en diversos componentes de turbina eólica. El documento EP2527646 divulga un procedimiento para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento. 40

45 **[0006]** En consecuencia, serían deseables en la técnica sistemas y procedimientos para proteger las turbinas eólicas durante ráfagas de viento extremas o para la detección temprana de ráfagas de viento extremas para reducir el tiempo de apagado y/o reducir el número de desconexiones asociadas con los esquemas de control convencionales.

[0007] Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar evidentes a partir de la descripción o se pueden aprender a través de la práctica la invención.

50 **[0008]** En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para proteger una turbina eólica de las ráfagas de viento. El procedimiento incluye monitorizar una velocidad del viento en la turbina eólica. El procedimiento también incluye monitorizar una dirección del viento en la turbina eólica. Además, el procedimiento incluye determinar un umbral de ráfaga de viento, en el que las velocidades del viento y las direcciones del viento que superan el umbral de ráfaga de viento son indicativas de una ráfaga de viento extrema (es decir, una ráfaga de velocidad del viento y/o una ráfaga de dirección del viento) que se produce en la turbina eólica. Además, el procedimiento incluye comparar por medio de un controlador, una función de la velocidad del viento monitorizada y una función de la dirección del viento con el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, en el que la comparación comprende: filtrar la velocidad del viento y la dirección del viento; dividir la dirección del viento filtrada entre dos para obtener un valor dividido; determinar el seno del valor dividido para obtener un valor de seno; determinar un valor absoluto del valor de seno; multiplicar el valor de seno absoluto por la velocidad del viento filtrada para obtener un valor umbral; y comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento; e implementar por medio del controlador, una acción correctiva cuando el valor umbral supera el umbral de ráfaga de viento. 60

65 **[0009]** En un modo de realización, el procedimiento puede incluir monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento simultáneamente.

[0010] En otro modo de realización, el procedimiento puede incluir filtrar al menos una de la velocidad del viento o la dirección del viento. Más específicamente, en un modo de realización, el procedimiento puede incluir filtrar la velocidad del viento por medio de un filtro de paso de banda y/o un filtro de paso bajo. De forma similar, el procedimiento puede incluir filtrar la dirección del viento por medio de un filtro de paso de banda y/o un filtro de paso bajo.

[0011] En determinados modos de realización, la etapa de comparar la velocidad del viento y la dirección del viento con el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, puede incluir filtrar la velocidad del viento y la dirección del viento por medio de un filtro de paso de banda, dividir la dirección del viento filtrada entre dos para obtener un valor dividido, determinar el seno del valor dividido para obtener un valor de seno, determinar un valor absoluto del valor de seno, multiplicar el valor de seno por la velocidad del viento filtrada para obtener un valor umbral y comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento, como ejemplo.

[0012] En otros modos de realización, el procedimiento puede incluir monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento por medio de uno o más sensores.

[0013] En modos de realización adicionales, el procedimiento puede incluir determinar el umbral de ráfaga de viento en base a cálculos de diseño de turbinas eólicas.

[0014] En varios modos de realización, la etapa de implementar la acción correctiva cuando la velocidad del viento y la dirección del viento superan el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, puede incluir, por ejemplo, modificar un estado operativo de la turbina eólica apagando o desconectando la turbina eólica, así como reduciendo la potencia de la turbina eólica.

[0015] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento. El sistema incluye una pluralidad de sensores configurados para monitorizar una velocidad del viento y una dirección del viento en la turbina eólica y un procesador acoplado de forma comunicativa a la pluralidad de sensores. El procesador está configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones: determinar un umbral de ráfaga de viento, en el que las velocidades del viento y las direcciones del viento por encima del umbral de ráfaga de viento, respectivamente, son indicativas de una ráfaga de viento extrema que se produce en la turbina eólica; comparar una función de la velocidad del viento monitorizada y una función de la dirección del viento con el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, en el que la comparación comprende: filtrar la velocidad del viento y la dirección del viento; dividir la dirección del viento filtrada entre dos para obtener un valor dividido; determinar el seno del valor dividido para obtener un valor de seno; determinar un valor absoluto del valor de seno; multiplicar el valor de seno absoluto por la velocidad del viento filtrada para obtener un valor umbral; y comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento; e implementar una acción correctiva cuando la velocidad del viento monitorizada y la dirección del viento monitorizada superan el umbral de ráfaga de viento, respectivamente.

[0016] Aún en otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento. El procedimiento incluye monitorizar simultáneamente una velocidad del viento y una dirección del viento en la turbina eólica. El procedimiento también incluye determinar un umbral de ráfaga de viento. El umbral de ráfaga de viento es indicativo de una ráfaga de viento extrema que se produce en la turbina eólica. Además, el procedimiento incluye modificar un estado operativo de la turbina eólica solo cuando tanto la velocidad del viento monitorizada supera el umbral de ráfaga de viento como la dirección del viento monitorizada supera el umbral de ráfaga de viento. El procedimiento también puede incluir cualquiera de las etapas y/o rasgos característicos adicionales como se describe en el presente documento.

