

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 736 253**

51 Int. Cl.:

G08B 19/02 (2006.01)

F03D 80/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2012** **E 12176636 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019** **EP 2549454**

54 Título: **Sistema y método para detectar hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador**

30 Prioridad:

22.07.2011 US 201113188698

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

27.12.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

CHENG, CHRISTOPHER D.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 736 253 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 método para detectar hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador

La presente materia de asunto está relacionada generalmente con aerogeneradores y, más particularmente, con un sistema y un método para detectar hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador.

5 Generalmente, un aerogenerador incluye una torre, una góndola montada sobre la torre, y un rotor acoplado a la góndola. El rotor típicamente incluye un buje rotatorio y una pluralidad de palas de rotor acopladas al buje y que se extienden hacia fuera desde este. Cada pala de rotor puede estar espaciada alrededor del buje para facilitar rotar el rotor para permitir transferir energía cinética desde el viento a energía mecánica utilizable, y posteriormente, energía eléctrica.

10 En algunas condiciones atmosféricas, se puede desarrollar hielo o acumularse de otro modo sobre las palas de rotor de un aerogenerador. Conforme la capa de hielo que se acumula sobre una pala de rotor se vuelve cada vez más gruesa, la superficie aerodinámica de la pala se modifica, dando como resultado de ese modo prestaciones aerodinámicas disminuidas. Además, la acumulación de hielo aumenta significativamente el peso de una pala de rotor, que puede llevar a daño estructural ya que una mayor cantidad de momentos de flexión y/u otras fuerzas rotacionales actúan sobre la pala de rotor. Adicionalmente, cuando hay un diferencial en la cantidad de hielo que se acumula en cada una de las palas de rotor, puede ocurrir un desequilibrio de masa que puede provocar daño significativo a un aerogenerador. Véase, por ejemplo, el documento US 2010/119370.

Debido a desventajas asociadas con la acumulación de hielo, un aerogenerador se puede parar cuando se cree que se ha acumulado hielo sobre la superficie de una o más de las palas de rotor. El funcionamiento del aerogenerador se puede reiniciar entonces después de que se pueda verificar que ya no hay hielo presente sobre las palas de rotor. Por consiguiente, al parar un aerogenerador por acumulación de hielo, se debe inspeccionar cada pala de rotor para determinar si realmente hay hielo y/o todavía está presente sobre las palas. Convencionalmente, esto requiere inspeccionar visualmente cada pala desde una ubicación sobre el suelo. Sin embargo, debido a riesgo de caída de hielo, el trabajador(es) de servicio que realiza la inspección visual debe ubicarse a una distancia segura lejos del aerogenerador. Como tal, a menudo es difícil detectar visualmente acumulación de hielo sobre las palas de rotor. Además, este tipo de inspección visual de las palas de rotor típicamente lleva una cantidad de tiempo significativa, que puede aumentar innecesariamente esa cantidad de tiempo que está parado un aerogenerador para comprobar acumulaciones de hielo.

Por consiguiente, en la tecnología sería bienvenido un sistema y un método que permite la detección precisa y eficiente de hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador.

En parte en la siguiente descripción se presentarán diversos aspectos y ventajas de la invención, o pueden verse claros a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

La presente invención se define por las reivindicaciones anexas.

35 Diversos rasgos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran unas realizaciones de la invención y junto con la descripción sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

la figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un aerogenerador;

la figura 2 ilustra una vista interna simplificada de una realización de una góndola de un aerogenerador;

40 la figura 3 ilustra un diagrama esquemático de una realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro de un controlador de turbina de un aerogenerador;

la figura 4 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un método para detectar hielo sobre una pala de rotor de un aerogenerador;

45 la figura 5 ilustra una realización de un perfil de par de referencia para una pala de rotor en un intervalo de ángulos de paso; y,

la figura 6 ilustra una realización de un perfil de tiempo de referencia para una pala de rotor en un intervalo de ángulos de paso.

Ahora se hará referencia en detalle a realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las mismas se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no limitación de la invención. De hecho, para los expertos en la técnica será evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin salir del alcance o espíritu de la invención. Por ejemplo, rasgos ilustrados o descritos como parte de una realización se pueden usar con otra realización para producir una realización todavía adicional. Así, se

pretende que la presente invención abarque dichas modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones anexas y sus equivalentes.

