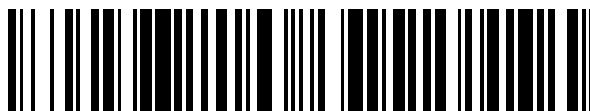


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 862 650**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**H02P 9/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.08.2013** E 13179136 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2020** EP 2696068

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar la velocidad y el par de torsión de una turbina eólica fuera de las condiciones de velocidad de viento nominal**

30 Prioridad:

**09.08.2012 US 201213570651**

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

**07.10.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PERLEY, THOMAS FRANKLIN;  
GERBER, BRANDON SHANE y  
YARBROUGH, AARON**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

ES 2 862 650 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 la velocidad y el par de torsión de una turbina eólica fuera de las condiciones de velocidad de viento nominal

**[0001]** La presente materia se refiere en general a turbinas eólicas, y más en particular a un sistema y procedimiento para variar la velocidad y el par de torsión de una turbina eólica durante unas condiciones de velocidad de viento posnominal para reducir cargas extremas y de fatiga en diversos componentes de turbina eólica.

**[0002]** Una turbina eólica incluye un rotor que tiene múltiples palas para transformar energía eólica en un par de rotación que impulsa un generador, que está acoplado al rotor a través de un tren de potencia y una caja multiplicadora. La caja multiplicadora aumenta la de por sí baja velocidad de rotación del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica en energía eléctrica, que se transfiere a una red de suministro.

**[0003]** Con referencia a la FIG. 3, las turbinas eólicas comerciales modernas en general funcionan de acuerdo con una curva de potencia prevista en la que, en una primera región (región I), la velocidad de viento es demasiado baja para garantizar el funcionamiento de la turbina y las palas de la turbina pitchean hasta una posición de bandera completa correspondiente al ángulo de pitch que produce un par aerodinámico mínimo. A una velocidad de viento suficiente para el arranque ( $V_{conexión}$ ), las palas pitchean hasta un ángulo de pitch nominal de región II en el que se genera una sustentación aerodinámica máxima para producir un par de torsión y hacer girar el rotor. En la región II, la velocidad de viento y el par de torsión de generador están por debajo del "valor nominal", y el pitch de pala en general se mantiene constante en un ángulo óptimo para producir un par aerodinámico máximo. Con un incremento de la velocidad de viento en la región II, la potencia captada por la turbina eólica se incrementa junto con las cargas mecánicas en la estructura y los componentes de la turbina. Véase, por ejemplo, el documento WO 01/66940.

**[0004]** A la velocidad de viento "nominal" ( $V_{nominal}$ ), la turbina eólica alcanza su potencia nominal en la región III de la curva de potencia prevista. En esta región, la potencia de turbina eólica se limita a la potencia nominal para mantener las cargas de máquina dentro de los límites previstos. El par de torsión de generador se mantiene constante y el pitch de pala se controla para regular la velocidad de turbina a la velocidad nominal. Por razones de seguridad y carga de máquina, la turbina eólica se para para velocidades de viento que sobrepasan una velocidad de viento de desconexión ( $V_{desconexión}$ ) definida.

**[0005]** Los límites de carga de fatiga y extrema por encima de la vida útil de la turbina eólica, como se esperaba, se generan principalmente a velocidades de viento que sobrepasan  $V_{nominal}$ , en particular a una velocidad de viento próxima a  $V_{desconexión}$ . En general, esta velocidad de viento se conoce para diversos diseños de turbina eólica.

**[0006]** Los intentos anteriores de reducir las cargas extremas y de fatiga en la región III de la curva de potencia incluían perfiles de control que reducían la velocidad nominal de turbina y el par de torsión de generador. Sin embargo, esto dio como resultado una disminución correspondiente de la potencia, lo que afectó negativamente a la producción anual de energía (AEP) de la turbina eólica. Por ejemplo, la publicación del PCT WO 97/09531 describe una metodología de control para reducir las cargas en una turbina eólica en la que, a una velocidad de viento definida, la potencia se reduce en función de la velocidad de viento al reducir la velocidad de rotación del rotor de turbina.

**[0007]** En consecuencia, se desea un sistema y procedimiento mejorado para reducir las cargas en una turbina eólica a altas velocidades de viento sin pérdida de potencia ni de AEP de turbina.

**[0008]** 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 descubrir a través de la puesta en práctica de la invención.

**[0009]** La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

**[0010]** Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y a las 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, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica convencional;

la FIG. 2 ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de una góndola de una turbina eólica;

la FIG. 3 es un diagrama de una curva de potencia convencional para un generador de turbina eólica;

la FIG. 4 es un diagrama de bloques de unos componentes de control de turbina eólica de acuerdo con un modo de realización de la invención;

5 la FIG. 5 es un diagrama de la potencia de generador en relación con la velocidad de viento de acuerdo con unos modos de realización de la invención;

la FIG. 6 es un diagrama de la velocidad de generador y el par de torsión de generador en relación con la velocidad de viento de acuerdo con unos modos de realización de la invención; y

10 la FIG. 7 es un diagrama de la velocidad de generador y el par de torsión de generador en relación con la velocidad de viento de acuerdo con otros modos de realización de la invención.

15 **[0011]** A continuación, se hace referencia con detalle a unos modos de realización de la invención, de los cuales 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 características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar otro modo de realización más. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones tal como aparecen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

20 **[0012]** En general, la presente materia está dirigida a un sistema y procedimiento para controlar un generador de turbina eólica a velocidades de viento que sobrepasan la velocidad nominal de viento, en el que se detecta la velocidad de viento y, a la velocidad nominal de viento, controlar el par de torsión de generador y la velocidad de rotación de generador de acuerdo con un perfil predefinido para lograr una potencia nominal para el generador de turbina eólica. De acuerdo con el perfil, cuando la velocidad de viento se incrementa por encima de la velocidad nominal de viento ( $V_{\text{nominal}}$ ), uno de un par de torsión de generador o una velocidad de rotación de generador se incrementa y el otro de una velocidad de rotación de generador o un par de torsión de generador disminuye proporcionalmente para mantener la potencia de generador sustancialmente constante en una potencia nominal. En un modo de realización particular, el pitch de pala se controla para incrementar o disminuir la velocidad de rotación de generador a velocidades de viento que sobrepasan una velocidad nominal de viento. El par de torsión y la velocidad de rotación de generador se pueden controlar de acuerdo con un perfil de velocidad de viento definido empezando por una velocidad de viento definida a o por encima de una velocidad nominal de viento ( $V_{\text{nominal}}$ ).