[0017] 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 los modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En las figuras:

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 una turbina eólica;

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

la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento de acuerdo con la presente divulgación;

5 la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un sistema para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento para proteger una turbina eólica de ráfagas de viento de acuerdo con la presente divulgación.

10 **[0018]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará 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, se pueden usar los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo
15 de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como vengan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0019] 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 incluye en general 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 fuera desde, el 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 puede estar espaciada alrededor del buje 20 para
20 facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética del viento se convierta en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en 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.

[0020] La turbina eólica 10 también puede incluir un controlador de turbina eólica 26 centralizado dentro de la góndola 16. 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 en el exterior de la turbina eólica 10. Además, el controlador 26 se puede acoplar de forma comunicativa a un número cualquiera de componentes de la turbina eólica 10 para controlar el funcionamiento de dichos componentes y/o implementar una acción correctiva. Como tal, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios
30 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 operativos (por ejemplo, secuencias de arranque o apagado), reducir los valores nominales o aumentar los valores nominales de la turbina eólica y/o los componentes individuales de la turbina eólica 10.

[0021] 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 puede estar dispuesto dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 puede estar acoplado 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
40 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 caja de engranajes 38. Como se entiende en general, el eje de rotor 34 puede proporcionar una entrada de baja velocidad y alto par de torsión a la caja de engranajes 38 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 22 y del buje 20. A continuación, la caja de engranajes 38 puede estar configurada para convertir la entrada de baja velocidad y alto par de torsión en una salida de alta velocidad y bajo par de torsión para accionar el eje de generador 36 y, por tanto, el generador 24.

[0022] Aún con referencia a la FIG. 2, cada pala de rotor 22 puede incluir también un mecanismo de ajuste de *pitch* 32 configurado para hacer rotar cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de *pitch* 28. Además, cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 puede incluir un motor de accionamiento de *pitch* 40 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico, hidráulico o neumático adecuado), una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 42 y un piñón de accionamiento de *pitch* 44. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 40 se puede acoplar a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 42 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 40 confiera fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 42. De forma similar, la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 42 se puede acoplar al piñón de accionamiento de *pitch* 44 para su rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de *pitch* 44 puede estar, a su vez, en acoplamiento rotatorio con un rodamiento de *pitch* 46 acoplado entre el buje 20 y una pala de rotor 22 correspondiente de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 44 provoque la rotación del rodamiento de *pitch* 46. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de *pitch* 40 acciona la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 42 y el piñón de accionamiento de *pitch* 44, haciendo rotar, de este modo, el rodamiento de *pitch* 46 y la
55 60 65

pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 28. De forma similar, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más mecanismos de accionamiento de orientación ("yaw drive mechanisms") 66 acoplados de forma comunicativa al controlador 26, estando configurado cada mecanismo de accionamiento de orientación 66 para cambiar el ángulo de la góndola 16 en relación con la dirección del viento 30 (por ejemplo, engranando un rodamiento de orientación ("yaw bearing") 68 de la turbina eólica 10 para rotar la góndola alrededor de un eje de orientación ("yaw axis") 67 (FIG. 1)).

[0023] La turbina eólica 10 también puede incluir un sistema de sensores 64 que tiene uno o más sensores 48, 50, 52, 54 para medir diversos parámetros operativos y/o del viento de o en la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, un sensor(es) 48 puede(n) estar localizado(s) en el buje 20 para medir las cargas de buje de la turbina eólica 10. Además, un sensor(es) 50 puede(n) estar localizado(s) en una o más de las palas de rotor 22 para medir las cargas de las mismas. Además, un sensor(es) 54 puede(n) estar localizado(s) en la torre 12 de la turbina eólica 10 para medir las cargas de la misma. Además, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sensores de viento 52 para medir diversos parámetros ambientales y/o del viento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, dicho(s) parámetro(s) puede(n) incluir ráfagas de viento, velocidad del viento, dirección del viento, aceleración del viento, turbulencia del viento, variación de la velocidad del viento con la altura, variación de la dirección del viento con la altura, estela o similares, así como la densidad del aire, la humedad del aire, la humedad, la presión, la temperatura o cualquier otra condición ambiental.

[0024] En modos de realización alternativos, los sensores 48, 50, 52, 54 pueden ser cualquier otro sensor adecuado que pueda medir los parámetros operativos y/o del viento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, los sensores pueden ser acelerómetros, sensores de presión, sensores de ángulo de ataque, sensores de vibración, sensores MIMU, sistemas de cámara, sistemas de fibra óptica, anemómetros, veletas, sensores sónicos de detección y determinación de distancia ("Sonic Detection and Ranging" o SODAR), láseres de infrarrojos, radiómetros, tubos de Pitot, radiosondas, otros sensores ópticos y/o cualquier otro sensor adecuado. Se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, el término "monitorizar" y variaciones del mismo indican que los diversos sensores de la turbina eólica se pueden configurar para proporcionar una medición directa de los parámetros que se monitorizan o una medición indirecta de dichos parámetros. Por tanto, los sensores 48, 50, 52, 54 se pueden usar, por ejemplo, para generar señales relacionadas con el parámetro que se monitoriza, que se pueden utilizar a continuación por el controlador 26 para determinar la condición real.