En general, la presente materia de asunto se dirige a un sistema y un método para detectar hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador. Específicamente, el sistema y el método descritos proporcionan medios para detectar acumulaciones de hielo sobre una pala de rotor mientras un aerogenerador no está funcionando. Por ejemplo, en varias realizaciones, en una parada de un aerogenerador, se puede cambiar el paso de cada pala de rotor en un intervalo de ángulos de paso mientras se monitoriza un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador. El parámetro relacionado con hielo monitorizado puede ser comparado entonces con un perfil de referencia predeterminado para tal parámetro a fin de determinar si hay presente hielo en cualquiera de las palas de rotor.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, la figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un aerogenerador 10. Como se muestra, el aerogenerador 10 generalmente incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada sobre la torre 12, y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada al buje 20 y que se extiende hacia fuera desde este. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 puede estar espaciada alrededor del buje 20 para facilitar rotar el rotor 18 para permitir transferir energía cinética desde el viento a energía mecánica utilizable, y posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede ser acoplado rotatoriamente a un generador eléctrico 24 (figura 2) posicionado dentro de la góndola 16 para permitir producir energía eléctrica.

El aerogenerador 10 también puede incluir un sistema de control de turbina o controlador de turbina 26 centralizado dentro de la góndola 16. En general, el controlador de turbina 26 puede comprender un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Así, en varias realizaciones, el controlador de turbina 26 puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de aerogenerador. Como tal, el controlador de turbina 26 puede configurarse generalmente para controlar los diversos modos de funcionamiento (p. ej., secuencias de arranque o parada) y/o componentes del aerogenerador 10. Por ejemplo, el controlador 26 se puede configurar para ajustar el paso de pala o ángulo de paso 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 paso 28 a fin de controlar la velocidad rotacional de la pala de rotor 22 y/o la salida de potencia generada por el aerogenerador 10. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 puede controlar el ángulo de paso de las palas de rotor 22, ya sea individual o simultáneamente, al transmitir señales de control adecuadas para uno o más impulsores de paso o mecanismos de ajuste de paso 30 (figura 2) del aerogenerador 10. Durante el funcionamiento del aerogenerador 10, el controlador 26 puede controlar generalmente cada mecanismo de ajuste de paso 30 a fin de alterar el ángulo de paso 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).

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se ilustra una vista interna simplificada de una realización de la góndola 16 del aerogenerador 10 mostrado en la figura 1. Como se muestra, dentro de la góndola 16 se puede disponer un generador 24. En general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 para producir potencia eléctrica a partir de la energía rotacional generada por el rotor 18. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, el rotor 18 puede incluir un árbol de rotor 32 acoplado al buje 20 para rotación con el mismo. El árbol de rotor 32 puede acoplarse, a su vez, rotatoriamente a un árbol de generador 34 del generador 24 a través de una caja de engranajes 36. Como se entiende generalmente, el árbol de rotor 32 puede proporcionar un alto par a baja velocidad introducido a la caja de engranajes 36 en respuesta a rotación de las palas de rotor 22 y el buje 20. La caja de engranajes 36 se puede configurar entonces para convertir el aporte de alto par a baja velocidad a una salida de baja par a alta velocidad para impulsar el árbol de generador 34 y, así, el generador 24.

Adicionalmente, el controlador de turbina 26 también se puede ubicar dentro de la góndola 16. Como se entiende generalmente, el controlador de turbina 26 se puede acoplar comunicativamente a cualquier número de los componentes del aerogenerador 10 a fin de controlar el funcionamiento de tales componentes. Por ejemplo, como se ha indicado anteriormente, el controlador de turbina 26 se puede acoplar comunicativamente a cada mecanismo de ajuste de paso 30 del aerogenerador 10 (se muestra uno de los mismos) para facilitar la rotación de cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de paso 28.

