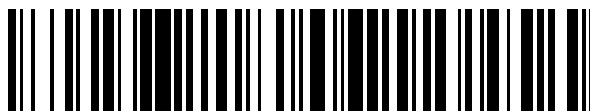


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 874 856**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2014** **E 14194562 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.03.2021** **EP 2884097**

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica**

30 Prioridad:

11.12.2013 US 201314102912

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

05.11.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HARDWICKE, EDWARD WAYNE;
KLODOWSKI, ANTHONY MICHAEL;
GANDHI, JIGNESH GOVINDLAL;
BARKER, SIDNEY ALLEN;
DINJUS, THOMAS ERNST y
BRUEGGER, REINHARD**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 874 856 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 controlar un sistema de turbina eólica

5 **[0001]** La presente materia se refiere, en general, a sistemas de turbina eólica y, más en particular, a un sistema y procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica que permite reducir la velocidad y/o el par de torsión del generador de forma controlada en base a cualquier restricción limitante del sistema.

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 cobran cada vez más importancia en este sentido. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. 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 multiplicadora o, si no se usa una multiplicadora, directamente al generador. A continuación, el
15 generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Un convertidor de energía típicamente regula el flujo de energía eléctrica entre el generador y una red de distribución.

[0003] Los diversos componentes de un sistema de turbina eólica, incluidos los componentes de turbina eólica y los componentes del sistema eléctrico, a menudo están sujetos a restricciones de diseño que sirven para limitar los rangos de funcionamiento de dichos componentes en determinadas condiciones de funcionamiento del sistema. Por tanto, cuando las condiciones de funcionamiento del sistema son tales que uno o varios componentes del sistema está(n) funcionando fuera del/de los rango(s) de funcionamiento proporcionado(s) por las restricciones de diseño del componente, a menudo es necesario reducir la potencia de la turbina eólica. Véanse los documentos US 2011/0301769 y US 2013/0270827, por ejemplo.
20

[0004] Los procedimientos de reducción convencionales a menudo utilizan una única curva de reducción predeterminada a través de la cual se reduce la potencia de la turbina eólica. Sin embargo, no es posible seleccionar una única curva de reducción para tener en cuenta la amplia gama de condiciones de funcionamiento que se producen durante el funcionamiento de un sistema de turbina eólica. De este modo, la curva de reducción predeterminada solo se puede optimizar para una pequeña parte de las posibles condiciones de funcionamiento del sistema. Además, dado que cada curva de reducción predeterminada es única para una turbina eólica dada, típicamente se requiere una cantidad significativa de tiempo de ingeniería para desarrollar una curva de reducción que se adapte específicamente a cada turbina eólica. Por ejemplo, el desarrollo de cada curva de reducción es a menudo un proceso iterativo que debe tener en cuenta aspectos de la carga de los componentes, las limitaciones de los controles del sistema, las capacidades de los componentes eléctricos y/o similares. Como resultado, el proceso de desarrollo es, a menudo, bastante desafiante y requiere mucho tiempo.
25
30
35

[0005] Por consiguiente, un sistema y un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica que simplifiquen la manera en que una turbina eólica puede reducir su potencia para tener en cuenta las restricciones de diseño de los diversos componentes del sistema serían deseables en la tecnología.
40

[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 llevando a la práctica la invención.

45 **[0007]** La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

[0008] 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. En los dibujos:
50

La FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica adecuada para utilizarse en un sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

55 la FIG. 2 ilustra una vista interna en perspectiva de un modo de realización de una góndola de la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

60 la FIG. 3 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto, que ilustra, en particular, una turbina eólica y varios componentes eléctricos del sistema de turbina eólica;

la FIG. 4 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de diversos componentes que pueden incluirse dentro de un controlador del sistema de turbina eólica divulgado de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

65

la FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

5 la FIG. 6 ilustra un gráfico de funcionamiento de par de torsión-velocidad de ejemplo para una turbina eólica, que ilustra, en particular, un rango de funcionamiento permisible para la turbina eólica definido entre sus curvas de funcionamiento máxima y mínima;

la FIG. 7 ilustra otra vista del gráfico de funcionamiento de par de torsión-velocidad de ejemplo mostrado en

10 la FIG. 6, que ilustra, en particular, el ajuste o ajustes que se pueden hacer en el funcionamiento de la turbina eólica cuando se recibe una solicitud de reducción de velocidad para reducir la velocidad del generador hasta un punto fuera de la región de funcionamiento permisible de la turbina eólica;

15 la FIG. 8 ilustra aún otra vista del gráfico de funcionamiento de par de torsión-velocidad de ejemplo mostrado en la FIG. 6, que ilustra, en particular, el ajuste o ajustes que se pueden hacer en el funcionamiento de la turbina eólica cuando se recibe una solicitud de reducción de par de torsión para reducir el par de torsión del generador hasta un punto fuera de la región de funcionamiento permisible de la turbina eólica; y la FIG. 9 ilustra otra vista del gráfico de funcionamiento de par de torsión-velocidad de ejemplo mostrado en

20 la FIG. 6, que ilustra, en particular, el ajuste o ajustes que se pueden hacer en el funcionamiento de la turbina eólica cuando se recibe una solicitud de reducción de velocidad y de par de torsión para reducir la velocidad y el par de torsión del generador hasta un punto fuera de la región de funcionamiento permisible de la turbina eólica.

25 **[0009]** A continuación se hará referencia con 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, 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 rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para producir otro modo de realización más. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones de modo que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

30 **[0010]** En general, la presente materia está dirigida a un sistema y procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica. Como se describirá posteriormente, el sistema de turbina eólica puede incluir, en general, una turbina eólica y una pluralidad de componentes eléctricos acoplados a un generador de la turbina eólica para convertir la energía de rotación de la turbina en energía eléctrica utilizable que se puede suministrar a una red de distribución. En varios modos de realización, el sistema también puede incluir un controlador configurado para reducir la velocidad y/o el par de torsión del generador en respuesta a la(s) solicitud(es) de reducción recibida(s) en base a una o más restricciones limitantes del sistema. Por ejemplo, en un modo de realización particular, el controlador puede recibir solicitudes de reducción de velocidad/par de torsión en base a una restricción o restricciones limitantes de los componentes eléctricos del sistema, tal como una corriente, voltaje y/o temperatura máximos para un componente de sistema eléctrico dado.

45 **[0011]** Además, en varios modos de realización, el controlador puede estar configurado para reducir la potencia de la turbina eólica de manera que el funcionamiento de la turbina se mantenga dentro de una región de funcionamiento permisible. Específicamente, como se describirá a continuación, la turbina eólica puede tener una región de funcionamiento permisible definida entre las curvas de funcionamiento máxima y mínima. Si la solicitud o solicitudes de reducción recibidas por el controlador corresponden a una reducción de la velocidad y/o del par de torsión que mantendrá el funcionamiento de la turbina dentro del rango de funcionamiento permisible, el controlador puede estar configurado para reducir la potencia de la turbina de acuerdo con la(s) solicitud(es) de reducción. Sin embargo, si la(s) solicitud(es) de reducción corresponde(n) a una reducción de la velocidad y/o del par de torsión que mantendrá el funcionamiento de la turbina fuera del rango de funcionamiento permisible, el controlador puede estar configurado para reducir la potencia de la turbina hasta uno o más puntos de funcionamiento a lo largo de la curva de funcionamiento máxima o la curva de funcionamiento mínima de la turbina eólica.

60 **[0012]** Los expertos en la técnica deben apreciar que el sistema y el procedimiento divulgados pueden utilizarse simplemente para el proceso de reducción de la potencia de una turbina eólica. Específicamente, la presente materia objeto permite que el proceso de reducción sea adaptable a las condiciones de funcionamiento cambiantes mientras se mantienen los diversos componentes del sistema funcionando dentro de las limitaciones y/o requisitos de diseño asociados a dichos componentes. Por ejemplo, como se describirá posteriormente, el sistema y el procedimiento divulgados pueden permitir la identificación de uno o más componentes de sistema limitantes mediante al supervisarse las condiciones de funcionamiento actuales del sistema. A continuación puede seleccionarse una ruta de reducción específica (por ejemplo, a través de una reducción de velocidad y/o de par de

torsión) para reducir la potencia de la turbina eólica de una manera que garantice que el/los componente(s) limitante(s) no exceda(n) sus capacidades de funcionamiento.

5 **[0013]** Con referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10. 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 giratorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia fuera 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 un número superior o inferior a tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 puede estar espaciada alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética del viento se transfiera en energía mecánica utilizable, y posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, como se describirá a continuación, el rotor 18 puede estar acoplado de forma giratoria a un generador eléctrico 24 (FIGS. 2 y 3) para permitir la producción de energía eléctrica.

15 **[0014]** La turbina eólica 10 también puede incluir un sistema de control de turbina o controlador de turbina 26 centralizado dentro de la góndola 16 (o dispuesto en cualquier otra ubicación adecuada dentro de y/o con relación a la turbina eólica 10). En general, el controlador de turbina 26 puede comprender un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por lo tanto, en varios modos de realización, el controlador de turbina 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. De este modo, el controlador de turbina 26 puede estar configurado, en general, para controlar los diversos modos de funcionamiento (por ejemplo, secuencias de arranque o de apagado) y/o componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para ajustar el *pitch* de pala o el ángulo de *pitch* de cada pala de rotor 22 (es decir, un ángulo que determina una perspectiva de la pala 22 con respecto a la dirección del viento) en torno a su eje de *pitch* 28 para controlar la velocidad de rotación o posición de la pala de rotor 22 y/o la potencia de salida generada por la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 puede controlar el ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22, ya sea de forma individual o simultánea, transmitiendo señales de control adecuadas a una o más unidades de *pitch* o mecanismos de ajuste de *pitch* 32 (FIG. 3) de la turbina eólica 10. De forma similar, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para ajustar el ángulo de orientación ("yaw") de la góndola 16 (es decir, un ángulo que determina una perspectiva de la góndola 16 con respecto a la dirección del viento) en torno a un eje de orientación 34 de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador 26 puede transmitir señales de control adecuadas a uno o más mecanismos de accionamiento de orientación 36 (FIG. 2) de la turbina eólica 10 para controlar automáticamente el ángulo de orientación.

35 **[0015]** Con referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista simplificada e interna 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 energía 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 38 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 38 puede, a su vez, estar acoplado de forma rotativa a un eje de generador 40 del generador 24 a través de una multiplicadora 42. Como se entiende en general, el eje de rotor 38 puede proporcionar una entrada de par de torsión alto y velocidad baja a la multiplicadora 42 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 22 y del buje 20. La multiplicadora 42 se puede configurar, entonces, para convertir la entrada de par de torsión alto y velocidad baja en una salida de par de torsión bajo y velocidad alta para accionar el eje de generador 40 y, por lo tanto, el generador 24.

50 **[0016]** Además, como se indicó anteriormente, el controlador 26 también puede estar ubicado dentro de la góndola 16 (por ejemplo, dentro de una caja o panel de control). Sin embargo, en otros modos de realización, el controlador 26 puede estar situado dentro de cualquier otro componente de la turbina eólica 10 o en una ubicación en el exterior de la turbina eólica. Como se entiende en general, el controlador 26 puede estar acoplado de forma comunicativa a cualquier pluralidad de los componentes de la turbina eólica 10 para controlar el funcionamiento de dichos componentes. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, el controlador 26 puede estar acoplado de forma comunicativa a cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 de la turbina eólica 10 (uno para cada pala de rotor 22) por medio de un controlador de *pitch* 30 para facilitar la rotación de cada pala de rotor 22 sobre su eje de *pitch* 28.