[0025] En referencia específicamente 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 uno o más procesadores 56 y dispositivos de memoria asociados 58 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 26 también puede incluir un módulo de comunicaciones 60 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Además, el módulo de comunicaciones 60 puede incluir una interfaz de sensor 62 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde los sensores 48, 50, 52, 54 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 56. Se debe apreciar que los sensores 48, 50, 52, 54 se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 60 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los sensores 48, 50, 52, 54 están acoplados a la interfaz de sensor 62 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 48, 50, 52, 54 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 62 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 56 se puede configurar para recibir una o más señales desde los sensores 48, 50, 52, 54.

[0026] 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 58 puede(n) comprender en general elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disco flexible, 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. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 58 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 que incluyen, pero sin limitarse a, estimar uno o más parámetros del viento de la turbina eólica 10 en base a la pluralidad de datos operativos, transmitir señales de control adecuadas para implementar acciones de control en respuesta a la detección de condiciones del viento transitorias y otras diversas funciones implementadas por ordenador adecuadas.

[0027] En referencia ahora a las FIGS. 4-6, se ilustran un sistema 150 y procedimiento 100 para proteger una turbina eólica, tal como la turbina eólica 10 de la FIG. 1, de ráfagas de viento. Más específicamente, la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo del procedimiento 100 para proteger la turbina eólica 10 de ráfagas de viento; la FIG.

5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización del sistema 150 para proteger la turbina eólica 10 de ráfagas de viento; y la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización del sistema 150 para proteger la turbina eólica 10 de ráfagas de viento.

[0028] En referencia en particular a la FIG. 4, como se muestra en 102, el procedimiento 100 incluye monitorizar una velocidad del viento en la turbina eólica 10. Como se muestra en 104, el procedimiento 100 también incluye monitorizar una dirección del viento en la turbina eólica 10. Por ejemplo, en un modo de realización, el procedimiento 100 puede incluir monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento simultáneamente. En otros modos de realización, el procedimiento 100 puede incluir monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento por medio de uno o más de los sensores 48, 50, 52, 54.

[0029] Como se muestra en 106, el procedimiento 100 también incluye determinar un umbral de ráfaga de viento. Por ejemplo, en un modo de realización, el procedimiento 100 puede incluir determinar el umbral de ráfaga de viento en base a cálculos de diseño de turbinas eólicas. Por tanto, las velocidades del viento y las direcciones del viento que superan el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, son indicativas de una ráfaga de viento extrema (es decir, una ráfaga de velocidad del viento y/o una ráfaga de dirección del viento) que se produce en la turbina eólica 10. Por ejemplo, los cálculos de umbrales y/o constantes de filtro se pueden basar en simulación de cargas para velocidades del viento/direcciones de viento laterales y compararse con envolventes de tensión de componentes de turbina eólica. Además, la capacidad de detectar ráfagas de forma temprana permite que el controlador 26 actúe y evite cargas extremas. Los umbrales conservadores que tienen en cuenta la incertidumbre en la velocidad del viento y/o En referencia de nuevo a la FIG. 4, como se muestra en 108, el procedimiento 100 también incluye comparar, por ejemplo, por medio del controlador 26, la velocidad del viento filtrada 162 o una función de la misma y la dirección del viento filtrada 164 o una función de la misma con el umbral de ráfaga de viento, respectivamente. A continuación, se pueden usar los valores filtrados por el controlador 26 para determinar si se está produciendo una ráfaga de viento en la turbina eólica 10. En un modo de realización, la velocidad del viento y la dirección del viento se pueden ponderar por igual por el controlador 26. De forma alternativa, en un modo de realización preferente, la velocidad del viento y la dirección del viento se pueden ponderar de forma diferente. En dichos modos de realización, el controlador 26 puede usar una función, tal como seno, para cambiar el peso relativo entre los dos parámetros.

[0030] Más específicamente, como se muestra en la FIG. 5, el controlador 26 puede filtrar la velocidad del viento 152 y la dirección del viento 154 por medio del filtro de paso de banda 156. Por ejemplo, como se muestra en el módulo de control 166, el controlador 26 puede dividir a continuación la dirección del viento filtrada 164 entre dos para obtener un valor dividido, determinar el seno del valor dividido para obtener un valor de seno, determinar un valor absoluto del valor de seno, multiplicar el valor de seno absoluto por la velocidad del viento filtrada 162 para obtener un valor umbral y comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento, como ejemplo. En dichos modos de realización, la función $\text{seno}(\text{WD_BP}/2)$ da más peso a las direcciones de viento bajas (por ejemplo, 60 grados) y menos peso a las direcciones de viento altas (por ejemplo, 180 grados, yendo el $\text{seno}(\text{WD_BP}/2)$ de 0 a 1 a medida que la dirección del viento va de 0 a 180 grados. También se pueden usar muchas otras funciones.