En general, cada mecanismo de ajuste de paso 30 puede incluir cualesquiera componentes adecuados y puede tener cualquier configuración adecuada que permita al mecanismo de ajuste de paso 30 funcionar como se describe en la presente memoria. Por ejemplo, en varias realizaciones, cada mecanismo de ajuste de paso 30 puede incluir un motor de impulsión de paso 38 (p. ej., cualquier motor eléctrico adecuado), una caja de engranajes de impulsión de paso 40, y un piñón de impulsión de paso 42. En tales realizaciones, el motor de impulsión de paso 38 se puede acoplar a la caja de engranajes de impulsión de paso 40 de modo que el motor de impulsión de paso 38 imparte fuerza mecánica a la caja de engranajes de impulsión de paso 40. De manera similar, la caja de engranajes de impulsión de paso 40 se puede acoplar al piñón de impulsión de paso 42 para rotación con el mismo. El piñón de impulsión de paso 42 puede estar, a su vez, en acoplamiento rotacional con un apoyo de paso 44 acoplado entre el buje 20 y una correspondiente pala de rotor 22 de manera que rotación del piñón de impulsión de paso 42 provoca rotación del

apoyo de paso 44. Así, en tales realizaciones, la rotación del motor de impulsión de paso 38 impulsa la caja de engranajes de impulsión de paso 40 y el piñón de impulsión de paso 42, haciendo rotar de ese modo el apoyo de paso 44 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de paso 28.

En realizaciones alternativas, se debe apreciar que cada mecanismo de ajuste de paso 30 puede tener cualquier otra configuración adecuada que facilita la rotación de una pala de rotor 22 alrededor de su eje de paso 28. Por ejemplo, se conocen mecanismos de ajuste de paso 30 que incluyen un dispositivo impulsado hidráulico o neumático (p. ej., un cilindro hidráulico o neumático) configurado para transmitir energía rotacional al apoyo de paso 44, provocando de ese modo que la pala de rotor 22 rote alrededor de su eje de paso 28. Así, en varias realizaciones, en lugar del motor eléctrico de impulsión de paso 38 descrito anteriormente, cada mecanismo de ajuste de paso 30 puede incluir un dispositivo impulsado hidráulico o neumático que utiliza presión de fluido para aplicar par al apoyo de paso 44.

Haciendo referencia todavía a la figura 2, el aerogenerador también puede incluir una pluralidad de sensores 46, 48 para monitorizar uno o más parámetros y/o condiciones del aerogenerador 10. Como se emplea en esta memoria, se "monitoriza" un parámetro o condición del aerogenerador 10 cuando se usa un sensor 46, 48 para determinar su valor presente. Así, el término "monitor" y variaciones del mismo se usan para indicar que los sensores 46, 48 no necesitan proporcionar una medición directa del parámetro y/o condición que se están monitorizando. Por ejemplo, los sensores 46, 48 se pueden usar para generar señales relativas al parámetro y/o condición que se está monitorizando, que entonces pueden ser utilizados por el controlador de turbina 26 u otro dispositivo adecuado para determinar el parámetro y/o condición reales.

Así, en varias realizaciones de la presente materia de asunto, el aerogenerador 10 puede incluir uno o más sensores 46, 48 configurados para monitorizar la cantidad de par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de paso 28. Específicamente, en varias realizaciones, el aerogenerador 10 puede incluir uno o más sensores 46 configurados para transmitir señales al controlador de turbina 26 relacionados directamente con la cantidad de par generado por cada mecanismo de ajuste de paso 30. Por ejemplo, el sensor(es) 46 puede comprender uno o más sensores de par acoplados a una parte del motor de impulsión de paso 38, la caja de engranajes de paso 40 y/o el piñón de impulsión de paso 42 a fin de monitorizar el par generado por cada mecanismo de ajuste de paso 30. Como alternativa, el sensor(es) 46 puede comprender uno o más sensores adecuados configurados para transmitir señales al controlador de turbina 26 relacionado indirectamente con la cantidad de par generado por cada mecanismo de ajuste de paso 30. Por ejemplo, en realizaciones en las que el mecanismo de impulsión de paso 30 es impulsado eléctricamente, el sensor(es) 46 puede comprender uno o más sensores de corriente configurados para detectar la corriente eléctrica suministrada al motor de impulsión de paso 38 de cada mecanismo de ajuste de paso 30. De manera similar, en realizaciones en las que el mecanismo de ajuste de paso 30 es impulsado hidráulica o neumáticamente, el sensor(es) 42 puede comprender uno o más sensores de presión adecuados configurados para detectar la presión de la fluido dentro del dispositivo impulsado hidráulica o neumáticamente. En tales realizaciones, el controlador de turbina 26 puede incluir generalmente instrucciones adecuadas legibles por ordenador (p. ej., en forma de ecuaciones adecuadas, funciones de transferencia, modelos y/o algo semejante) que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para correlacionar la corriente introducida o la presión introducida con el par generado por cada mecanismo de ajuste de paso 30.