35 **[0013]** En el presente documento, se explicarán diversos aspectos de la invención con referencia a unos modos de realización en los que un par de torsión de generador se incrementa y una velocidad de generador disminuye proporcionalmente. Esto se hace con propósitos ilustrativos. Se debe apreciar que la relación inversa es aplicable también para cada uno de estos modos de realización en los que un par de torsión de generador disminuye y una velocidad de rotación de generador se incrementa proporcionalmente.

40 **[0014]** 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 apoyo 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotativo 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 separada alrededor del buje 20 para facilitar una rotación del rotor 18 para permitir que se transfiera energía cinética del viento como energía mecánica útil y, posteriormente, como energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede estar acoplado rotativamente a un generador eléctrico 24 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

50 **[0015]** La turbina eólica 10 puede incluir también un sistema de control de turbina o un controlador principal 26 centralizado dentro de la góndola 16. En general, el controlador principal 26 puede comprender un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador principal 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 turbinas eólicas (por ejemplo, mandatos de pitch). Así pues, el controlador principal 26 se puede configurar en general para controlar los diversos modos de funcionamiento (por ejemplo, secuencias de arranque o de parada) y/o componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador 26 se puede configurar 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) alrededor de su eje de pitch 28 para controlar la velocidad de rotación de la pala de rotor 22 así como las cargas que actúan sobre la pala de rotor 22. Por ejemplo, el controlador principal 26 puede controlar individualmente el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22 transmitiendo mandatos de pitch adecuados a un sistema de pitch 30 (FIG. 2) de la pala de rotor 22. Durante el funcionamiento de la turbina eólica 10, el controlador 26 puede transmitir en general mandatos de pitch a cada sistema de pitch 30 para alterar el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22 entre 0 grados (es decir, una posición de potencia de la pala de rotor 22) y 90 grados (es decir, una posición de bandera de la pala de rotor 22).

**[0016]** Con 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 realización ilustrado, el rotor 18 puede incluir un eje de rotor 32 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 32 puede, a su vez, estar acoplado rotativamente a un eje de generador 34 del generador 24 a través de una caja multiplicadora 36. Como se entiende en general, el eje de rotor 32 puede proporcionar una entrada de baja velocidad y alto par de torsión a la caja multiplicadora 36 como respuesta a una rotación de las palas de rotor 22 y del buje 20. La caja multiplicadora 36 se puede configurar a continuación para convertir la entrada de baja velocidad y alto par de torsión en una salida de par de torsión de alta velocidad y bajo par de torsión para impulsar el eje de generador 34 y, por tanto, el generador 24.

**[0017]** Adicionalmente, el controlador principal 26 también puede estar localizado dentro de la góndola 16. Como se entiende en general, el controlador principal 26 puede estar acoplado comunicativamente a cualquier número de los componentes de la turbina eólica 10 para controlar el funcionamiento de dichos componentes. Por ejemplo, como se indica anteriormente, el controlador principal 26 puede estar acoplado comunicativamente a cada sistema de pitch 30 de la turbina eólica 10 (uno de los cuales se muestra) para facilitar una rotación de cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de pitch 28.

**[0018]** Como se muestra en la FIG. 2, cada sistema de pitch 30 puede incluir un mecanismo de ajuste de pitch 36 y un controlador de pitch 38 acoplado comunicativamente al mecanismo de ajuste de pitch 36. En general, cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede incluir cualquier componente adecuado y puede tener cualquier configuración adecuada que permite que el mecanismo de ajuste de pitch 36 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en varios modos de realización, cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede incluir un motor de accionamiento de pitch 40 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una caja multiplicadora 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 puede estar acoplado a la caja multiplicadora de accionamiento de pitch 42 de modo que el motor de accionamiento de pitch 40 imparta fuerza mecánica a la caja multiplicadora de accionamiento de pitch 42. De forma similar, la caja multiplicadora de accionamiento de pitch 42 puede estar acoplada al piñón de accionamiento de pitch 44 para una rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de pitch 44 puede, a su vez, estar en acoplamiento rotativo con un rodamiento de pitch 46 acoplado entre el buje 20 y una pala de rotor 22 correspondiente de modo que una rotación del piñón de accionamiento de pitch 44 causa una rotación del rodamiento de pitch 46. Por tanto, en dichos modos de realización, una rotación del motor de accionamiento de pitch 40 impulsa la caja multiplicadora de accionamiento de pitch 42 y el piñón de accionamiento de pitch 44, haciendo girar de este modo el rodamiento de pitch 46 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de pitch 28.

**[0019]** En modos de realización alternativos, se debe apreciar que cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede tener cualquier otra configuración adecuada que facilite una rotación de una pala de rotor 22 alrededor de su eje de pitch 28. Por ejemplo, se conocen mecanismos de ajuste de pitch 36 que incluyen un dispositivo hidráulico o neumático impulsado (por ejemplo, un cilindro hidráulico o neumático) configurado para transmitir energía de rotación al rodamiento de pitch 46, haciendo de este modo que la pala de rotor 22 gire alrededor de su eje de pitch 28. Por tanto, en varios modos de realización, en lugar del motor eléctrico de accionamiento de pitch 40 descrito anteriormente, cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede incluir un dispositivo impulsado hidráulico o neumático que utiliza presión de fluido para aplicar un par de torsión al rodamiento de pitch 46.

**[0020]** El funcionamiento del mecanismo de ajuste de pitch 36 para cada pala de rotor 22 en general se puede controlar mediante el controlador principal 26 por medio del controlador de pitch individual 38 para esa pala de rotor 22. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador principal 26 y cada controlador de pitch 38 pueden estar en comunicación entre sí y/o con el mecanismo de ajuste de pitch 36 por medio de una conexión alámbrica, por ejemplo, usando un cable de comunicación adecuado. En otros modos de realización, el controlador principal 26 y cada controlador de pitch 38 pueden estar en comunicación entre sí y/o con el mecanismo de ajuste de pitch 36 por medio de una conexión inalámbrica, por ejemplo, usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

**[0021]** Se debe apreciarse que, aunque el controlador principal 26 en general se puede utilizar para controlar los mecanismos de ajuste de pitch 36 por medio de los controladores de pitch 38, cada controlador de pitch 38 también se puede configurar para controlar independientemente el funcionamiento de su respectivo mecanismo de ajuste de pitch 36. Por ejemplo, cuando se produce un fallo de comunicación entre el controlador principal 26 y uno o más de los controladores de pitch 38 (por ejemplo, debido a una pérdida de potencia, un fallo de controlador, una avería en la comunicación y/o similares), los controladores de pitch 38 se pueden configurar para implementar los procedimientos de parada descritos en el presente documento para detener el funcionamiento de la turbina eólica 10.