55 **[0017]** En general, cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 puede incluir cualquier componente adecuado y puede tener cualquier configuración adecuada que permita que el mecanismo de ajuste de *pitch* 32 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en varios modos de realización, cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 puede incluir un motor de accionamiento de *pitch* 44 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una multiplicadora de accionamiento de *pitch* 46 y un piñón de accionamiento de *pitch* 48. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 44 puede estar acoplado a la multiplicadora de accionamiento de *pitch* 46 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 44 imparte fuerza mecánica a la multiplicadora de accionamiento de *pitch* 46. De forma similar, la multiplicadora de accionamiento de *pitch* 46 puede estar acoplada al piñón de accionamiento de *pitch* 48 para su rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de *pitch* 48 puede, a su vez, estar en acoplamiento rotativo con un cojinete de *pitch* 50 acoplado entre el buje 20 y una pala de rotor 22 correspondiente de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 48 causa la rotación del cojinete

de *pitch* 50. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de *pitch* 44 acciona la multiplicadora de accionamiento de *pitch* 46 y el piñón de accionamiento de *pitch* 48, haciendo rotar de este modo el cojinete de *pitch* 50 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 28. Sin embargo, en otros modos de realización, cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 puede tener cualquier otra configuración adecuada que facilite la rotación de una pala de rotor 22 alrededor de su eje de *pitch* 28, de modo que se accione, por ejemplo, de forma hidráulica o neumática.

[0018] La turbina eólica 10 también puede incluir uno o más mecanismos de accionamiento de orientación 36 para ajustar el ángulo de orientación de la góndola 16. En diversos modos de realización, de forma similar a los mecanismos de ajuste de *pitch* 32, cada mecanismo de accionamiento de orientación 36 puede incluir un motor de accionamiento de orientación 52 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una multiplicadora de accionamiento de orientación 54 y un piñón de accionamiento de orientación 56 acoplados entre sí para una rotación simultánea. Sin embargo, en otros modos de realización, cada mecanismo de accionamiento de orientación 36 puede tener cualquier otra configuración adecuada, de modo que se accione, por ejemplo, de forma hidráulica o neumática. En cualquier caso, el/los mecanismo(s) de accionamiento de orientación 36 puede(n) configurarse para ajustar el ángulo de orientación acoplado rotacionalmente el piñón de accionamiento de orientación 56 a un cojinete de orientación adecuado 58 (también denominado engranaje de anillo giratorio o de torre) de la turbina eólica 10, permitiendo así que la góndola 16 gire alrededor del eje de orientación 34 (FIG. 1) con respecto al viento.

[0019] Se debe apreciar que, controlando los diversos componentes de la turbina eólica 10, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para ajustar automáticamente el funcionamiento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, el controlador 26 puede estar configurado para transmitir señales de control adecuadas a los mecanismos de ajuste de *pitch* 32 (por medio del controlador de *pitch* 30) para ajustar automáticamente el ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22 que, a su vez, puede ajustar la velocidad de rotación tanto del rotor 18 como del generador 24. De forma similar, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para transmitir señales de control adecuadas al/a los mecanismo(s) de accionamiento de orientación 36 para permitir que el ángulo de orientación de la góndola 16 se ajuste automáticamente. Además, el controlador 26 puede estar acoplado de forma comunicativa a otros diversos componentes de turbina eólica para controlar diferentes aspectos del funcionamiento de la turbina eólica.

[0020] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de turbina eólica 60, de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, el sistema 60 puede incluir, en general, una turbina eólica 10 y diversos componentes del sistema eléctrico para convertir la energía de rotación de la turbina eólica 10 en energía eléctrica que se puede suministrar a una red de distribución 62. Como se muestra, el rotor 18 de la turbina eólica 10 puede, opcionalmente, estar acoplado a una multiplicadora 42 que, a su vez, está acoplada al generador 24. En varios modos de realización, el generador 24 puede ser un generador de inducción de doble alimentación (DFIG). Sin embargo, en otros modos de realización, el generador 24 puede ser cualquier otro generador adecuado conocido en la técnica.

[0021] Como se muestra en la FIG. 3, el generador 24 puede estar acoplado a varios componentes del sistema eléctrico, tales como un bus de estátor 64 y un convertidor de potencia 66 por medio de un bus de rotor 68. El bus de estátor 64 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del generador 24, y el bus de rotor 68 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un rotor del generador 24. Además, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el convertidor de potencia 66 incluye un convertidor en el lado de rotor 70 y un convertidor en el lado de línea 72. El generador 24 puede estar acoplado por medio del bus de rotor 66 al convertidor en el lado de rotor 70. Adicionalmente, el convertidor en el lado de rotor 70 puede estar acoplado al convertidor en el lado de línea 72 que, a su vez, puede estar acoplado a un bus en el lado de línea 74.

[0022] En varios modos de realización, el convertidor en el lado de rotor 70 y el convertidor en el lado de línea 72 pueden estar configurados para el modo de funcionamiento normal en una disposición trifásica de modulación por ancho de pulso (PWM) usando elementos de conmutación adecuados, tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) o cualesquiera otros elementos de conmutación adecuados. El convertidor en el lado de rotor 70 y el convertidor en el lado de línea 72 pueden estar acoplados por medio de un enlace de CC 76 a través del cual hay un condensador de enlace de CC 78.

[0023] Además, el convertidor de potencia 66 se puede acoplar a un controlador de convertidor 80 configurado para controlar el funcionamiento del convertidor en el lado de rotor 70 y del convertidor en el lado de línea 72. Cabe destacar que el controlador de convertidor 80 puede configurarse como una interfaz entre el convertidor de potencia 66 y cualquier otro dispositivo de control adecuado del sistema 60, tal como el controlador de turbina 26 (como se muestra mediante la línea discontinua 82 en la FIG. 3). En general, el controlador de convertidor 80 puede comprender un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por lo tanto, en varios modos de realización, el controlador de convertidor 80 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 80 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica.

- 5 **[0024]** En configuraciones típicas, también se pueden incluir diversos contactores de línea y disyuntores, que incluyen, por ejemplo, un disyuntor de red de distribución 84, para aislar los diversos componentes según sea necesario para el funcionamiento normal del generador 24 durante la conexión y desconexión de la red de distribución eléctrica 62. Por ejemplo, un disyuntor de sistema 86 puede acoplar el bus de sistema 88 a un transformador 90, que puede estar acoplado a la red de distribución eléctrica 62 por medio del disyuntor de red de distribución 84. En modos de realización alternativos, algunos o todos los disyuntores pueden ser reemplazados por fusibles.
- 10 **[0025]** En funcionamiento, la potencia de corriente alterna generada en el generador 25 al girar el rotor 18 se proporciona por medio de una ruta doble a la red de distribución eléctrica 62. Las rutas dobles están definidas por el bus de estátor 64 y el bus de rotor 68. En el lado del bus de rotor 68, se proporciona potencia de corriente alterna (CA) sinusoidal multifásica (por ejemplo, trifásica) al convertidor de potencia 66. El convertidor de potencia en el lado de rotor 70 convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 68 en potencia de corriente continua (CC) y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 76. Como se entiende generalmente, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos puente del convertidor de potencia en el lado de rotor 70 pueden modularse para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 68 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 76.
- 15 **[0026]** Además, el convertidor en el lado de línea 72 convierte la potencia de CC del enlace de CC 76 en potencia de salida de CA adecuada para la red de distribución eléctrica 62. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos puente del convertidor de potencia en el lado de línea 72 se pueden modular para convertir la potencia de CC en el enlace de CC 76 en potencia de CA en el bus en el lado de línea 74. La potencia de CA del convertidor de potencia 66 se puede combinar con la potencia del estátor del generador 24 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red de distribución eléctrica 62 (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz).
- 20 **[0027]** Adicionalmente, diversos disyuntores e interruptores, tales como el disyuntor de red de distribución 84, el disyuntor de sistema 86, el conmutador de sincronización de estátor 92, el disyuntor de convertidor 94 y el contactor de línea 96 pueden incluirse en el sistema 60 para conectar o desconectar buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar los componentes del sistema de turbina eólica 60 o por otras consideraciones de funcionamiento. También pueden incluirse componentes de protección adicionales en el sistema de turbina eólica 60. El sistema también puede incluir diversos cables eléctricos (indicados mediante las líneas 96) para transmitir energía a través del sistema 60.
- 25 **[0028]** Además, el convertidor de potencia 66 puede recibir señales de control desde, por ejemplo, el controlador de turbina 26 por medio del controlador de convertidor 80. Las señales de control pueden basarse, entre otras cosas, en condiciones detectadas o características de funcionamiento del sistema de turbina eólica 60. Típicamente, las señales de control proporcionan el control del funcionamiento del convertidor de potencia 66. Por ejemplo, retroalimentación en forma de velocidad detectada del generador 24 puede usarse para controlar la conversión de la potencia de salida del bus de rotor 68 para mantener un suministro de potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) adecuado y equilibrado. En particular, la velocidad detectada puede usarse como base para ajustar la frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación. Adicionalmente, el controlador de convertidor 80 también puede usar la retroalimentación de otros sensores para controlar el convertidor de potencia 66, incluyendo, por ejemplo, voltajes del bus de rotor y de estátor, voltajes asociados a los elementos de conmutación y retroalimentaciones de corriente. Usando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, comandos de control de activación periódica para los elementos de conmutación), señales de control de sincronización del estátor y señales de disyuntor.
- 30 **[0029]** Se debe apreciar que, para los propósitos de la descripción proporcionada en el presente documento, los diversos componentes eléctricos del sistema 60 se agruparán en un circuito de estátor 98, un circuito en el lado de rotor 100 y un circuito en el lado de línea 102. Como se muestra en la FIG. 3, el circuito de estátor 98 puede incluir, en general, los diversos componentes eléctricos acoplados entre el estátor del generador 24 y la red de distribución 62, tales como el bus de estátor 64, el disyuntor de red de distribución 84, el disyuntor de sistema 86, el bus de sistema 88, el transformador 90, el conmutador de sincronización de estátor 92 y/o cualquier otro componente adecuado. El circuito en el lado de rotor 100 puede incluir, en general, los diversos componentes eléctricos acoplados entre el rotor del generador 24 y el enlace de CC 76, tales como el bus en el lado de rotor 68, los componentes incluidos dentro del convertidor en el lado de rotor 70 (por ejemplo, elementos de conmutación) y/o cualquier otro componente adecuado. De forma similar, el circuito en el lado de línea 102 puede incluir, en general, los diversos componentes eléctricos acoplados entre el enlace de CC 76 y el circuito de estátor 98, tales como los componentes del convertidor en el lado de línea 72 (por ejemplo, elementos de conmutación), el bus en el lado de línea 74, el disyuntor de convertidor 94, el contactor de línea 96 y/o cualquier otro componente adecuado.
- 35 **[0030]** Además, el sistema de turbina eólica 60 también puede incluir uno o más sensores para supervisar diversas condiciones de funcionamiento del sistema 60. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, el sistema 60 puede incluir uno o más sensores de eje 104 configurados para supervisar una o más condiciones de

funcionamiento relativas a los ejes de la turbina eólica 10, tales como las cargas que actúan sobre el eje de rotor 38 (por ejemplo, empuje, flexión y/o cargas de par de torsión), la deformación del eje de rotor 38 (por ejemplo, incluida la flexión del eje), la velocidad de rotación del eje de rotor 38, aceleraciones directas o indirectas y/o similares. El sistema 60 también puede incluir uno o más sensores de pala 104 (FIGS. 1 y 2) configurados para supervisar una o más condiciones de funcionamiento relativas a las palas de la turbina eólica 10, tales como las cargas que actúan sobre las palas 22 (por ejemplo, cargas de flexión), la deformación de las palas 22 (por ejemplo, incluida la flexión, torsión y/o similares, de las palas), la vibración de las palas 22, el ruido generado por las palas 22, el ángulo de *pitch* de las palas 22, la velocidad de rotación de las palas 22 y/o similares. Adicionalmente, el sistema puede incluir uno o más sensores de generador 108 configurados para supervisar una o más condiciones de funcionamiento relativas al generador de la turbina eólica 10, tales como la potencia de salida del generador 24, la velocidad de rotación del generador 24, el par de torsión del generador y/o similares.