[0031] Además, se pueden aplicar funciones tales como el seno y la división antes del filtrado, es decir, se puede filtrar una función de la velocidad y la dirección del viento sin procesar en lugar de filtrar la velocidad del viento y la dirección del viento sin procesar y a continuación aplicar la función. De forma alternativa, como se muestra en la FIG. 6, el controlador 26 puede filtrar la velocidad del viento 152 y la dirección del viento 154 por medio del filtro de paso bajo 156. Por tanto, como se muestra en el módulo de control 168, el controlador 26 puede dividir a continuación la dirección del viento filtrada 164 entre dos para obtener un valor dividido, determinar el seno del valor dividido para obtener un valor de seno, determinar un valor absoluto del valor de seno, multiplicar el valor absoluto de seno por la velocidad del viento filtrada 162 para obtener un valor umbral, y comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento, como otro ejemplo. La velocidad y la dirección del viento se filtran y a continuación se aplica la función. De forma alternativa, como se muestra en la FIG. 6, el controlador 26 puede filtrar la velocidad del viento 152 y la dirección del viento 154 por medio del filtro de paso bajo 156. Por tanto, como se muestra en el módulo de control 168, el controlador 26 puede dividir a continuación la dirección del viento filtrada 164 entre dos para obtener un valor dividido, determinar el seno del valor dividido para obtener un valor de seno, determinar un valor absoluto del valor de seno, multiplicar el valor de seno por la velocidad del viento filtrada 162 para obtener un valor umbral y comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento, como otro ejemplo.

[0032] En consecuencia, como se muestra en 110 de la FIG. 4, el procedimiento 100 puede incluir implementar una acción correctiva cuando la velocidad del viento 152 y la dirección del viento 154 superan el umbral de ráfaga de viento, respectivamente. Por ejemplo, en varios modos de realización, la etapa de implementar la acción correctiva cuando la velocidad del viento 152 y la dirección del viento 154 superan el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, puede incluir, por ejemplo, apagar o desconectar la turbina eólica 10, así como reducir la potencia de la turbina eólica 10.

[0033] Como se usa en el presente documento, reducir la potencia de la turbina eólica 10 puede incluir reducir la velocidad de giro, reducir el par de torsión o una combinación de ambos. Además, se puede reducir la potencia de la turbina eólica 10 reduciendo la velocidad e incrementando el par de torsión, lo que puede ser beneficioso

para mantener la potencia. En otro modo de realización, se puede reducir la potencia temporalmente de la turbina eólica 10 modificando la demanda de par de torsión en el generador 24. En general, se puede modificar la demanda de par de torsión usando cualquier procedimiento, proceso, estructura y/o medio adecuado conocido en la técnica. Por ejemplo, en un modo de realización, la demanda de par de torsión en el generador 24 se puede controlar usando el controlador 26 transmitiendo una señal/instrucción de control adecuados al generador 24 para modular el flujo magnético producido dentro del generador 24.

[0034] Temporalmente también se pueden reducir los valores nominales de la turbina eólica 10 orientando la góndola 16 para cambiar el ángulo de la góndola 16 en relación con la dirección del viento 30. En otros modos de realización, el controlador 26 se puede configurar para accionar uno o más frenos mecánicos o activar un elemento de modificación de flujo de aire en una pala de rotor para reducir la velocidad de rotación y/o la carga de las palas de rotor 14, reduciéndose de este modo la carga en los componentes. Todavía en otros modos de realización, el controlador 26 se puede configurar para realizar cualquier acción de control apropiada conocida en la técnica. Además, el controlador 26 puede implementar una combinación de dos o más acciones de control.

[0035] En referencia ahora a la FIG. 7, se ilustra el diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento 200 para proteger la turbina eólica 10 de ráfagas de viento. Como se muestra en 202, el procedimiento 200 incluye monitorizar simultáneamente una velocidad del viento y una dirección del viento en la turbina eólica 10. Como se muestra en 204, el procedimiento 200 incluye determinar un umbral de ráfaga de viento. El umbral de ráfaga de viento es indicativo de una ráfaga de viento extrema que se produce en la turbina eólica 10. Como se muestra en 206, el procedimiento 200 incluye modificar un estado operativo de la turbina eólica 10 solo cuando tanto la velocidad del viento monitorizada supera el umbral de ráfaga de viento como la dirección del viento monitorizada supera el umbral de ráfaga de viento. Por ejemplo, la turbina eólica 10 se puede desconectar, apagar o reducir su potencia.