**[0022]** Con referencia todavía a la FIG. 2, la turbina eólica 10 también puede incluir una pluralidad de sensores

48, 50 para monitorizar una o más condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10 con unos propósitos del presente procedimiento y sistema. Como se usa en el presente documento, una condición de funcionamiento de la turbina eólica 10 se "monitoriza" cuando se usa un sensor 48, 50 para determinar su presente valor. Por tanto, el término "monitorizar" y variantes del mismo se usan para indicar que no es necesario que los sensores 48, 50 proporcionen una medición directa de la condición de funcionamiento que se está monitorizando. Por ejemplo, uno o más sensores 48 (tales como un codificador óptico) se pueden configurar funcionalmente en una ubicación adecuada a lo largo del tren de potencia 54 (FIG. 4) para medir directa o indirectamente la velocidad de rotación del rotor de generador. Por ejemplo, la velocidad de rotor se puede obtener de un sensor 48 que mide la velocidad del buje de rotor 20, el eje de baja velocidad 32, el eje de generador 34, etc. Un sensor de velocidad de viento 50 puede recibir una señal desde un anemómetro 58 convenientemente localizado para medir la velocidad de viento incidente en las palas 22.

**[0023]** Además, la turbina eólica 10 también puede incluir sensores adicionales para monitorizar otras diversas condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sensores configurados para monitorizar el funcionamiento de los mecanismos de ajuste de pitch 36 (por ejemplo, monitorizando la entrada de corriente y/o la salida de par de torsión de cada mecanismo de ajuste de pitch 36). Además, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sensores configurados para monitorizar el funcionamiento del controlador principal 26 y/o los controladores de pitch 38, por ejemplo, monitorizando la potencia y los mandatos transmitidos desde dicho(s) controlador(es) 26, 38. Además, la turbina eólica 10 también puede incluir otros diversos sensores para monitorizar cualquier otra condición de funcionamiento adecuada de la turbina eólica 10, tal como el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22, la velocidad del rotor 18 y/o el eje de rotor 32, la velocidad del generador 24 y/o el eje de generador 34, el par de torsión en el eje de rotor 32 y/o el eje de generador 34, la velocidad de viento y/o la dirección de viento, las condiciones de red, la entrada de potencia en los componentes de la turbina eólica 10 y/o cualquier otra condición de funcionamiento adecuada.

**[0024]** En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de una configuración de sistema adecuada para realizar las funciones de control deseadas de acuerdo con unos aspectos de la invención en el que el controlador principal 26 está interconectado con los controladores de pitch 38 y un sistema de control de par de torsión 52, así como el sensor de velocidad de rotor 48 y el sensor de velocidad de viento 50. El controlador 26 puede incluir uno o más procesadores y dispositivos de memoria asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, que realizan los procedimientos, las etapas, los cálculos y similares divulgados en el presente documento). Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a los circuitos integrados incluidos en un ordenador a los que se refiere la técnica, 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, los dispositivos de memoria pueden comprender en general un(os) elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disco flexible, una memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dichos dispositivos de memoria se pueden configurar en general para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando son implementadas por el (los) procesador(es), configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones que incluyen, pero no se limitan a, transmitir señales de control adecuadas a uno o más de los mecanismos de ajuste de pitch 36, controlar un par de torsión de generador, monitorizar diversas condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10, e implementar los perfiles de par de torsión y velocidad de generador divulgados de acuerdo con unos aspectos de la presente metodología.

**[0025]** En referencia de nuevo a la FIG. 4, la turbina eólica 10 proporciona un sistema de velocidad variable que tiene un generador de inducción de rotor bobinado 24, un controlador de par de torsión 52 y un controlador de pitch (o velocidad) proporcional, integral y derivativo (PID) 38 en comunicación con los accionamientos de pitch individuales 37. El generador de inducción puede ser un generador de inducción de anillo colector o no de anillo colector. El sistema usa el generador de inducción de rotor bobinado con un sistema convertidor de potencia para asegurar el suministro de potencia de frecuencia constante a la red. Se debe observar que, aunque se describen aplicaciones de red, resultará evidente para un experto en la técnica que la presente invención también se puede aplicar a otras aplicaciones, tales como unos sistemas de potencia autónomos.

**[0026]** El convertidor de potencia controla el generador de inducción de rotor bobinado 24 de acuerdo con una curva de potencia-velocidad predeterminada (FIG. 3). Siguiendo la curva de potencia-velocidad predeterminada, el sistema de velocidad variable puede hacer funcionar la turbina al coeficiente de potencia ( $C_p$ ) máximo desde unas velocidades de viento de conexión hasta unas nominales (región II en la FIG. 3), asegurando de este modo que se logre una captación de energía aerodinámica máxima. Cabe destacar que la curva de potencia-velocidad se relaciona con una curva de par de torsión-velocidad mediante la ecuación (par de torsión = potencia/velocidad angular). La curva de potencia-velocidad se codifica en el convertidor de potencia en forma de una tabla de consulta (LUT) de potencia y unas correspondientes velocidades de generador. La LUT puede residir en hardware o software. Para controlar el par de torsión, el convertidor de potencia mide la velocidad de rotor de generador, interpola la LUT para determinar la potencia de salida de turbina objetivo, y calcula el par de torsión de generador

deseado a partir de la relación (par de torsión = potencia/velocidad angular) usando la velocidad de rotor de generador. En un modo de realización, este par de torsión se produce determinando el vector de corriente necesario y, usando técnicas de modulación de ancho de impulso bien conocidas, se produce este vector. En un modo de realización, debido a ligeras diferencias entre la teoría y la realidad, el convertidor de potencia de la presente invención emplea un controlador PI de bucle cerrado que compara una salida de potencia de turbina real con una salida objetivo, o deseada, y hace pequeños ajustes al cálculo de par de torsión para lograr y mantener una salida de turbina deseada.