[0031] Además, el sistema 60 puede incluir otros diversos sensores para supervisar otras numerosas condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, el sistema 60 puede incluir uno o más sensores de torre 110 para supervisar diversas condiciones de funcionamiento relacionadas con la torre, tales como las cargas que actúan sobre la torre 12, la deformación de la torre 12 (por ejemplo, flexión y/o torsión de la torre), vibraciones de la torre y/o similares. Además, el sistema 60 puede incluir uno o más sensores de viento 112 para supervisar una o más condiciones del viento asociadas a la turbina eólica 10, tales como la velocidad del viento, la dirección del viento, la turbulencia o la intensidad de la turbulencia del viento y/o similares. De forma similar, el sistema 60 puede incluir uno o más sensores de buje o de rotor 114 para supervisar diversas condiciones de funcionamiento relacionadas con el buje (por ejemplo, las cargas transmitidas a través del buje 20, vibraciones del buje y/o similares), uno o más sensores de góndola 116 para supervisar una o más condiciones de funcionamiento relacionadas con la góndola (por ejemplo, las cargas transmitidas a través de la góndola 16, las vibraciones de la góndola y/o similares) y/o uno o más sensores de multiplicadora 118 para supervisar una o más condiciones de funcionamiento relacionadas con la multiplicadora (por ejemplo, par de torsión de la multiplicadora, carga de la multiplicadora, velocidades de rotación dentro de la multiplicadora y/o similares).

[0032] Además, el sistema 60 también puede incluir diversos sensores para supervisar una o más condiciones de funcionamiento relacionadas con la electricidad asociadas a los componentes del sistema eléctrico. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, el controlador de convertidor 80 puede estar acoplado comunicativamente a uno o más sensores de corriente 120 configurados para medir la corriente que fluye a través de cualquiera o todos los componentes del sistema eléctrico. Además, el controlador 80 puede estar acoplado comunicativamente a uno o más sensores de voltaje 122 configurados para medir el voltaje a través de cualquiera o todos los componentes del sistema eléctrico. Además, como se muestra en la FIG. 3, se pueden acoplar uno o más sensores de temperatura 124 al controlador de convertidor 80 para proporcionar mediciones de temperatura asociadas a uno o más de los componentes del sistema eléctrico. Por ejemplo, el sensor o sensores de temperatura 124 pueden estar configurados para medir la temperatura ambiente alrededor de cualquiera de los componentes del sistema eléctrico y/o la temperatura concreta de cualquiera de dichos componentes.

[0033] También se debe apreciar que, tal como se usa en el presente documento, el término "supervisar" y sus variaciones indican que los diversos sensores de la turbina eólica 60 pueden estar configurados para proporcionar una medición directa de las condiciones de funcionamiento que se supervisan o una medición indirecta de dichas condiciones de funcionamiento. Por tanto, los sensores se pueden usar, por ejemplo, para generar señales relativas a la condición de funcionamiento que se esté supervisando, que pueden utilizarse entonces por el/los controlador(es) 26, 80 para determinar la condición de funcionamiento concreta. Por ejemplo, las señales de medición proporcionadas por el/los sensor(es) de corriente 120 junto con las mediciones de temperatura ambiente proporcionadas por el/los sensor(es) de temperatura 124 pueden ser utilizadas por el/los controlador(es) 26, 80 para determinar la(s) temperatura(s) de funcionamiento concreta(s) de cualquiera de los componentes del sistema eléctrico.

[0034] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador de turbina 26 y/o del controlador de convertidor 80 de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, el/los controlador(es) 26, 80 puede(n) incluir uno o más procesadores 126 y dispositivos de memoria 128 asociados, configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizando los procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en el presente documento). Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados mencionados 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 128 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria, incluidos, pero sin limitarse a, medios legibles por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), medios no volátiles legibles por ordenador (por ejemplo, una memoria flash), un disco flexible, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 128 puede(n) estar configurado(s), en general, para almacenar instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se

implementan por el/los procesador(es) 126, configuran el/los controlador(es) 26, 80 para realizar diversas funciones que incluyen, pero sin limitarse a, implementar los procedimientos divulgados en el presente documento.

[0035] Adicionalmente, el/los controlador(es) 26, 28 puede(n) incluir también un módulo de comunicaciones 130 para facilitar las comunicaciones entre cada controlador 26, 80 así como entre el/los controlador(es) 26, 80 y los diversos componentes del sistema 60. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 130 puede incluir una interfaz de sensor 132 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas por el/los sensor(es) 104-124 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 126.

[0036] Con referencia ahora a la FIG. 5, se ilustra un modo de realización de un procedimiento 200 para controlar un sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. En general, el procedimiento 200 se describirá en el presente documento implementándose mediante el sistema de turbina eólica 60 descrito anteriormente con referencia a las FIGS. 1-4. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 200 divulgado puede implementarse usando cualquier otro sistema de turbina eólica adecuado conocido en la técnica. Además, aunque la FIG. 5 representa las etapas realizadas en un orden particular con fines de ilustración y análisis, los procedimientos descritos en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar diversas etapas de los procedimientos de diversas formas.

[0037] Como se muestra en la FIG. 5, en (202), el procedimiento 200 incluye controlar una turbina eólica 10 de modo que funcione con un valor de velocidad y un valor de par de torsión dados dentro de una región de funcionamiento permisible para la turbina 10. Específicamente, en varios modos de realización, la turbina eólica 10 puede tener una región de funcionamiento permisible definida entre una curva de funcionamiento máxima y una curva de funcionamiento mínima para la turbina 10. En dichos modos de realización, la turbina eólica 10 puede estar configurada para funcionar con una pluralidad de diferentes combinaciones de velocidad de generador y de par de torsión de generador, donde una parte de dichas combinaciones está englobada dentro de la región de funcionamiento de velocidad/par de torsión permisible de la turbina eólica 10. Por tanto, de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para seleccionar un valor de velocidad y de par de torsión específico para el generador 24 que proporcione un funcionamiento de turbina eólica dentro de la región de funcionamiento permisible.

[0038] Por ejemplo, la FIG. 6 ilustra un gráfico de funcionamiento de par de torsión-velocidad de ejemplo para una turbina eólica 20, donde el par de torsión del generador se representa en el eje y y la velocidad del generador se representa en el eje x. Como se muestra, una región de funcionamiento permisible 300 (indicada mediante el sombreado) para la turbina eólica 10 puede definirse entre una curva de funcionamiento máxima 302 y una curva de funcionamiento mínima 304 para la turbina 10. En un modo de realización, la curva de funcionamiento máxima 302 puede corresponder, en general, a una curva de funcionamiento para la turbina eólica 10 trazada a lo largo de los valores máximos de velocidad/par de torsión a los que se cree que la turbina 10 puede funcionar mientras se mantienen las condiciones de funcionamiento del sistema dentro de las limitaciones/requisitos de diseño para todo el sistema de turbina eólica 60 (por ejemplo, restricciones de carga de los componentes, consignas máximas de par de torsión/velocidad, consignas máximas de corriente/voltaje, consignas máximas de temperatura, rendimiento aerodinámico mínimo, etc.). De manera similar, en un modo de realización, la curva de funcionamiento mínima 304 puede corresponder a una curva de funcionamiento para la turbina eólica 10 trazada a lo largo de los valores mínimos de velocidad/par de torsión a los que se cree que la turbina 10 puede funcionar mientras se mantienen las condiciones de funcionamiento del sistema dentro de las restricciones/requisitos de diseño para todo el sistema de turbina eólica 60 (por ejemplo, umbrales de nivel de ruido, consignas mínimas de velocidad/par de torsión, rendimiento aerodinámico mínimo, requisitos de prevención de parada del supresor de picos, etc.). Por tanto, el rango de funcionamiento 300 define, en general, las combinaciones de velocidad/par de torsión permisibles para la turbina eólica 10, incluidas las combinaciones de velocidad/par de torsión óptimas para el rendimiento deseado del sistema. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, se puede definir una curva de funcionamiento deseada 306 dentro de la región de funcionamiento 300 que corresponde a las consignas de par de torsión/velocidad deseadas para la turbina eólica durante el funcionamiento normal.

[0039] Los expertos en la técnica deben apreciar que las curvas de funcionamiento máxima y mínima 302, 304 pueden variar, en general, de un sistema a otro dependiendo de, por ejemplo, la configuración y/o las restricciones de diseño de la turbina eólica 10, la configuración y/o las restricciones de diseño de los diversos componentes eléctricos del sistema 60, las condiciones de funcionamiento anticipadas de la turbina eólica 10 y otros componentes de sistema y/o cualquier otro factor adecuado. Por ejemplo, las restricciones de diseño específicas que pueden afectar a la selección de los valores de par de torsión/velocidad definidos a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 302 incluyen, pero no se limitan a, la(s) curva(s) de capacidad de los componentes eléctricos del sistema 60, el par de torsión máximo permitido para el generador 24, la curva de diseño de velocidad/par de torsión específica para el generador 24, la curva de diseño de par de torsión/velocidad específica de los cables eléctricos 97 y la infraestructura del sistema 60, la relación de voltaje de par de torsión a velocidad del convertidor de potencia 66, cualquier margen de carga de los componentes y su relación con los valores de par de torsión/velocidad, el rendimiento aerodinámico requerido para la turbina eólica 10 y su relación con los

valores de par de torsión/velocidad, el margen de regulación de la calidad de la energía para el sistema 60 y/o cualquier otra restricción de diseño adecuada. De forma similar, las restricciones de diseño específicas que pueden afectar a la selección de los valores de par de torsión/velocidad definidos a lo largo de la curva de funcionamiento mínima 204 incluyen, pero no se limitan a, la(s) curva(s) de capacidad de los diversos componentes de la turbina eólica 10, la velocidad de rotor máxima de la turbina eólica 10, cualquier requisito de nivel de ruido para la turbina eólica 10, cualquier margen del regulador de velocidad para las condiciones ambientales, la curva de diseño de velocidad/par de torsión específica para el generador 24, el rendimiento aerodinámico requerido de la turbina eólica 10 y su relación con los valores de par de torsión/velocidad, el margen de regulación de calidad de la energía para el sistema 60, cualquier requisito de prevención de parada de la turbina eólica 10 y/o cualquier otra restricción de diseño adecuada. Un experto en la técnica debe apreciar fácilmente que dichas curvas de funcionamiento 302, 304 se pueden desarrollar mediante modelado y/o usando cualquier otro análisis adecuado conocido en la técnica para evaluar las diversas restricciones de diseño del sistema de turbina eólica 60 a la luz de las diversas combinaciones de velocidad y par de torsión del generador que se pueden lograr mientras se hace funcionar la turbina eólica correspondiente 10.