Además del sensor(es) 46 descrito anteriormente o como alternativa al mismo, el aerogenerador 10 también puede incluir uno o más sensores 48 configurados para monitorizar el par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 al monitorización la fuerza(s) presente en el apoyo de paso 44 (p. ej., la fuerza(s) presente en la interfaz entre el piñón de impulsión de paso 42 y el apoyo de paso 44). Por ejemplo, el sensor(es) 48 puede comprender uno o más sensores de presión y/o cualesquiera otros sensores adecuados configurados para transmitir señales relacionadas con la fuerzas presentes en el apoyo de paso 44. En este tipo de realización, similar a la descrita anteriormente, el controlador de turbina 26 puede incluir generalmente instrucciones adecuadas legibles por ordenador (p. ej., en forma de ecuaciones adecuadas, funciones de transferencia, modelos y similares) que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para correlacionar la fuerza(s) presente en el apoyo de paso 44 con el par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22.

Se debe apreciar que el aerogenerador 10 también puede incluir otros diversos sensores para monitorizar cualesquiera otros parámetros y/o condiciones adecuados del aerogenerador 10. Por ejemplo, el aerogenerador 10 puede incluir sensores para monitorizar el ángulo de paso de cada pala de rotor 22, cualesquiera momentos de flexión sobre las palas de rotor 22, la velocidad del rotor 18 y/o el árbol de rotor 32, la velocidad del generador 24 y/o el árbol de generador 34, el par en el árbol de rotor 32 y/o el árbol de generador 34, la velocidad del viento y/o dirección del viento y/o cualesquiera otros parámetros y/o condiciones adecuados.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se ilustra un diagrama de bloques de una realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador de turbina 26 según aspectos de la presente materia de asunto. Como se muestra, el controlador de turbina 26 puede incluir uno o más procesador(es) 50 y dispositivo(s) de memoria asociado 52 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas en ordenador (p. ej., realizar métodos, etapas, cálculos y similares descritos en esta memoria). Como se emplea en esta memoria, el término "procesador" se refiere no únicamente a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como que se incluyen en un ordenador, pero también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación, y otros circuitos programables.

Adicionalmente, el dispositivo(s) de memoria 52 puede comprender generalmente elemento(s) de memoria que incluye, pero sin limitación a esto, medio legible por ordenador (p. ej., memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador no-volátil (p. ej., 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 adecuados de memoria. Tal dispositivo(s) de memoria 52 generalmente se puede configurar para almacenar instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando son implementadas por el procesador(s) 50, configura el controlador de turbina 26 para realizar diversas funciones que incluyen, pero sin limitación a esto, transmitir señales de control adecuadas a uno o más de los mecanismos de ajuste de paso 30, monitorizar diversos parámetros y/o condiciones del aerogenerador 10 y otras diversas funciones adecuadas implementadas en ordenador.

Adicionalmente, el controlador de turbina 26 también puede incluir un módulo de comunicaciones 54 para facilitar comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes del aerogenerador 10. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 54 puede servir como interfaz para permitir al controlador de turbina 26 transmitir señales de control a cada mecanismo de ajuste de paso 30 para controlar el ángulo de paso de las palas de rotor 22. Además, el módulo de comunicaciones 54 puede incluir una interfaz de sensor 56 (p. ej., uno o más convertidores analógico a digital) para permitir convertir señales transmitidas desde los sensores 46, 48 del aerogenerador 10 en señales que pueden ser entendidas y procesadas por los procesadores 50.