**[0027]** El controlador de par de torsión 52 usa un control orientado a campo (FOC) para producir un par de torsión de generador en función de una velocidad de rotor de generador. Usando la corriente de estator, la corriente de rotor y el ángulo de rotor como entradas, el controlador de par de torsión del convertidor de potencia identifica el vector de flujo y controla el vector de corriente de rotor necesario que, tras su interacción con el vector de flujo de estator, produce el par de torsión de generador deseado. La corriente de rotor se crea mediante la conmutación apropiada de los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) del convertidor usando técnicas de regulación de corriente de modulación de impulsos en anchura (PWM) bien conocidas, como se describe en la patente de EE. UU. 5.083.039, titulada "Variable Speed Wind Turbine [Turbina eólica de velocidad variable]", publicada el 21 de enero de 1992. De esta manera, el sistema de control de potencia sigue un perfil de potencia/par de torsión-velocidad optimizado aerodinámicamente. Se debe observar que los valores de tabla de consulta que contienen el perfil de potencia/par de torsión-velocidad están basados en las propiedades aerodinámicas del rotor de turbina eólica particular y las propiedades geométricas del rotor de turbina eólica. Por lo tanto, los valores de la tabla establecidos pueden variar para diferentes rotores de turbina.

**[0028]** El control del par de torsión en un generador de turbina eólica es bien conocido por los expertos en la técnica y no es necesario describirlo con mayor detalle en el presente documento. En la patente de EE. UU. n.º 6.600.240 se expone un análisis más detallado de los conceptos y sistemas de control de par de torsión.

**[0029]** El controlador de pitch 38 controla la velocidad de rotor de generador pitcheando las palas de una turbina eólica. El controlador de pitch 38 proporciona una posición de pitch proporcional en tiempo real de las palas 22, así como una regulación de velocidad de turbina, usando un controlador proporcional, integral y derivativo (PID). El controlador PID realiza una regulación de pitch en base a una velocidad de rotor de generador y típicamente funciona independientemente del controlador de par de torsión en el convertidor de potencia. En los sistemas convencionales, el controlador PID es un controlador PID de bucle cerrado que genera una velocidad de pitcheo para realizar una regulación de pitch mientras se encuentra a o por encima de velocidades de viento nominales. El controlador PID puede empezar a realizar una regulación de pitch a velocidades de viento inferiores a unas velocidades de viento nominales. Sin embargo, típicamente, por debajo de una velocidad nominal, el ángulo de pitch se fija en una posición de plena potencia. En un modo de realización, el controlador PID genera una tensión de salida como respuesta a una diferencia entre la velocidad de rotor objetivo y la velocidad de rotor medida (o real), que una LUT no lineal usa para facilitar una velocidad de pitcheo como respuesta a la misma.

**[0030]** Aunque el controlador de pitch 38 se describe junto con un controlador PID, en otros modos de realización se puede usar un controlador proporcional e integral (PI), un controlador proporcional y derivativo (PD) o un controlador proporcional. También se pueden usar otros controladores de adelanto-retraso o retraso-adelanto. Asimismo, aunque la presente invención se describe junto con un controlador de bucle cerrado, se puede usar un controlador de bucle abierto, tal como un controlador de bucle abierto con un término derivativo o un controlador basado en modelo. Estos tipos de controladores son bien conocidos en la técnica.

**[0031]** Se explican diversos aspectos de modos de realización de procedimientos ejemplares con referencia a las FIGS. 5 a 7. Los procedimientos implican controlar el generador de turbina eólica a velocidades de viento que sobrepasan una velocidad nominal de viento ( $V_{nominal}$ ). Se detecta la velocidad de viento incidente en las palas de rotor 22. Por ejemplo, una velocidad de viento real se puede detectar por medio de un anemómetro 58 y unos circuitos sensores asociados 50. En un modo de realización alternativo, una velocidad de viento se puede obtener a partir de otro parámetro, tal como una velocidad de rotación de buje, unas velocidades de eje de tren de engranajes, etc. Como sucede con los sistemas de control convencionales, a una velocidad nominal de viento para la turbina eólica, un par de torsión de generador y una velocidad de rotación de generador se controlan, así como unos valores nominales para alcanzar una potencia nominal para el generador de turbina eólica, como se ilustra en particular en la FIG. 6. Cuando una velocidad de viento se incrementa por encima de una velocidad nominal de viento, el procedimiento incluye variar ("planificar") proporcionalmente un par de torsión de generador y disminuir una velocidad de rotación de generador. Por ejemplo, una velocidad de rotor de generador se puede reducir en un 2 % y un par de torsión de generador se puede incrementar en un 2 %, o viceversa. Este incremento/disminución proporcional de una velocidad de generador y un par de torsión de generador, respectivamente, mantiene una potencia de generador sustancialmente constante a una potencia nominal entre  $V_{nominal}$  y una velocidad de viento de desconexión ( $V_{desconexión}$ ).

**[0032]** En un modo de realización particular, el procedimiento puede incluir controlar un pitch de pala por medio del controlador de pitch 38 para reducir una velocidad de rotación de generador a las velocidades de viento que sobrepasan una velocidad nominal de viento, mientras que un par de torsión del generador se controla por medio

del controlador de par de torsión 52, como se describe anteriormente.

**[0033]** Todavía en referencia a las FIGS. 6 y 7, en determinados modos de realización, el par de torsión y la velocidad de rotación de generador se controlan de acuerdo con un perfil de velocidad de viento definido que empieza a una velocidad de viento definida en o por encima de una velocidad nominal de viento ( $V_{\text{nominal}}$ ). Por ejemplo, en el modo de realización de la FIG. 6, el incremento y la disminución proporcional de una velocidad y un par de torsión comienzan esencialmente a una velocidad nominal de viento. En el modo de realización de la FIG. 7, el incremento y la disminución proporcional de una velocidad y un par de torsión comienzan a una velocidad de viento definida por encima de una velocidad nominal de viento.