[0040] También se debe apreciar que, en modos de realización alternativos, las curvas de funcionamiento máxima y mínima 302, 304 pueden corresponder, en general, a cualquier otra curva de funcionamiento de referencia adecuada. Por ejemplo, en un modo de realización, la curva de funcionamiento máxima 302 puede simplemente corresponder a cualquier curva de funcionamiento adecuada que defina un límite superior para una región de funcionamiento dada 300, mientras que la curva de funcionamiento mínima 304 puede simplemente corresponder a cualquier curva de funcionamiento adecuada que defina un límite inferior para dicha región de funcionamiento 300.

[0041] Aún con referencia a la FIG. 5, en (204), el procedimiento 200 incluye recibir una solicitud de reducción de velocidad y/o una solicitud de reducción de par de torsión para reducir la potencia de la turbina eólica 10 en base a una restricción limitante del sistema de turbina eólica 60. Específicamente, en varios modos de realización, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para recibir dicha(s) solicitud(es) desde una fuente de reducción dada cuando se determina que, en base a las condiciones de funcionamiento actuales del sistema de turbina eólica 60, una o más de las restricciones de diseño del sistema 60 pueden superarse a menos que se reduzca el punto de funcionamiento actual de velocidad y/o de par de torsión de la turbina eólica 10.

[0042] Por ejemplo, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para recibir una o más solicitudes de reducción de velocidad y/o una o más solicitudes de reducción de par de torsión desde el controlador de convertidor 80 en base a cualquier restricción de diseño limitante de uno o más de los componentes del sistema eléctrico, tales como componentes del convertidor en el lado de rotor, componentes del convertidor en el lado de línea, buses, cables eléctricos, disyuntores, fusibles, contactores, transformadores, interruptores, condensadores y/o cualquier otro componente eléctrico adecuado del sistema 60. Específicamente, en varios modos de realización, el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para supervisar una o más condiciones de funcionamiento para los diversos componentes del sistema eléctrico. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, el sistema 60 puede incluir varios sensores para supervisar una o más condiciones de funcionamiento relacionadas con la electricidad del sistema 60, tales como la corriente, voltaje, temperatura y/o cualquier otro parámetro adecuado asociado a los componentes del sistema eléctrico.

[0043] Supervisando dichas condiciones de funcionamiento, el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para determinar cuándo y en qué medida la turbina eólica 10 necesita reducir su potencia para mantener los componentes del sistema eléctrico dentro de sus rangos de funcionamiento permitidos. Específicamente, en varios modos de realización, se puede almacenar uno o más puntos de funcionamiento máximos predeterminados dentro de la memoria del controlador del convertidor para cada componente eléctrico que corresponda al valor o valores de funcionamiento máximos permitidos en los que cada componente puede funcionar para una o más condiciones de funcionamiento dadas. Por ejemplo, un valor máximo predeterminado de corriente, voltaje y/o temperatura puede almacenarse dentro de la memoria del controlador del convertidor para cada componente del sistema eléctrico y/o para grupos específicos de componentes del sistema eléctrico (por ejemplo, los componentes contenidos dentro del circuito de estátor 98, el circuito en el lado de rotor 100 y/o circuito en el lado de línea 102). En dichos modos de realización, el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para comparar la(s) condición(es) de funcionamiento supervisada(s) con el/los punto(s) de funcionamiento máximo(s) correspondiente(s) para cada componente del sistema eléctrico. Si la(s) condición(es) de funcionamiento supervisada(s) excede(n) el/los punto(s) de funcionamiento máximo(s) para cualquiera de los componentes, el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para transmitir una solicitud de reducción de velocidad y/o de par de torsión adecuada correspondiente a la reducción de la velocidad y/o del par de torsión del generador requerida para reducir la(s) condición(es) de funcionamiento supervisada(s) hasta un punto de funcionamiento por debajo del/de los punto(s) de funcionamiento máximo(s) correspondiente(s) para dichos componentes de sistema limitantes.

[0044] Se debe apreciar que el tipo de solicitud de reducción transmitida por el controlador de convertidor 80 puede variar dependiendo de la(s) condición(es) de funcionamiento limitantes y/o del/de los componente(s) limitante(s) del sistema eléctrico. Por ejemplo, en un modo de realización, si la corriente dentro de uno o más

componentes del circuito en el lado de rotor 100 y/o del circuito de estátor 98 del sistema 60 excede el valor de corriente máximo permitido para dicho(s) componente(s), el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para transmitir una solicitud de reducción de par de torsión que indique al controlador de turbina 26 que reduzca la consigna de par de torsión de la turbina eólica 10, permitiendo así una reducción de la corriente dentro de dicho(s) componente(s). Sin embargo, si la corriente dentro de uno o más componentes del circuito en el lado de línea 102 y/o el voltaje dentro de uno o más componentes del circuito en el lado de rotor 100 excede el valor de corriente y/o el valor de voltaje máximos permitidos para dicho(s) componente(s), el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para transmitir una solicitud de reducción de velocidad que indica al controlador de turbina 26 que reduzca la consigna de velocidad de la turbina eólica 10, permitiendo así una reducción de la corriente y/o voltaje para los componentes correspondientes. De manera similar, si la temperatura asociada a cualquiera de los componentes del sistema eléctrico excede la temperatura máxima permitida para dicho(s) componente(s), el controlador de convertidor 80 puede estar configurado para transmitir una solicitud de reducción de par de torsión que indica al controlador de turbina 26 que reduzca la consigna de par de torsión de la turbina eólica 10 con el fin de proporcionar una reducción correspondiente en las temperaturas de los componentes.

[0045] Además, se debe apreciar que la medida en que se debe reducir la velocidad y/o el par de torsión del generador también puede variar dependiendo de numerosos factores, incluidos, pero sin limitarse a, el/los componente(s) eléctrico(s) específico(s) que actualmente limitan el funcionamiento del sistema. Sin embargo, un experto en la técnica debe apreciar fácilmente que se puede establecer una función de transferencia adecuada que correlacione variaciones de la velocidad y/o el par de torsión del generador con cambios correspondientes en la(s) condición(es) de funcionamiento pertinente(s) para cada componente de turbina eólica. Esta función de transferencia puede, por ejemplo, almacenarse dentro de la memoria del controlador de convertidor 80 (o del controlador de turbina 26) como una tabla de datos, una tabla de consulta, una relación matemática y/o en cualquier otro formato adecuado que permita al controlador 80 determinar la medida en que la velocidad y/o el par de torsión del generador deben reducirse para garantizar que el funcionamiento de cada componente del sistema se mantenga dentro de sus restricciones de diseño específicas.

[0046] Además del controlador de convertidor 80, el controlador de turbina 26, en sí mismo, puede estar configurado para generar solicitudes de reducción de velocidad y/o de par de torsión en base a una o más condiciones de funcionamiento supervisadas. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para supervisar diversas condiciones de funcionamiento, tales como la carga de componente en los diversos componentes de turbina eólica (por ejemplo, las palas 22, la torre 12, el buje 20, la góndola 16 y/o cualquier otro componente adecuado de la torre), el par de torsión del generador, la velocidad del generador, la velocidad del viento, la velocidad del rotor y/u otras diversas condiciones de funcionamiento. En tal caso, si la(s) condición(es) de funcionamiento supervisada(s) excede(n) el/los punto(s) de funcionamiento máximo(s) predeterminado(s) para cualquiera de los componentes de turbina eólica, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para generar una solicitud de reducción de velocidad y/o una solicitud de reducción de par de torsión para reducir el/los punto(s) de funcionamiento de dicho(s) componente(s). Por ejemplo, si las cargas de pala supervisadas superan un umbral de carga de pala predeterminado, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para generar una solicitud de reducción de velocidad en un intento de reducir las cargas que actúan sobre las palas de rotor 22. Se debe apreciar que, cuando el controlador de turbina 26 genera la solicitud de reducción de velocidad y/o de par de torsión, también se puede considerar que el controlador de turbina 26 ha "recibido" la solicitud de reducción de velocidad y/o de par de torsión dado que la señal asociada a la(s) solicitud(es) se transmite desde un componente del controlador 26 a otro mientras se procesa y/o almacena dentro de la memoria del controlador.

[0047] Además, se debe apreciar que el controlador de turbina 26 puede estar configurado para recibir solicitudes de reducción de velocidad y/o de par de torsión desde cualquier otra fuente de reducción adecuada. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para recibir solicitudes de reducción desde un controlador de parque configurado para transmitir comandos de control a una pluralidad de turbinas eólicas ubicadas dentro de un parque de turbinas eólicas.

[0048] Aún con referencia a la FIG. 5, en (206), el procedimiento 200 incluye determinar un valor de velocidad ajustado y/o un valor de par de torsión ajustado para la turbina eólica 10 en base a la solicitud de reducción de velocidad y/o la solicitud de reducción de par de torsión. Específicamente, en varios modos de realización, la(s) solicitud(es) de reducción recibidas por el controlador de turbina 26 puede(n) corresponder a una reducción específica en la velocidad y/o el par de torsión que se aplicarán a los valores de velocidad y/o de par de torsión actuales de la turbina eólica 10. Por ejemplo, la(s) solicitud(es) de reducción pueden corresponder a un valor de velocidad y/o de par de torsión específico o a un porcentaje específico en que la velocidad y/o el par de torsión deben reducirse. Por tanto, al recibir la(s) solicitud(es) de reducción, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para determinar un valor de velocidad y/o de par de torsión ajustado para la turbina eólica 10.

[0049] Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, la turbina eólica 10 puede estar funcionando actualmente con un valor de velocidad y de par de torsión dado (indicado por el punto 308). Si el controlador de turbina 26 recibe una solicitud de reducción de velocidad, el controlador 26 puede estar configurado para determinar un valor de velocidad ajustado para la turbina eólica 10 (indicado por el punto 310) reduciendo el valor de velocidad actual en

una cantidad correspondiente a la solicitud de reducción. De forma similar, si el controlador de turbina 26 recibe una solicitud de reducción de par de torsión, el controlador 26 puede estar configurado para determinar un valor de par de torsión ajustado para la turbina eólica 10 (indicado por el punto 312) reduciendo el valor de par de torsión actual en una cantidad correspondiente a la solicitud de reducción. Además, si el controlador de turbina 26 recibe tanto una solicitud de reducción de velocidad como una solicitud de reducción de par de torsión, el controlador 26 puede estar configurado para determinar valores de velocidad y de par de torsión ajustados de la turbina eólica 10 (indicados por el punto 314) reduciendo los valores de velocidad y de par de torsión actuales en las cantidades correspondientes a las solicitudes de reducción.