[0036] También se debe apreciar que una ventaja de la presente invención es que el sistema y procedimiento se pueden implementar usando componentes existentes de la turbina eólica 10. Como tal, no se requiere que un usuario adquiera, instale y realice mantenimiento de nuevos equipos. Además, el controlador 26 puede estar integrado con un sistema de control más amplio, tal como, pero sin limitarse a, un sistema de control de turbina eólica, un sistema de control de planta, un sistema de monitorización remoto o combinaciones de los mismos.

[0037] En esta descripción escrita se usan ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica lleve a la práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) para proteger una turbina eólica (10) de ráfagas de viento, comprendiendo el procedimiento (100):
5
monitorizar (102) una velocidad del viento en la turbina eólica (10);
monitorizar (104) una dirección del viento en la turbina eólica (10);
determinar (106) un umbral de ráfaga de viento, en el que las velocidades del viento y las direcciones del viento que superan el umbral de ráfaga de viento son indicativas de que se produce una ráfaga de viento extrema en la turbina eólica (10);
10
comparar (108), por medio de un controlador (26), una función de la velocidad del viento monitorizada y una función de la dirección del viento con el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, en el que la comparación comprende:
15
filtrar la velocidad del viento y la dirección del viento;
dividir la dirección del viento filtrada entre dos para obtener un valor dividido;
determinar un seno del valor dividido para obtener un valor de seno;
determinar un valor absoluto del valor de seno;
20
multiplicar el valor de seno absoluto por la velocidad del viento filtrada para obtener un valor umbral;
y
comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento; e
implementar (112), por medio del controlador (26), una acción correctiva cuando el valor umbral supera el umbral de ráfaga de viento.
25
2. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, que comprende además monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento simultáneamente.
3. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones procedentes, en el que filtrar la velocidad del viento comprende filtrar por medio de al menos uno de un filtro de paso de banda (156) o un filtro de paso bajo (158).
30
4. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento por medio de uno o más sensores.
35
5. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además determinar el umbral de ráfaga de viento en base a cálculos de diseño de turbinas eólicas.
6. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que implementar la acción correctiva cuando la velocidad del viento y la dirección del viento supera el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, comprende además al menos uno de apagar la turbina eólica (10) o reducir la potencia de la turbina eólica (10).
40
7. Un sistema (150) para proteger una turbina eólica (10) de ráfagas de viento, comprendiendo el sistema (150):
45
una pluralidad de sensores configurados para monitorizar una velocidad del viento y una dirección del viento en la turbina eólica (10);
un procesador (56) acoplado de forma comunicativa a la pluralidad de sensores, el procesador (56) configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones:
50
determinar un umbral de ráfaga de viento, en el que las velocidades del viento y las direcciones del viento por encima del umbral de ráfaga de viento, respectivamente, son indicativas de una ráfaga de viento extrema que se produce en la turbina eólica (10);
comparar una función de la velocidad del viento monitorizada y una función de la dirección del viento con el umbral de ráfaga de viento, respectivamente, en el que la comparación comprende:
55
filtrar la velocidad del viento y la dirección del viento;
dividir la dirección del viento filtrada entre dos para obtener un valor dividido;
determinar un seno del valor dividido para obtener un valor de seno;
60
determinar un valor absoluto del valor de seno;
multiplicar el valor de seno absoluto por la velocidad del viento filtrada para obtener un valor umbral;
y
comparar el valor umbral con el umbral de ráfaga de viento; e
65
implementar una acción correctiva cuando la velocidad del viento monitorizada y la dirección del viento monitorizada superan el umbral de ráfaga de viento, respectivamente.

8. El sistema (150) de la reivindicación 7, en el que las una o más operaciones comprenden además monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento simultáneamente.
- 5 9. El sistema (150) de las reivindicaciones 7 u 8, en el que las una o más operaciones comprenden además filtrar al menos una de la velocidad del viento o la dirección del viento por medio de al menos uno de un filtro de paso de banda (156) o un filtro de paso bajo (158).
- 10 10. El sistema (150) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que las una o más operaciones comprenden además monitorizar la velocidad del viento y la dirección del viento por medio de uno o más sensores.
- 15 11. El sistema (150) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que las una o más operaciones comprenden además determinar el umbral de ráfaga de viento en base a cálculos de diseño de turbinas eólicas.