**[0034]** Como se representa en las FIGS. 6 y 7, el perfil de velocidad de viento definido para un par de torsión de generador y unas velocidades de generador por encima de  $V_{\text{nominal}}$  puede variar. En determinados modos de realización, el perfil de par de torsión de generador puede incluir una fase de ascenso inicial seguida de un valor de par de torsión de régimen permanente. Asimismo, el perfil de velocidad de viento para una velocidad de rotación de generador puede incluir una fase de descenso inicial proporcional seguida de una velocidad de rotación de régimen permanente. Estas fases pueden ser lineales o no lineales, y van seguidas de los valores de par de torsión y velocidad proporcionales de régimen permanente.

**[0035]** En otro modo de realización representado en las FIGS. 6 y 7, los perfiles de velocidad de viento definidos para un par de torsión y una velocidad de rotación de generador pueden variar sustancialmente de forma continua desde la velocidad definida en  $V_{\text{nominal}}$  o superior hasta  $V_{\text{desconexión}}$ . Por ejemplo, los perfiles de velocidad de viento definidos para un par de torsión y una velocidad de rotación de generador pueden tener un perfil curvo en el que el perfil de velocidad de viento definido para un par de torsión de generador tiene una fase de incremento inicial seguida de una etapa de disminución hasta  $V_{\text{desconexión}}$ , y el perfil de velocidad de viento definido para una velocidad de rotación de generador incluye una fase inicial de disminución seguida de una fase de incremento desde  $V_{\text{nominal}}$  hasta  $V_{\text{desconexión}}$ .

**[0036]** En referencia a la FIG. 6, a  $V_{\text{nominal}}$ , en un sistema de control, se puede definir un par de torsión nominal de generador y una velocidad de rotación nominal de generador para la potencia nominal del generador de turbina eólica, en el que el par de torsión de generador se incrementa y la velocidad de rotación de generador disminuye proporcionalmente a velocidades de viento que sobrepasan  $V_{\text{nominal}}$  en relación con unos valores nominales respectivos. Este modo de realización puede incluir controlar periódicamente la turbina eólica al par de torsión de generador nominal y la velocidad de rotación de generador nominal para la potencia nominal de forma sustancialmente continua entre  $V_{\text{nominal}}$  y  $V_{\text{desconexión}}$ .

**[0037]** La FIG. 5 representa que, debido al incremento y la disminución proporcional de un par de torsión y una velocidad de generador, la salida de potencia del generador se mantiene relativamente constante a una potencia nominal entre  $V_{\text{nominal}}$  y  $V_{\text{desconexión}}$ , como se indica mediante los perfiles superpuestos en la FIG. 5.

**[0038]** Se debe apreciar que la presente invención también engloba cualquier configuración de turbina eólica que se hace funcionar de acuerdo con cualquiera de los modos de realización de procedimiento descritos en el presente documento. Por ejemplo, una turbina eólica 10 puede incluir un controlador de par de torsión 52 acoplado al generador 24 para controlar un par de torsión del generador, y un controlador de pitch 38 acoplado al mecanismo de accionamiento de pitch de pala de turbina para realizar una regulación de pitch de una velocidad de rotación de generador, como se describe anteriormente, de acuerdo con los presentes procedimientos de control. El controlador de par de torsión 52 y el controlador de pitch 38 se hacen funcionar para controlar un par de torsión de generador y una velocidad de rotación de generador para alcanzar una potencia nominal para el generador de turbina eólica 24 y, cuando una velocidad de viento se incrementa por encima de una velocidad nominal de viento, para incrementar proporcionalmente uno de un par de torsión de generador o una velocidad de rotación de generador y disminuir el otro de una velocidad de rotación de generador o un par de torsión de generador para mantener una potencia de generador sustancialmente constante a una potencia nominal.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para controlar un generador de turbina eólica (24) a velocidades de viento que sobrepasan una velocidad de viento nominal, que comprende:
  - 5 detectar unas velocidades de viento y, a una velocidad de viento nominal, controlar un par de torsión de generador y una velocidad de rotación de generador para alcanzar una potencia nominal para el generador de turbina eólica; y
  - 10 cuando una velocidad de viento se incrementa por encima de la velocidad de viento nominal, incrementar proporcionalmente uno de un par de torsión de generador o una velocidad de rotación de generador y disminuir el otro de una velocidad de rotación de generador o un par de torsión de generador para mantener la potencia de generador sustancialmente constante a una potencia nominal; **caracterizado por que:**
  - 15 el par de torsión y la velocidad de rotación de generador (24) se controlan de acuerdo con un perfil de velocidad de viento definido empezando a una velocidad de viento definida a o por encima de una velocidad de viento nominal ( $V_{nominal}$ ), y en el que un par de torsión de generador (24) se incrementa proporcionalmente y una velocidad de rotación de generador disminuye proporcionalmente, el perfil de velocidad de viento definido para un par de torsión de generador incluye una fase de ascenso inicial seguida de un valor de par de torsión de régimen permanente, y el perfil de velocidad de viento definido para una velocidad de rotación de generador incluye una fase de descenso inicial seguida de una velocidad de rotación de régimen permanente.
- 25 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un pitch de pala se controla para reducir una velocidad de rotación de generador (24) a las velocidades de viento que sobrepasan una velocidad de viento nominal.
- 30 3. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que los perfiles de velocidad de viento definidos para un par de torsión y una velocidad de rotación de generador (24) varían de  $V_{nominal}$  a una velocidad de viento de desconexión ( $V_{desconexión}$ ).
- 35 4. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que los perfiles de velocidad de viento definidos para un par de torsión y una velocidad de rotación de generador (24) varían sustancialmente de forma continua de  $V_{nominal}$  a  $V_{desconexión}$ .
- 40 5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en el que un par de torsión de generador (24) se incrementa proporcionalmente y una velocidad de rotación de generador disminuye proporcionalmente, el perfil de velocidad de viento definido para un par de torsión de generador tiene una fase de incremento inicial seguida de una fase de disminución, y el perfil de velocidad de viento definido para una velocidad de rotación de generador incluye una fase de disminución inicial seguida de una fase de incremento de  $V_{nominal}$  a una velocidad de viento de desconexión ( $V_{desconexión}$ ).
- 45 6. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que a  $V_{nominal}$ , un par de torsión de generador (24) nominal y una velocidad de rotación de generador nominal se definen para la potencia nominal del generador de turbina eólica, incrementándose el par de torsión de generador y disminuyendo la velocidad de rotación proporcionalmente a velocidades de viento que sobrepasan  $V_{nominal}$  en relación con los respectivos valores nominales.
- 50 7. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la turbina eólica (10) se controla periódicamente al par de torsión de generador nominal y a la velocidad de rotación de generador nominal para la potencia nominal de forma sustancialmente continua entre  $V_{nominal}$  y una velocidad de viento de desconexión ( $V_{desconexión}$ ).
- 55 8. Una turbina eólica (10), que comprende:
  - un generador (24) accionado rotativamente por una pluralidad de palas de turbina (28) configuradas en un buje de rotor, estando acoplado dicho buje de rotor a dicho generador;
  - 60 un controlador de par de torsión (52) acoplado a dicho generador (24) para controlar un par de torsión de generador;
  - un controlador de pitch (38) acoplado a dichas palas de turbina (28) para realizar una regulación de pitch de una velocidad de rotación de generador; y
  - 65 en el que dicho controlador de par de torsión (52) y dicho controlador de pitch (38) funcionan para