[0050] Volviendo a la FIG. 5, en (208), el procedimiento 200 incluye determinar si el/los valor(es) de velocidad y/o de par de torsión ajustado(s) haría(n) que el funcionamiento de la turbina eólica 10 estuviera fuera de su región de funcionamiento permisible. Específicamente, como se indicó anteriormente con referencia a la FIG. 6, la turbina eólica 10 incluye una región de funcionamiento permisible 300 definida entre sus curvas de funcionamiento máxima y mínima 302, 304. Si ajustar los valores de velocidad y/o de par de torsión actuales de la turbina eólica 10 a los valores de velocidad y/o de par de torsión ajustados no haría que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de esta región de funcionamiento 300, entonces el controlador de turbina 26 puede, en (210), estar configurado para transmitir señales de control adecuadas para ajustar el funcionamiento de la turbina eólica 10 en el/los valor(es) ajustado(s). Por ejemplo, en el ejemplo mostrado en la FIG. 6, cada valor ajustado (indicado por los puntos 310, 312, 314) correspondiente a la(s) solicitud(es) de reducción recibidas por el controlador 26 está dentro del rango de funcionamiento permisible 300 de la turbina eólica 10. Por tanto, el controlador de turbina 25 puede estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina en el/los valor(es) ajustado(s) apropiado(s) al recibir dicha(s) solicitud(es) de reducción.

[0051] Sin embargo, si los valores de velocidad y/o de par de torsión ajustados hacen realmente que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible 300, el controlador de turbina 26 puede, en (212), estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina en un nuevo valor de velocidad y/o de par de torsión definido a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 302 o la curva de funcionamiento mínima 304 de la turbina eólica 10. Específicamente, las FIGS. 7-9 ilustran ejemplos en los que el valor de velocidad y/o de par de torsión ajustado asociado a la(s) solicitud(es) de reducción recibida(s) por el controlador de turbina 26 está fuera del rango de funcionamiento permisible 300 de la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, el controlador de turbina 26 recibió una solicitud de reducción de velocidad para reducir la velocidad del generador desde el valor de velocidad actual (indicado por el punto 320) hasta un valor de velocidad ajustado (indicado por el punto 322). Dado que el valor de velocidad ajustado 322 está fuera del rango de funcionamiento permisible 300, el controlador 26 puede, en un modo de realización, estar configurado para ajustar el valor de velocidad actual 320 en el valor de velocidad permisible más cercano (indicado por el punto 324) que está dentro del rango de funcionamiento 300. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, el valor de velocidad ajustado 322 se encuentra por encima de la curva de funcionamiento máxima 302. Por tanto, el nuevo valor de velocidad 324 seleccionado por el controlador 26 puede corresponder al valor de velocidad definido a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 302 en el valor de par de torsión actual (es decir, en el mismo valor de par de torsión que el punto 320). Se debe apreciar que los valores de velocidad pueden calcularse o referenciarse desde una ubicación de memoria o tabla de consulta y pueden aplicarse al regulador de *pitch* o al regulador de par de torsión en base al punto de funcionamiento de la turbina eólica 10.

[0052] Se debe apreciar que, además de simplemente ajustar el valor de velocidad actual 320 en el valor de velocidad permisible más cercano, el controlador 26 también debe estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina para tener en cuenta el hecho de que el nuevo valor de velocidad 324 no reduzca la velocidad del generador en la misma medida requerida por la solicitud de reducción. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina en un punto de funcionamiento (indicado por el punto 326) a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 302 que corresponde a una reducción de los valores de par de torsión y de velocidad de la turbina eólica 10.

[0053] En el ejemplo mostrado en la FIG. 8, el controlador de turbina 26 recibió una solicitud de reducción de par de torsión para reducir el par de torsión del generador desde el valor de par de torsión actual (indicado por el punto 330) hasta un valor de par de torsión ajustado (indicado por el punto 332). Dado que el valor de par de torsión ajustado 332 está fuera del rango de funcionamiento permisible 300, el controlador 26 puede, en un modo de realización, estar configurado para ajustar el valor de par de torsión actual 330 en el valor de par de torsión permisible más cercano (indicado por el punto 334) que está dentro del rango de funcionamiento 300. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 8, el valor de par de torsión ajustado 332 se encuentra por debajo de la curva de funcionamiento mínima 304. Por tanto, el nuevo valor de par de torsión 334 seleccionado por el controlador 26 puede corresponder al valor de par de torsión definido a lo largo de la curva de funcionamiento mínima 304 en el valor de velocidad actual (es decir, en el mismo valor de velocidad que el punto 330).

[0054] Se debe apreciar que, además de simplemente ajustar el valor de par de torsión actual 330 en el valor de par de torsión permisible más cercano, el controlador 26 también debe estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina para tener en cuenta el hecho de que el nuevo valor de par de torsión 334 no reduzca el par de torsión del generador en la misma medida requerida por la solicitud de reducción. Por ejemplo, como se

muestra en la FIG. 8, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina en un punto de funcionamiento 336 a lo largo de la curva de funcionamiento mínima 302 que corresponde a una reducción de los valores de par de torsión y de velocidad de la turbina eólica 10.

5 **[0055]** También se puede aplicar una metodología similar cuando se requiera reducir tanto la velocidad como el par de torsión del generador. Por ejemplo, en el ejemplo mostrado en la FIG. 9, el controlador de turbina 26 recibió solicitudes de reducción de velocidad y de par de torsión para reducir la velocidad/par de torsión del generador desde los valores de velocidad/par de torsión actuales (indicados por el punto 340) hasta un valor de velocidad/par de torsión ajustado (indicado por el punto 342). Dado que los valores ajustados 342 quedan fuera del rango de funcionamiento permisible 300, el controlador 26 puede, en un modo de realización, estar configurado para ajustar los valores actuales 340 en los valores permisibles más cercanos (indicados por el punto 344) definidos dentro del rango de funcionamiento 300. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 9, los valores ajustados 342 requieren el funcionamiento de la turbina por encima de la curva de funcionamiento máxima 302. Por tanto, los nuevos valores 344 seleccionados por el controlador 26 pueden corresponder a un valor de velocidad/par de torsión definido en la curva de funcionamiento máxima 302 a lo largo del vector definido entre los valores actuales y ajustados 340, 342. De forma alternativa, el controlador de turbina puede estar configurado para ajustar el funcionamiento de la turbina eólica en cualquier otro valor de velocidad/par de torsión definido a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 302. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 9, el controlador 26 debe estar configurado para seleccionar un valor de par de torsión/velocidad (indicado por el punto 346) que esté por debajo de los valores de velocidad/par de torsión más cercanos 344 para tener en cuenta el hecho de que el par de torsión/velocidad del generador no puede reducirse en la magnitud total requerida por las solicitudes de reducción.

25 **[0056]** Se debe apreciar que el controlador de turbina 26 puede estar configurado para ajustar los valores de velocidad y de par de torsión de la turbina eólica 10 por medio de cualquier metodología de control adecuada conocida en la técnica. Por ejemplo, en un modo de realización, para reducir el valor de velocidad, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para transmitir uno o más comandos de control adecuados al/a los mecanismo(s) de ajuste de *pitch* 32 de la turbina eólica 10 con el fin de ajustar el ángulo de *pitch* de la(s) pala(s) de rotor 22 con respecto a la dirección del viento, lo que puede, a su vez, reducir la velocidad del rotor y, por tanto, la velocidad del generador de la turbina eólica 10. De manera similar, en un modo de realización, para reducir el valor de par de torsión, el controlador de turbina 26 puede estar configurado para transmitir uno o más comando(s) de control adecuado(s) al controlador de convertidor 80 indicando al controlador 80 que ajuste el funcionamiento del convertidor de potencia 66 de manera que se reduzca la demanda de par de torsión en el generador 24. También se debe apreciar que, una vez que los valores de par de torsión y/o de velocidad se han ajustado en una ubicación a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 300 y/o la curva de funcionamiento mínima 302, se pueden atender más solicitudes de reducción ajustando el/los valor(es) a lo largo de la curva apropiada. Por ejemplo, con referencia al ejemplo mostrado en la FIG. 7, si se recibe una solicitud de reducción de velocidad adicional al ajustar el valor de velocidad desde el punto 320 al punto 324, la solicitud de reducción se puede acomodar ajustando los valores actuales hacia abajo a lo largo de la curva de funcionamiento máxima 302. De forma similar, con referencia al ejemplo mostrado en la FIG. 8, si se recibe una solicitud de reducción de par de torsión adicional al ajustar el valor de velocidad desde el punto 330 al punto 334, la solicitud de reducción se puede acomodar ajustando los valores actuales hacia abajo a lo largo de la curva de funcionamiento mínima 304.

45 **[0057]** En esta descripción escrita se usan ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir 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 y puede incluir otros ejemplos concebidos por los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (200) para controlar un sistema de turbina eólica, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 controlar (202) una turbina eólica (10) del sistema de turbina eólica para que funcione a un valor de velocidad y un valor de par de torsión dentro de una región de funcionamiento permisible (300) definida entre una curva de funcionamiento máxima (302) y una curva de funcionamiento mínima (304) de la turbina eólica;
 - 10 recibir (204) al menos una de entre una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión para reducir la potencia de la turbina eólica (10) en base a una restricción limitante del sistema de turbina eólica,
 - 15 donde la restricción limitante corresponde a una corriente dentro de un componente eléctrico de al menos uno de entre un circuito de estátor (98) o un circuito en el lado de rotor (100) del sistema de turbina eólica, a una corriente dentro de un componente eléctrico de un circuito en el lado de línea (102) del sistema de turbina eólica, a un voltaje dentro de un componente eléctrico de un circuito en el lado de rotor (100) de la turbina eólica (10), a una temperatura de un componente eléctrico del sistema de turbina eólica y/o a una condición de funcionamiento de un componente de la turbina eólica (10);
 - 20 determinar (206) al menos uno de entre un valor de velocidad ajustado (322) o un valor de par de torsión ajustado (332) para la turbina eólica (10) en base a la al menos una de la solicitud de reducción de velocidad o la solicitud de reducción de par de torsión;
 - 25 determinar (208) si un ajuste del funcionamiento de turbina eólica al al menos uno de entre el valor de velocidad ajustado (322) o el valor de par de torsión ajustado (332) hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible (300); y
 - 30 si el ajuste hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible (300), ajustar (212) el al menos uno del valor de velocidad o el valor de par de torsión en al menos uno de entre un nuevo valor de velocidad o un nuevo valor de par de torsión definido a lo largo de la curva de funcionamiento máxima (302) o la curva de funcionamiento mínima (304), donde, si el nuevo valor de velocidad (324) no reduce la velocidad del generador en la misma medida requerida por la solicitud de reducción y/o si el nuevo valor de par de torsión (334) no reduce el par de torsión del generador en la misma medida requerida por la solicitud de reducción, el ajuste (212) corresponde a una reducción en los valores de par de torsión y de velocidad para la turbina eólica (10), o si el ajuste no hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible (300), ajustar (210) el funcionamiento de la turbina eólica (10) al valor de velocidad ajustado (322) o al valor de par de torsión ajustado (332).
 - 40 2. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que recibir al menos una de una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión comprende recibir una solicitud de reducción de par de torsión desde un controlador de convertidor (80) del sistema de turbina eólica para reducir el valor de par de torsión de la turbina eólica (10).
 - 45 3. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que, cuando la restricción limitante corresponde a la corriente dentro de un componente eléctrico de al menos uno del circuito de estátor (98) o del circuito en el lado de rotor (100), la recepción de al menos una de entre una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión comprende recibir una solicitud de reducción de par de torsión desde un controlador de convertidor (89) del sistema de turbina eólica para reducir el valor de par de torsión de la turbina eólica (10).
 - 50 4. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que recibir al menos una de una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión comprende recibir una solicitud de reducción de velocidad desde un controlador de convertidor (80) del sistema de turbina eólica para reducir el valor de velocidad de la turbina eólica (10).
 - 55 5. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que, cuando la restricción limitante corresponde a la corriente dentro de un componente eléctrico del sistema de circuito en el lado de línea (102) o al voltaje dentro de un componente eléctrico del circuito en el lado de rotor (100), la recepción de al menos una de entre una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión comprende recibir una solicitud de reducción de velocidad desde un controlador de convertidor (89) del sistema de turbina eólica para reducir el valor de velocidad de la turbina eólica (10).
 - 60

6. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que la recepción de al menos una de entre una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión comprende recibir una solicitud de reducción de velocidad para reducir el valor de velocidad de la turbina eólica (10).
- 5 7. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además ajustar el al menos uno del valor de velocidad o el valor de par de torsión en el al menos uno del valor de velocidad ajustado o el valor de par de torsión ajustado si el ajuste no hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible (300).
- 10 8. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que el al menos uno del nuevo valor de velocidad o el nuevo valor de par de torsión se define a lo largo de la curva de funcionamiento máxima (302) si el ajuste al al menos uno del valor de velocidad ajustado o al valor de par de torsión ajustado hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté por encima de la curva de funcionamiento máxima (302).
- 15 9. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación precedente, en el que el al menos uno del nuevo valor de velocidad o el nuevo valor de par de torsión se define a lo largo de la curva de funcionamiento mínima (304) si el ajuste al al menos uno del valor de velocidad ajustado o al valor de par de torsión ajustado hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté por debajo de la curva de funcionamiento mínima (304).
- 20 10. Un sistema de turbina eólica, comprendiendo el sistema:
- una turbina eólica (10), teniendo la turbina eólica una región de funcionamiento permisible (300) definida entre una curva de funcionamiento máxima (302) y una curva de funcionamiento mínima (304);
- 25 una pluralidad de componentes eléctricos contenidos dentro de un circuito de estátor (98), un circuito en el lado de rotor (100) y un circuito en el lado de línea (102) del sistema de turbina eólica, estando configurada la pluralidad de componentes eléctricos para convertir la energía de rotación de la turbina eólica (10) en energía eléctrica que se suministrará a una red de distribución (62); y
- 30 un controlador (80) acoplado comunicativamente a la turbina eólica (10) para controlar el funcionamiento de la turbina eólica (10), estando configurado el controlador (80) para:
- hacer funcionar la turbina eólica (10) en un valor de velocidad y un valor de par de torsión dentro de la región de funcionamiento permisible (300);
- 35 recibir (204) al menos una de una solicitud de reducción de velocidad o una solicitud de reducción de par de torsión para reducir la potencia de la turbina eólica (10) en base a una restricción limitante del sistema de turbina eólica, donde la restricción limitante corresponde a una corriente dentro de un componente eléctrico de al menos uno de entre un circuito de estátor (98) o un circuito en el
- 40 lado de rotor (100) del sistema de turbina eólica, a una corriente dentro de un componente eléctrico de un circuito en el lado de línea (102) del sistema de turbina eólica, a un voltaje dentro de un componente eléctrico de un circuito en el lado de rotor (100) de la turbina eólica (10), a una temperatura de un componente eléctrico del sistema de turbina eólica y/o a una condición de funcionamiento de un componente de la turbina eólica (10);
- 45 determinar (206) al menos uno de entre un valor de velocidad ajustado (322) o un valor de par de torsión ajustado (332) para la turbina eólica (10) en base a la al menos una de la solicitud de reducción de velocidad o la solicitud de reducción de par de torsión;
- 50 determinar (208) si un ajuste del funcionamiento de turbina eólica al al menos uno de entre el valor de velocidad ajustado o el valor de par de torsión ajustado hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible (300); y
- 55 si el ajuste hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible, ajustar (212) el al menos uno del valor de velocidad o el valor de par de torsión definido a lo largo de la curva de funcionamiento máxima (302) o la curva de funcionamiento mínima (304), donde, si el nuevo valor de velocidad (324) no reduce la velocidad del generador en la misma medida requerida por la solicitud de reducción y/o si el nuevo valor de par de torsión
- 60 (334) no reduce el par de torsión del generador en la misma medida requerida por la solicitud de reducción, el ajuste (212) corresponde a una reducción en los valores de par de torsión y de velocidad para la turbina eólica (10), o si el ajuste no hace que el funcionamiento de la turbina eólica esté fuera de la región de funcionamiento permisible (300), ajustar (210) el funcionamiento de la turbina eólica (10) al valor de velocidad ajustado (322) o al valor de par de torsión ajustado
- 65 (332).

- 5
11. El sistema de la reivindicación 10, en el que, cuando la restricción limitante corresponde a la corriente dentro de un componente eléctrico de al menos uno del circuito de estátor (98) o del circuito en el lado de rotor (100), el controlador (80) está configurado para recibir una solicitud de reducción de par de torsión desde un controlador de convertidor (89) del sistema de turbina eólica para reducir el valor de par de torsión de la turbina eólica (10).
- 10
12. El sistema de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en el que, cuando la restricción limitante corresponde a la corriente dentro de un componente eléctrico del sistema de circuito en el lado de línea (102) o al voltaje dentro de un componente eléctrico del circuito en el lado de rotor (100), el controlador (80) está configurado para recibir una solicitud de reducción de velocidad desde un controlador de convertidor (89) del sistema de turbina eólica para reducir el valor de velocidad de la turbina eólica (10).

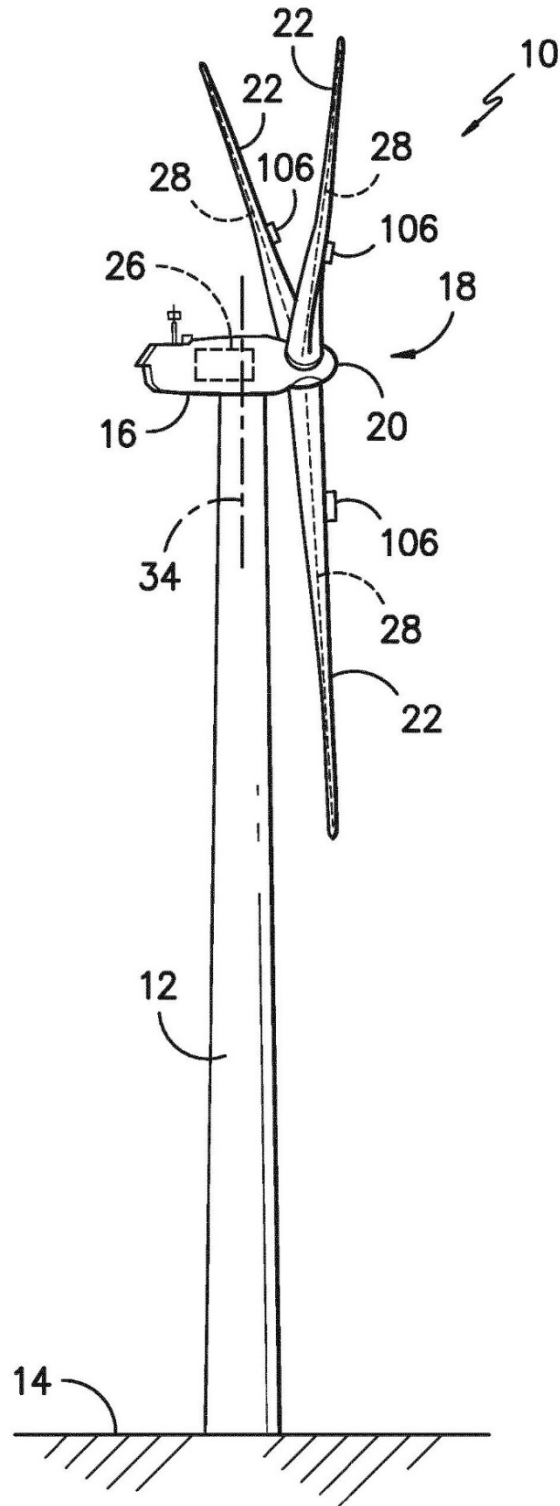
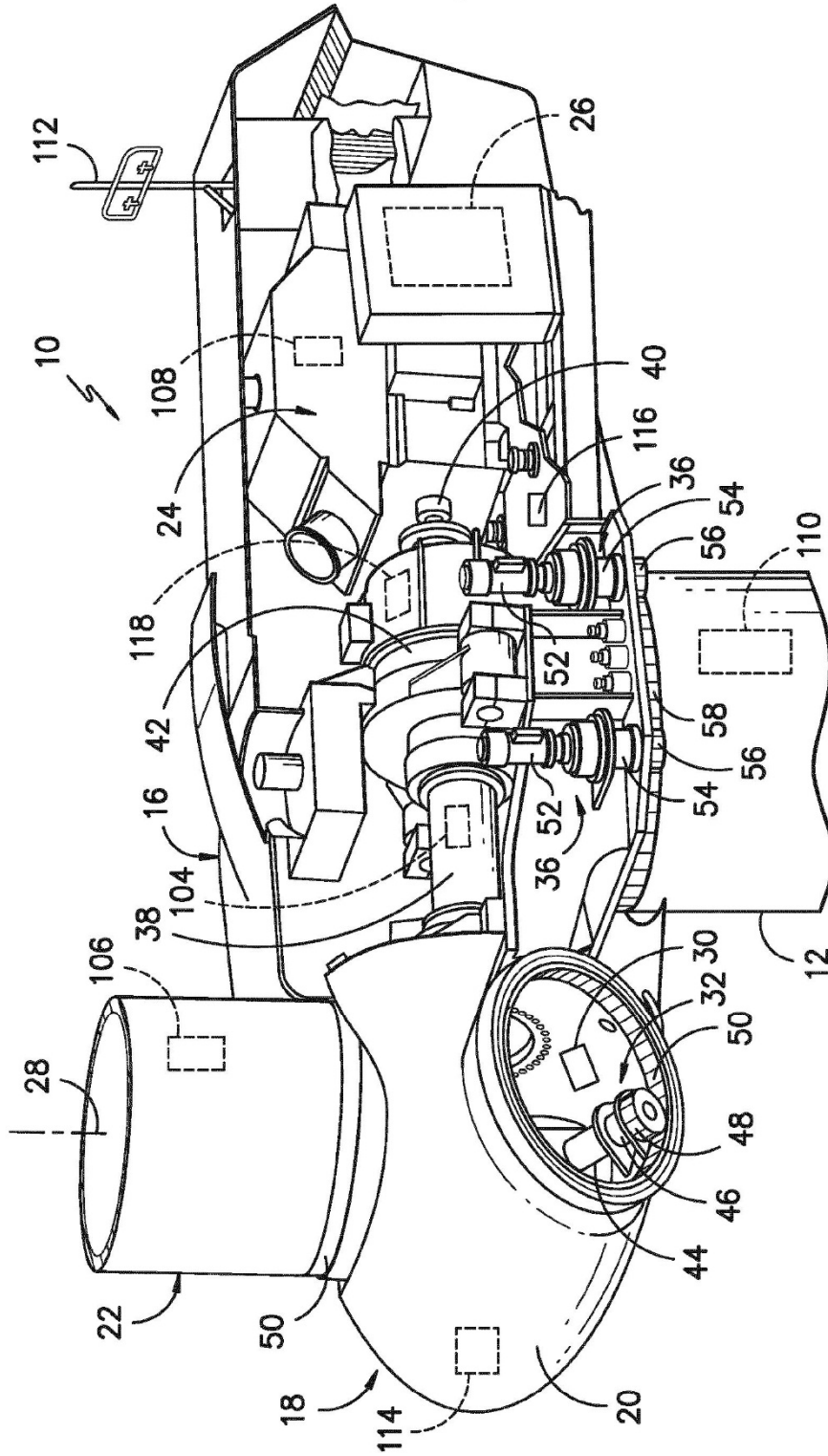