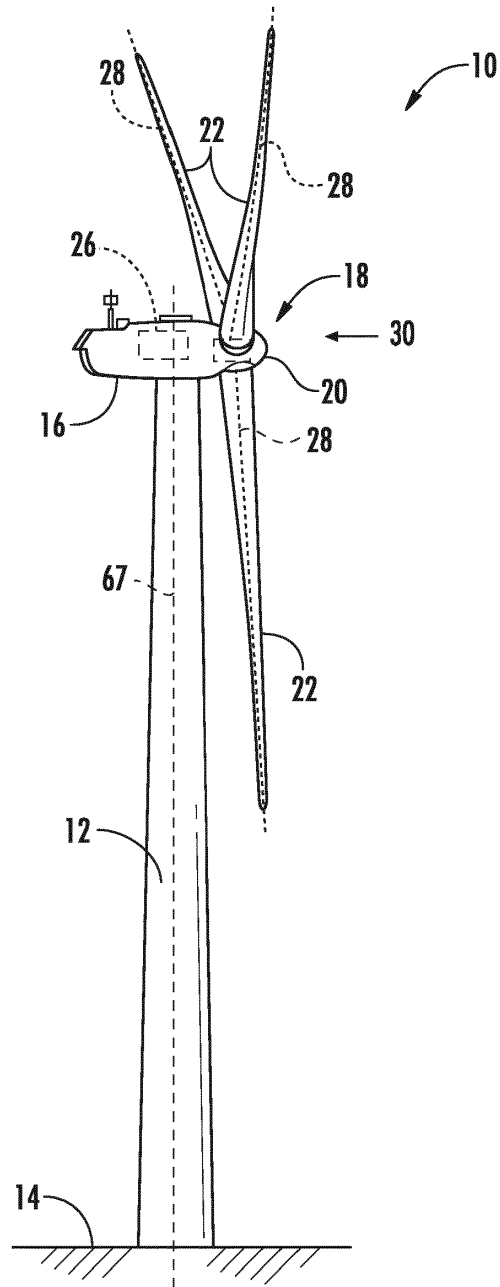


FIG. 1

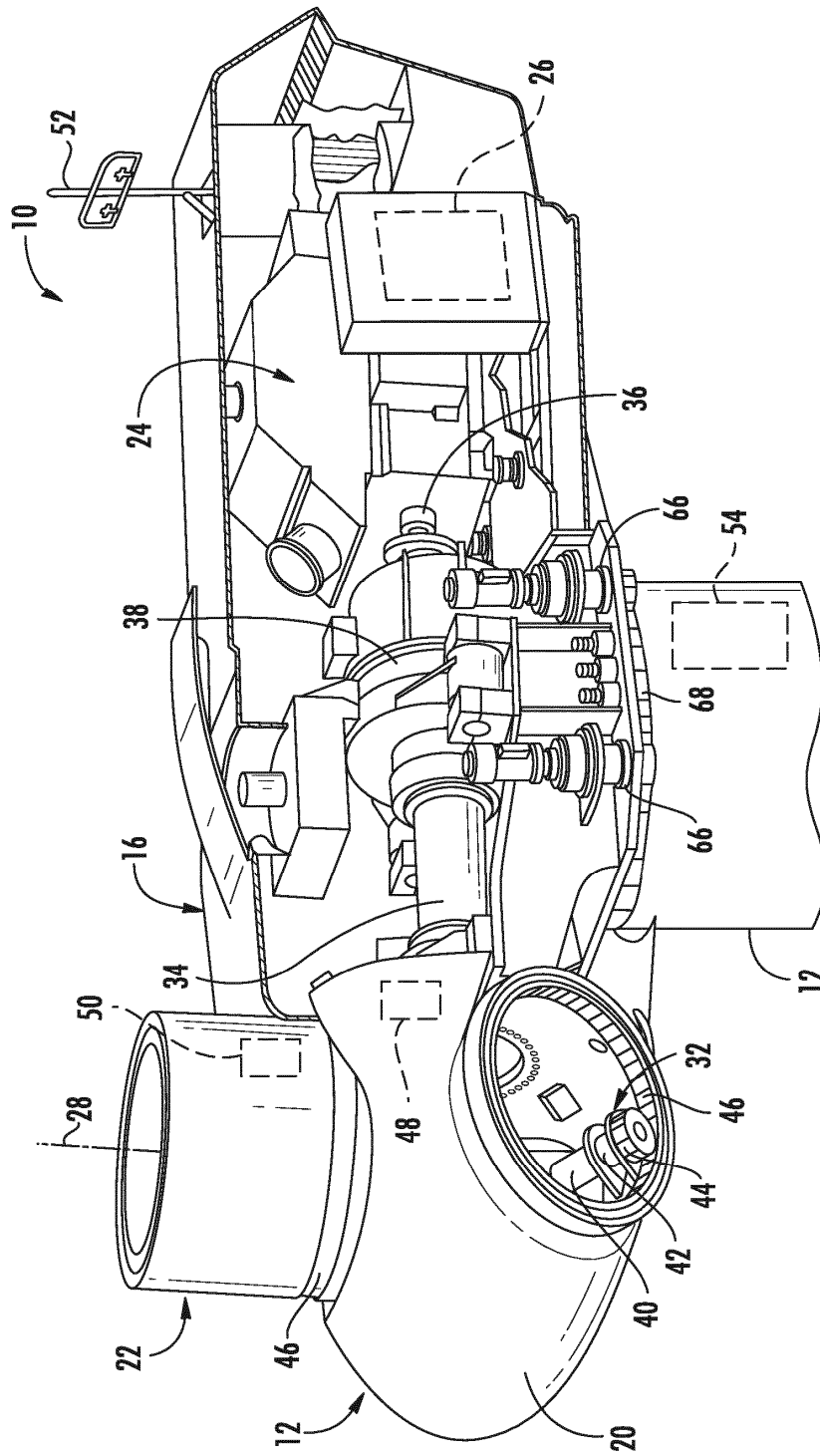


FIG. 2