5 controlar un par de torsión de generador y una velocidad de rotación de generador para alcanzar una potencia nominal para el generador de turbina eólica, y cuando una velocidad de viento se incrementa por encima de una velocidad de viento nominal, para incrementar proporcionalmente uno de un par de torsión de generador o una velocidad de rotación de generador y disminuir el otro de una velocidad de rotación o un par de rotación de generador para mantener una potencia de generador sustancialmente constante a una potencia nominal; **caracterizado por que:**

10 dicho controlador de par de torsión (52) controla un par de torsión de generador y dicho controlador de pitch (38) controla una velocidad de rotación de generador de acuerdo con unos perfiles de velocidad de viento definidos respectivos empezando a una velocidad de viento igual o por encima de una velocidad de viento nominal ( $V_{\text{nominal}}$ ), y en la que un par de torsión de generador se incrementa proporcionalmente y una velocidad de rotación de generador disminuye proporcionalmente, dicho perfil de velocidad de viento definido para un par de torsión de generador incluye una fase de ascenso inicial seguida de un valor de par de torsión de régimen permanente, y dicho perfil de velocidad de viento definido para una velocidad de rotación de generador incluye una fase de descenso inicial seguida de una velocidad de rotación de régimen permanente.

9. La turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 8, en la que dichos perfiles de velocidad de viento definidos para un par de torsión y una velocidad de rotación de generador varían de  $V_{\text{nominal}}$  a una velocidad de viento de desconexión ( $V_{\text{desconexión}}$ ).

10. Turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 9, en la que dichos perfiles de velocidad de viento definidos para un par de torsión y una velocidad de rotación de generador varían sustancialmente de forma continua de  $V_{\text{nominal}}$  a  $V_{\text{desconexión}}$ .

11. La turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en la que un par de torsión de generador se incrementa proporcionalmente y una velocidad de rotación de generador disminuye proporcionalmente, dicho perfil de velocidad de viento definido para un par de torsión de generador tiene una fase de incremento inicial seguida de una fase de disminución, y dicho perfil de velocidad de viento definido para una velocidad de rotación de generador incluye una fase de disminución inicial seguida de una fase de incremento de  $V_{\text{nominal}}$  a una velocidad de viento de desconexión ( $V_{\text{desconexión}}$ ).