FIG. -1-



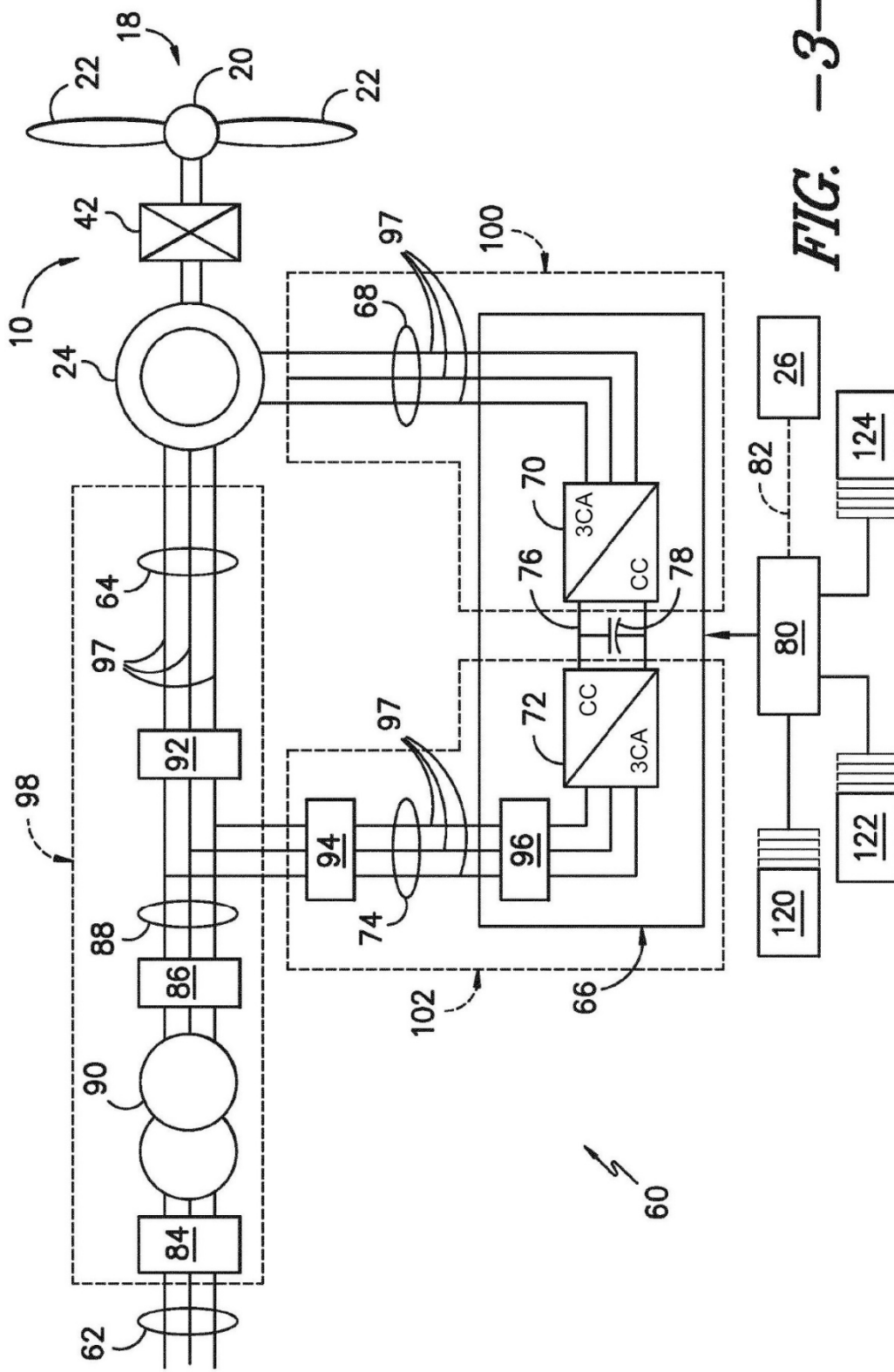


FIG. 3

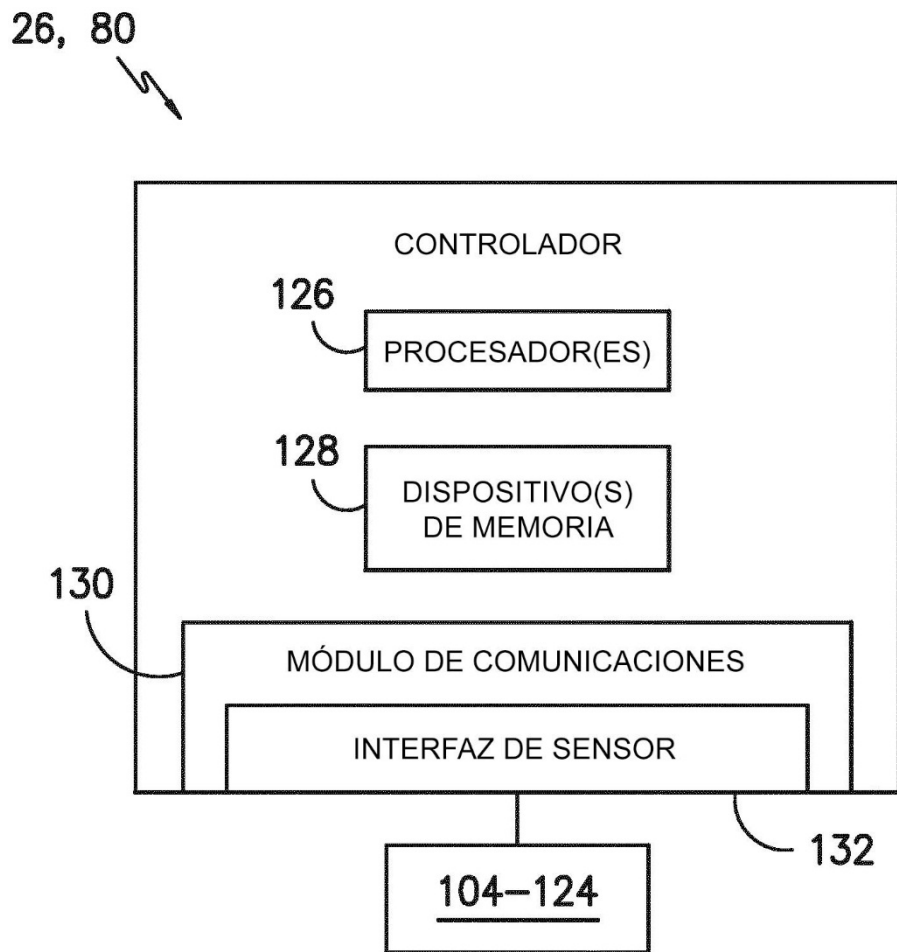


FIG. -4-

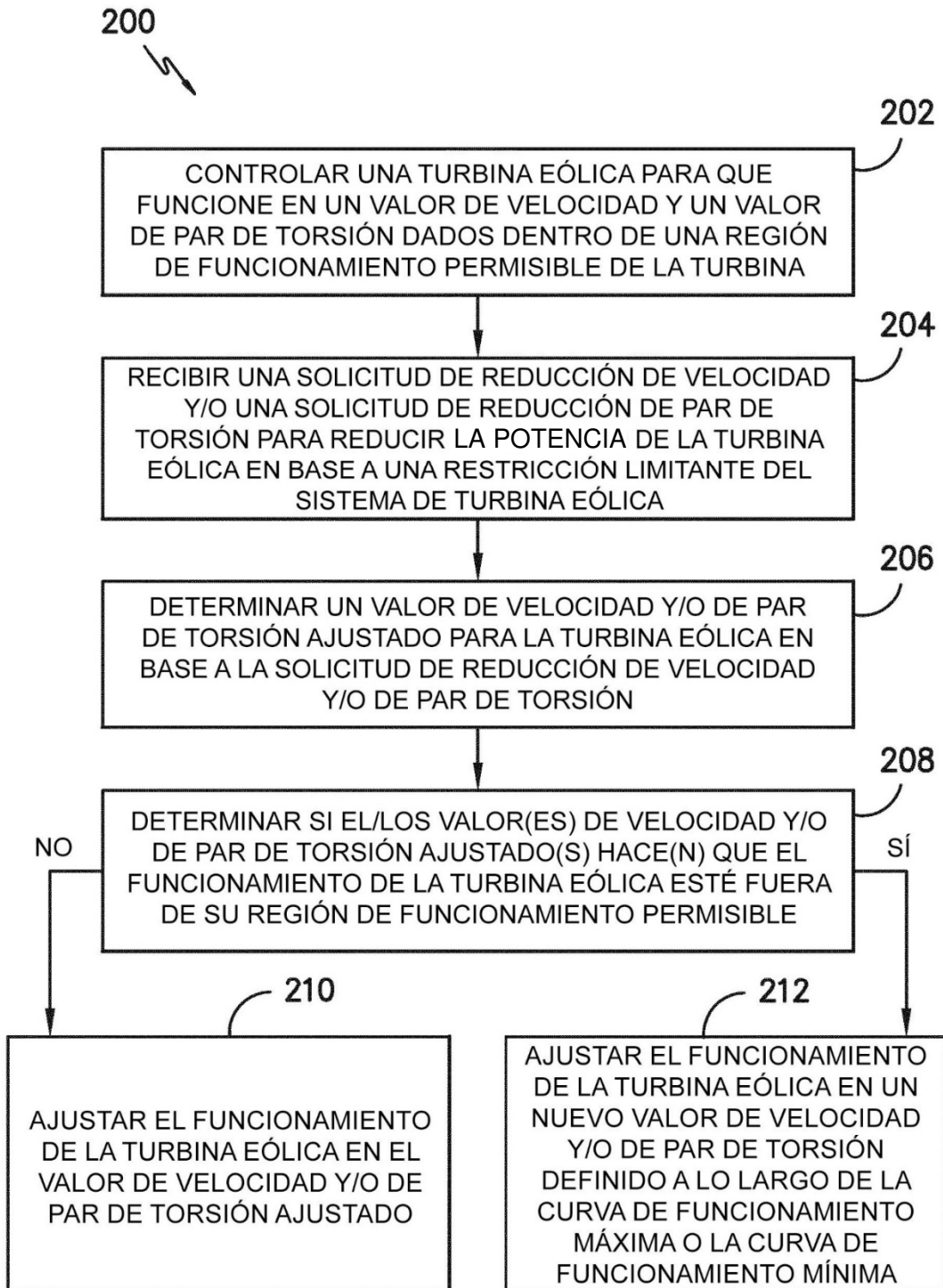