Se debe apreciar que los sensores 46, 48 se pueden acoplar comunicativamente al módulo de comunicaciones 54 usando cualesquiera medios adecuados. Por ejemplo, como se muestra en la figura 3, cada sensor 46, 48 se acopla a la interfaz de sensor 56 por medio de una conexión cableada. Sin embargo, en otras realizaciones, los sensores 46, 48 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 56 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo adecuado de comunicaciones inalámbricas conocido en la técnica.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, se ilustra un diagrama de flujo de una realización de un método 100 para detectar hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador. Como se muestra, el método 100 generalmente incluye cambiar el paso de una pala de rotor en un intervalo de ángulos de paso 102, monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador conforme se cambia el paso de la pala de rotor 104 y comparar el parámetro relacionado con hielo monitorizado con un perfil de referencia predeterminado para el parámetro relacionado con hielo 106.

En general, el método descrito 100 proporciona una prueba simple y precisa para detectar acumulación de hielo sobre una pala de rotor 22. Específicamente, el método descrito 100 proporciona una prueba para detectar acumulación de hielo sobre una pala de rotor 22 mientras un aerogenerador 10 no está funcionando (es decir, cuando el rotor 18 no está rotando). Por ejemplo, como se ha indicado anteriormente, los aerogeneradores 10 a menudo se paran cuando se cree que se está acumulando hielo sobre una o más de las palas de rotor 22 a fin de impedir daño a las palas de rotor 22 y/o para disminuir la probabilidad de daño/lesiones que pueden ser provocados por hielo que cae desde las palas de rotor 22. Además, cuando se para un aerogenerador 10 debido a la creencia o presencia real de acumulaciones de hielo sobre una o más de las palas de rotor 22, el funcionamiento del aerogenerador 10 típicamente no se reinicia hasta que se ha verificado que ya no hay hielo presente sobre la pala(s) 22. Por consiguiente, el método descrito 100 puede permitir detectar la presencia de hielo rápidamente y con precisión, minimizando de ese modo el tiempo de parada del aerogenerador 10.

En varias realizaciones, se debe apreciar que el método descrito 100 puede ser realizado automáticamente por el controlador de turbina 26. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 puede estar provisto de instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para transmitir señales de control a los mecanismos de ajuste de paso 30 a fin de cambiar el paso de las palas de rotor 22 en un intervalo de ángulos de paso. Además, el controlador de turbina 26 se puede configurar para monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador 10 conforme se cambia el paso de cada pala de rotor 22 y, sobre la base del parámetro relacionado con hielo, determinar si se ha acumulado hielo sobre las palas 22. Por ejemplo, el controlador 26 se puede configurar para comparar el parámetro relacionado con hielo monitorizado con un perfil de referencia predeterminado para tal parámetro a fin de determinar si hay presente hielo sobre la pala(s) de rotor 22.

Como se muestra en la figura 4, en 102, se puede cambiar el paso de una o más de las palas de rotor 22 en un intervalo de ángulos de paso. Como se indica anteriormente, el método descrito 100 se diseña generalmente como prueba de detección de hielo no funcionando. Así, en varias realizaciones, el aerogenerador 10 se puede parar antes de cambiar el paso de la pala(s) de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso. Por ejemplo, inicialmente se puede cambiar el paso de cada una de las palas de rotor 22 a la posición de bandera (es decir, un ángulo de paso de 90 grados) a fin de parar la rotación del rotor 18 y, así, detener el funcionamiento del aerogenerador 10.

Al parar el aerogenerador 10, se puede cambiar el paso de las palas de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso usando los mecanismos de ajuste de paso 30 descritos anteriormente. En varias realizaciones, el controlador de turbina 26 se puede configurar para controlar los mecanismos de ajuste de paso 30 individualmente de manera que se cambia el paso de las palas de rotor 22 de uno en uno. Por ejemplo, el controlador 26 se puede adaptar para transmitir inicialmente señales de control adecuadas a uno de los mecanismos de ajuste de paso 30 de modo que únicamente se cambia el paso, en el intervalo de ángulos de paso, de la pala de rotor 22 controlada por tal mecanismo de ajuste de paso 30. Tras cambiar el paso de la pala de rotor 22 y devolverlo a la posición de bandera, el controlador 26 puede entonces transmitir señales de control adecuadas a uno de los otros mecanismos de ajuste de paso 30 de

modo que se cambia el paso de otra pala de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso. Al cambiar el paso de cada una de las palas de rotor 22 de esta manera, las palas de rotor 22 que no se están probando pueden ser mantenidas en la posición de bandera, impidiendo de ese modo que el rotor 18 rote.