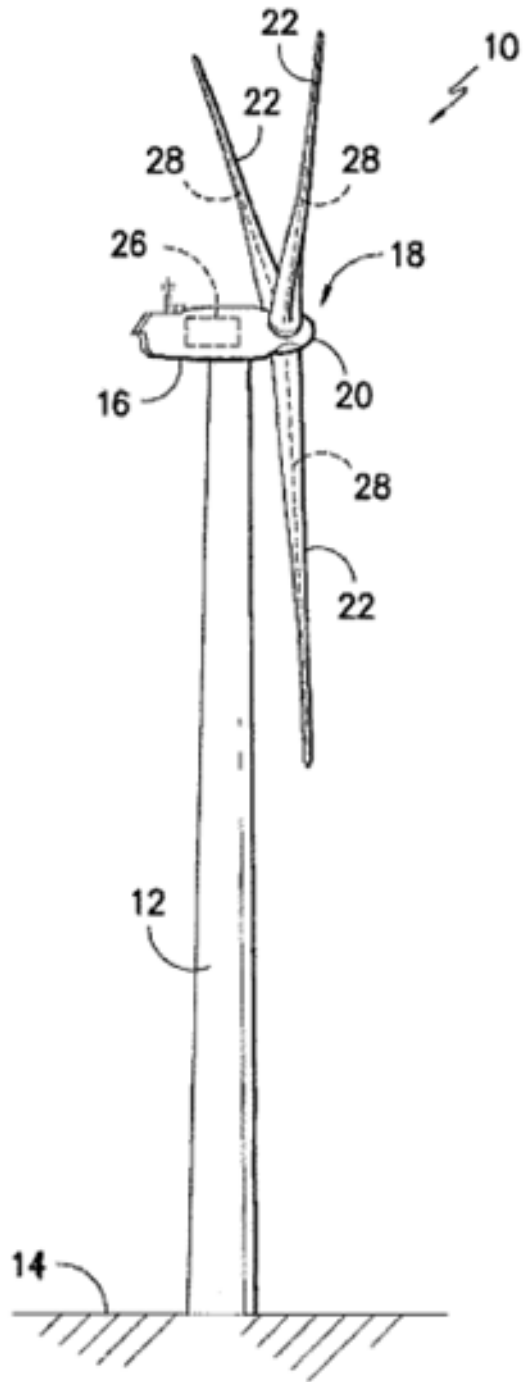


FIG. -1-

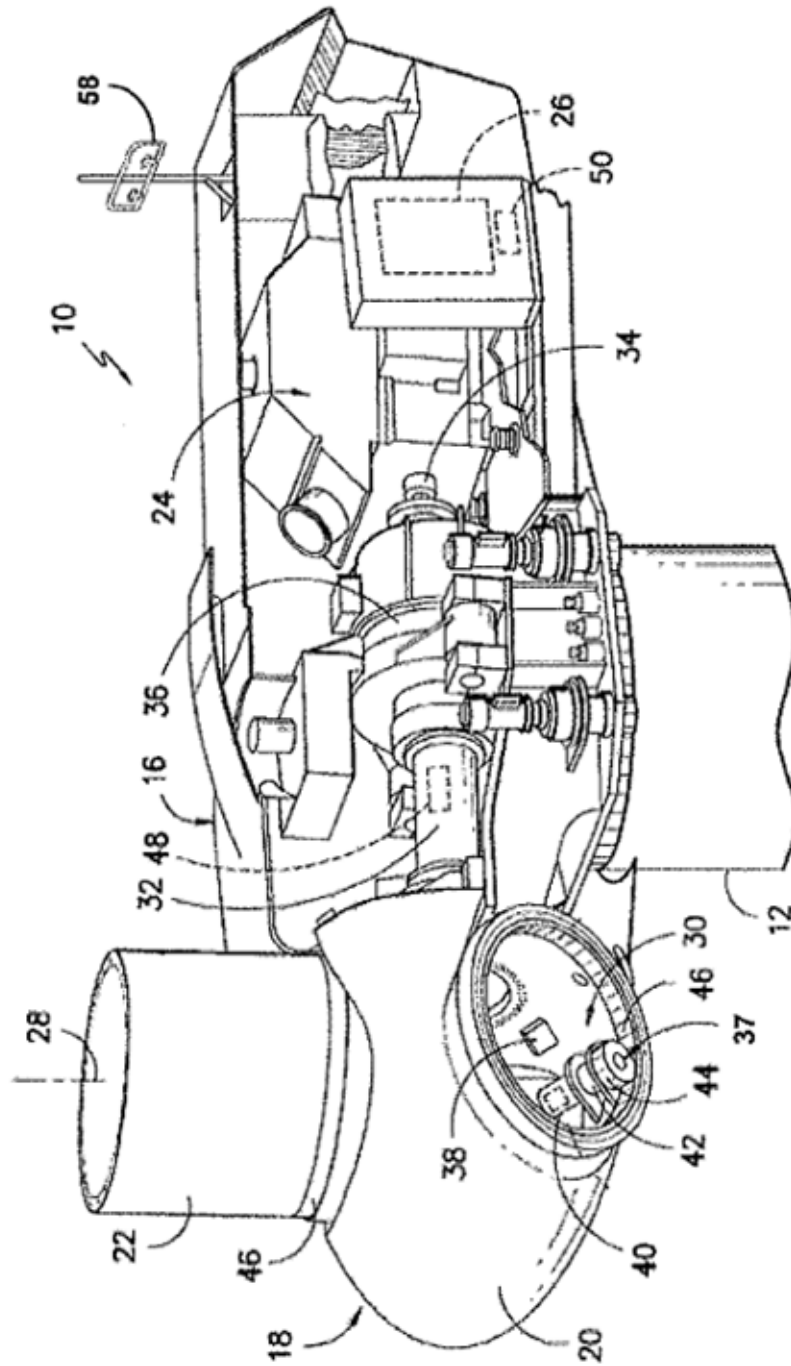
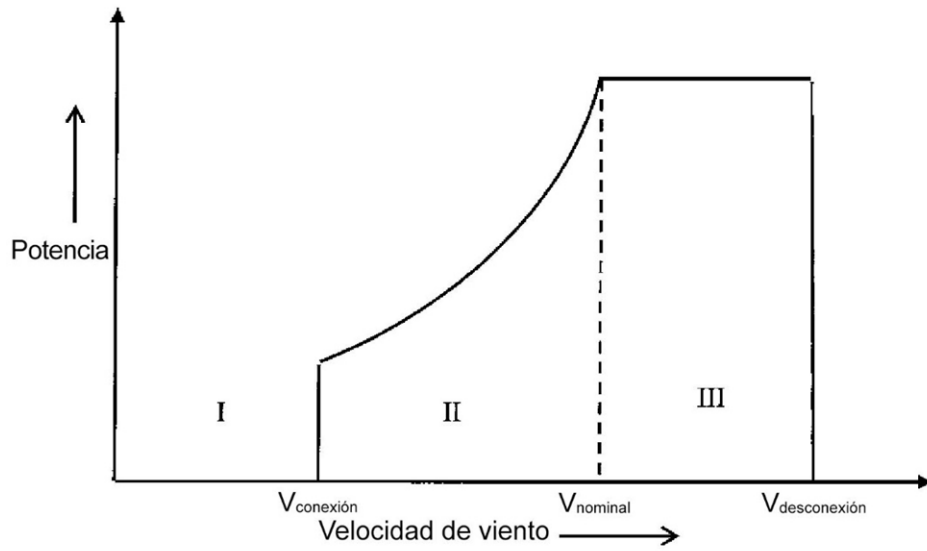
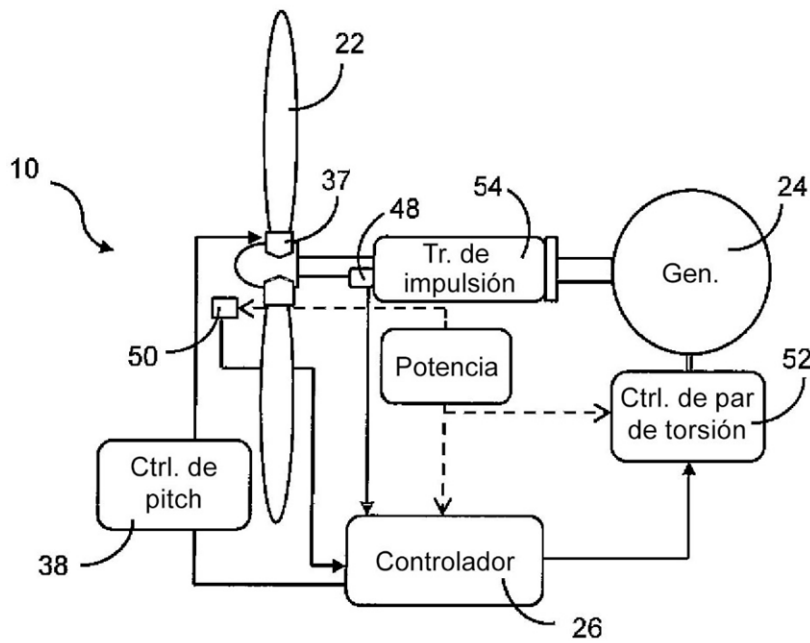