FIG. -5-

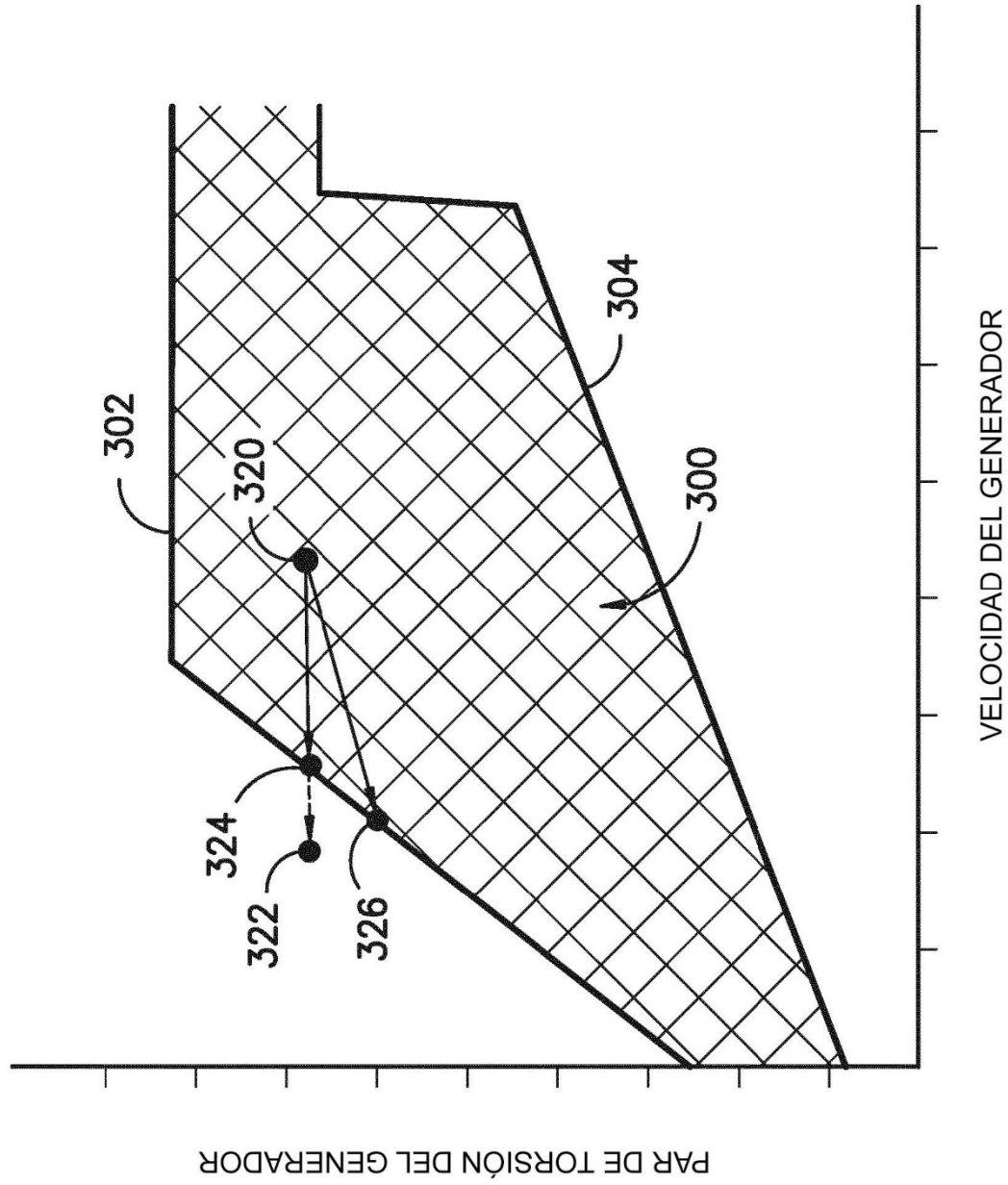


FIG. - 7 -

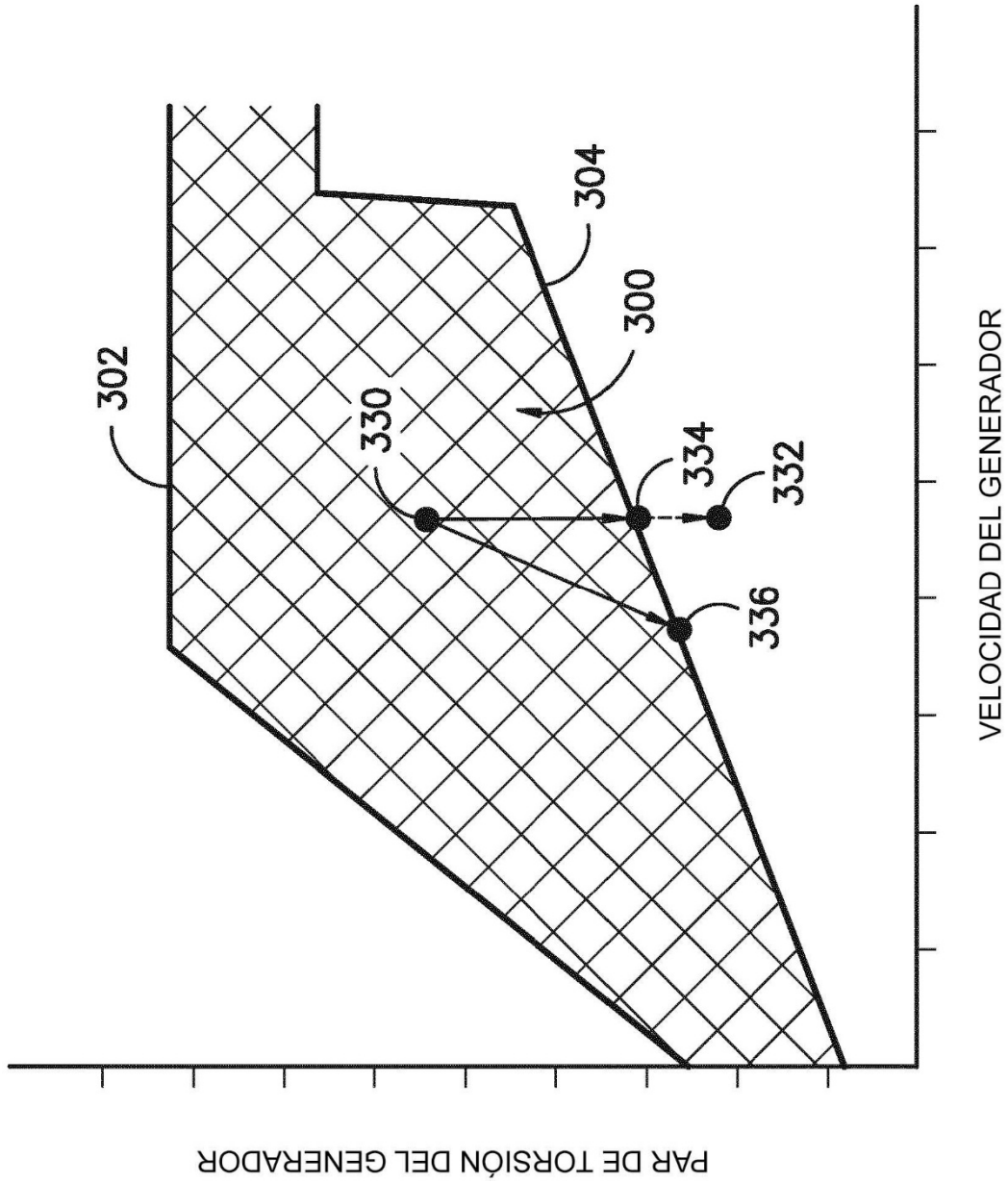


FIG. -8-

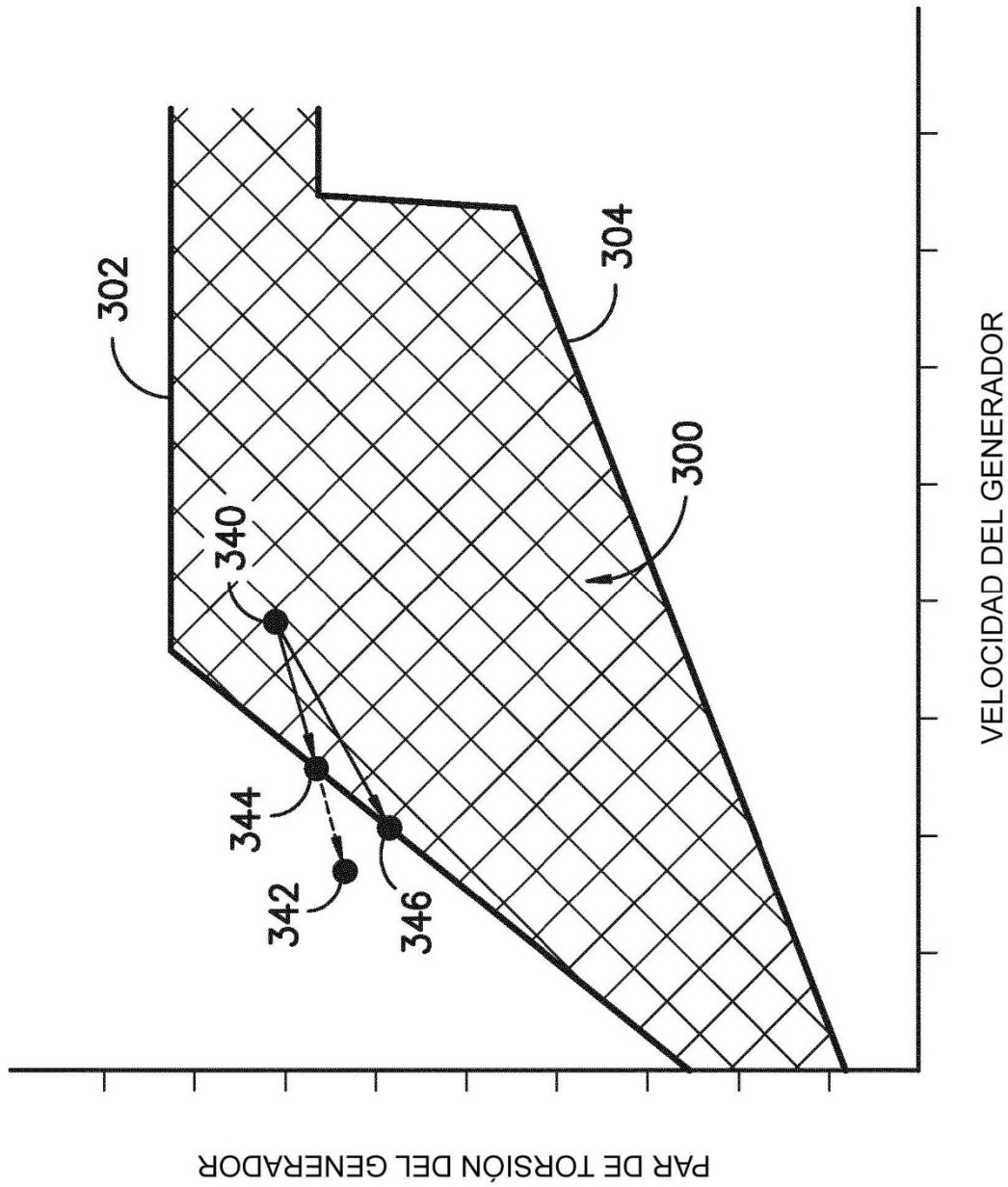


FIG. -9-