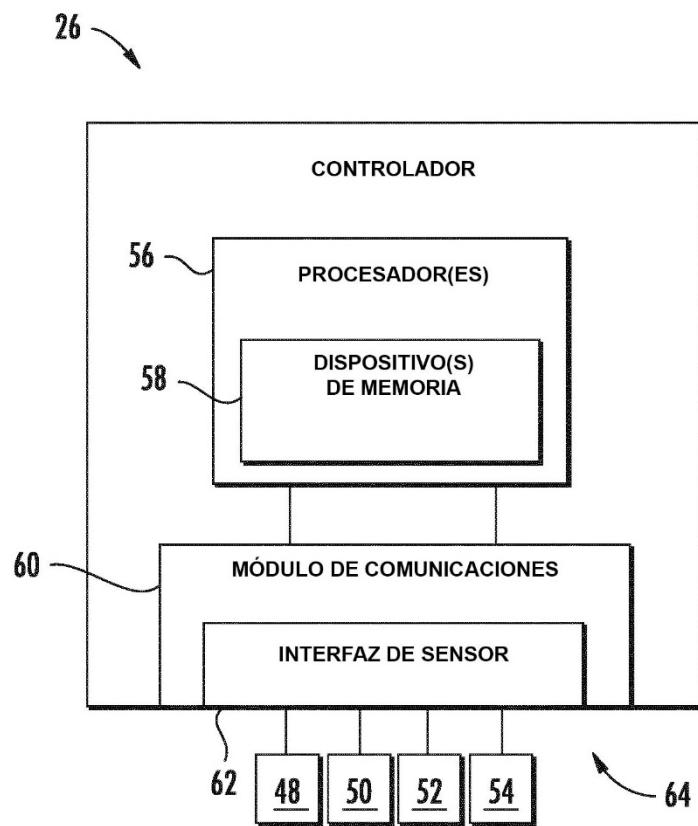


FIG. 3

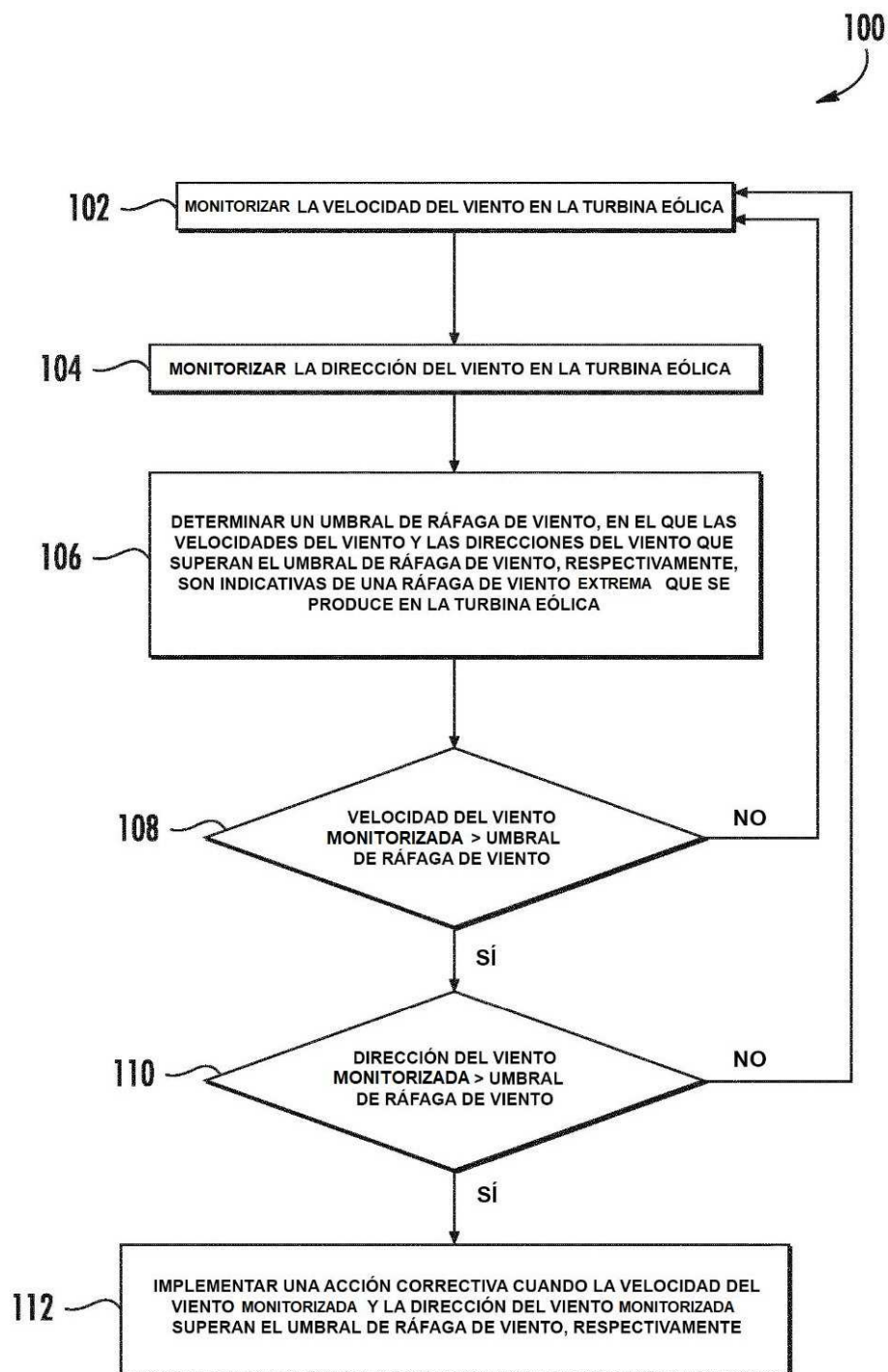


FIG. 4

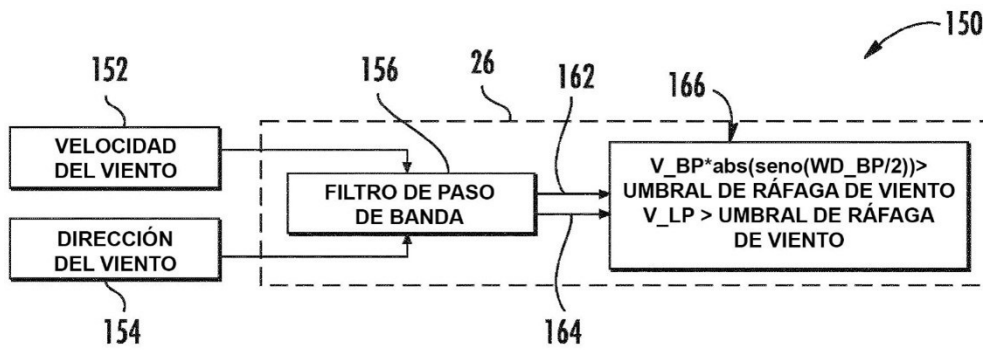