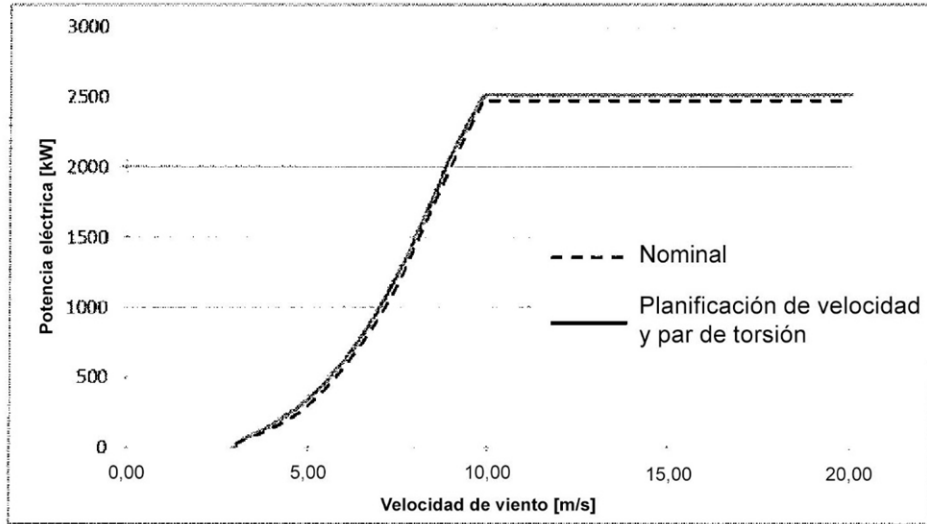
FIG. -2-



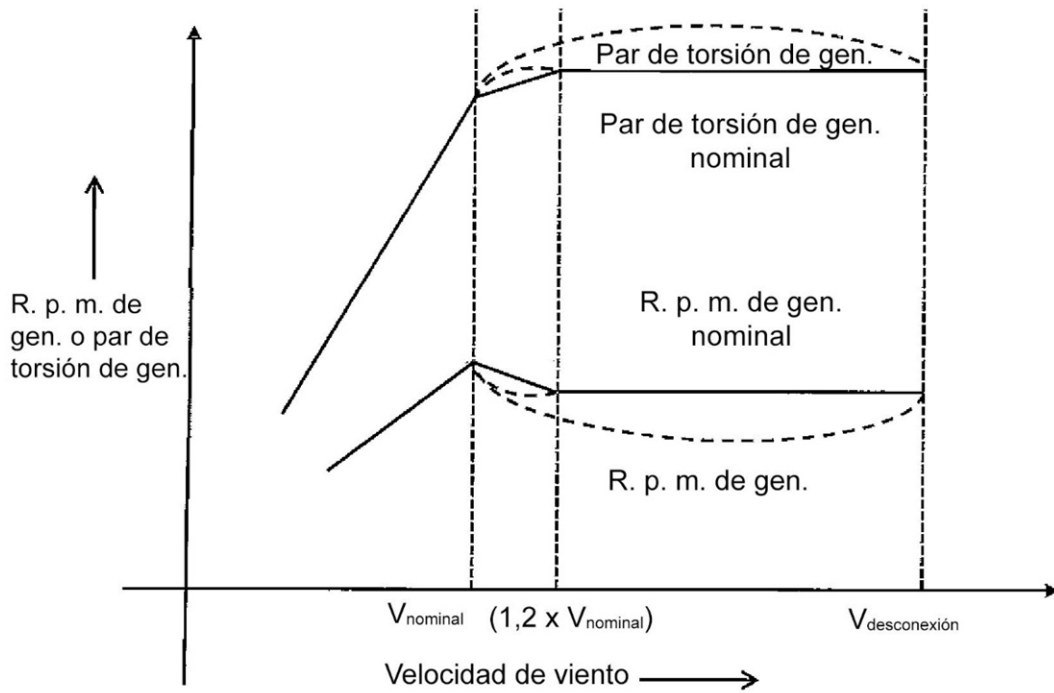
**FIG. -3-**



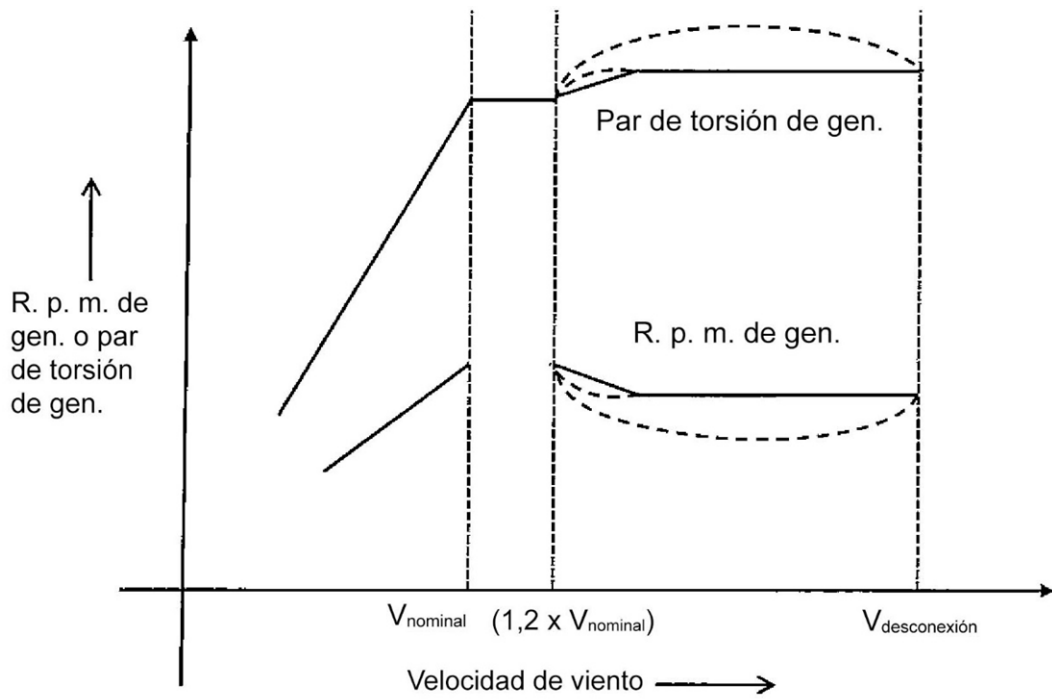
**FIG. -4-**



**FIG. -5-**



**FIG. -6-**



**FIG. -7-**