FIG. 5

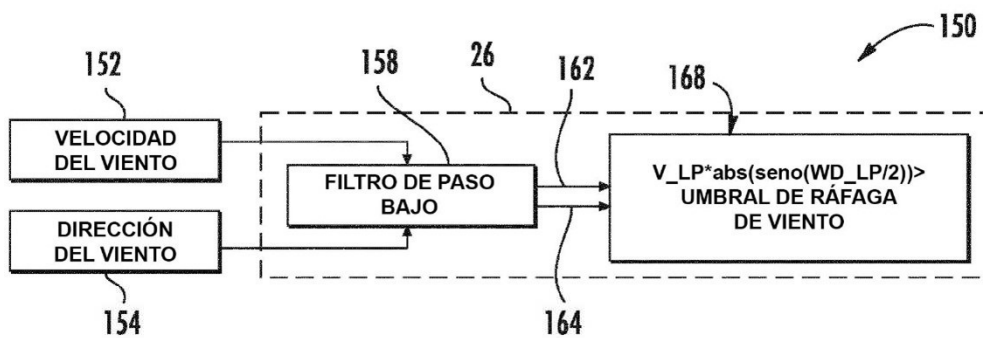


FIG. 6

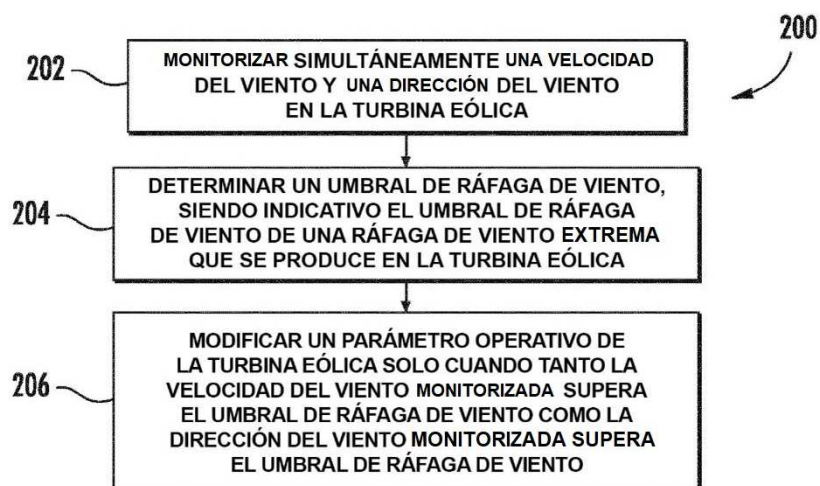


FIG. 7