En general, se puede cambiar el paso de cada pala de rotor 22 por cualquier intervalo adecuado de ángulos de paso durante la realización del método descrito 100. Como se describirá con mayor detalle más adelante, el cambio de paso de cada pala de rotor 22 se realiza generalmente de modo que se puede monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador 10 conforme se cambia el paso de la pala 22, proporcionando de ese modo una indicación de si se ha acumulado hielo sobre la pala 22. Así, se debe apreciar que el intervalo angular en el que se cambia el paso de cada pala de rotor 22 puede variar generalmente dependiendo de numerosos factores que incluyen, pero sin limitación a estos, la configuración de cada pala de rotor 22, la configuración del aerogenerador 10, el parámetro particular relacionado con hielo que se está monitorizando y/o la cantidad de datos necesarios en relación con el parámetro relacionado con hielo a fin de proporcionar una estimación precisa de si hay hielo presente sobre una pala de rotor 22. Sin embargo, en varias realizaciones, generalmente se puede cambiar el paso de cada pala de rotor 22 al menos 45 grados desde la posición de bandera, tal como al cambiar el paso de cada pala de rotor al menos 90 grados desde la posición de bandera o al menos 180 grados desde la posición de bandera y todos los otros subintervalos entre los mismos. Por ejemplo, en una realización, se puede cambiar el paso de cada pala de rotor 22 un total de aproximadamente 180 grados, tal como al cambiar el paso de cada pala de rotor 22 desde la posición de bandera a la posición de potencia y nuevamente a la posición de bandera. En otra realización, se puede cambiar el paso de cada pala de rotor 22 una revolución completa (es decir, 360 grados) en sentido horario o sentido antihorario alrededor del eje de paso 28.

Haciendo referencia todavía a la figura 4, en 104, se monitoriza un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador 10 conforme se cambia el paso de la pala de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso. Como se emplea en esta memoria, el término "parámetro relacionado con hielo" generalmente se refiere a cualquier parámetro y/o condición de un aerogenerador 10 que puede variar conforme se cambia el paso de una pala de rotor 22 dependiendo de si hay hielo presente sobre la pala 22. Por ejemplo, en varias realizaciones, el parámetro relacionado con hielo puede corresponder a la cantidad de par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso. Específicamente, como se ha indicado anteriormente, la acumulación de hielo sobre una pala de rotor 22 puede aumentar su peso y también puede alterar su distribución de masa. Así, el par requerido para cambiar el paso de una pala de rotor 22 que no tiene acumulación de hielo puede variar generalmente desde el par requerido para cambiar el paso de la misma pala de rotor 22 que tiene hielo acumulado sobre la misma.

Como se ha indicado anteriormente, el par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 puede ser monitorizado usando uno o más sensores adecuados 46, 48. Por ejemplo, el par generado por cada mecanismo de ajuste de paso 30 puede ser monitorizado directamente usando sensores de par adecuados o indirectamente usando otros diversos sensores adecuados (p. ej., sensores de corriente y/o sensores de presión configurados para monitorizar la corriente introducida y/o la presión introducida al mecanismo de ajuste de paso 30). Como alternativa, el par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor puede ser monitorizado al monitorizar la fuerza presente en el apoyo de paso 44 del aerogenerador 10.

En otras realizaciones, el parámetro relacionado con hielo puede corresponder a la cantidad de tiempo requerida para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso. Por ejemplo, en una realización, cada mecanismo de ajuste de paso 30 se puede configurar para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 con un par constante. Como tal, debido al aumento de peso y/o la distribución de masa variada provocada por acumulaciones de hielo, el tiempo requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 puede variar dependiendo de la presencia de hielo. En tales realizaciones, el controlador de turbina 26 se puede configurar generalmente para monitorizar el tiempo requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22. Por ejemplo, el controlador 26 puede estar provisto de instrucciones adecuadas legibles por ordenador y/o hardware digital adecuado (p. ej., un contador digital) que configura el controlador 26 para monitorizar la cantidad de tiempo transcurrida mientras se cambia el paso de cada pala 22 en el intervalo de ángulos de paso.

En incluso realizaciones adicionales, se debe apreciar que el parámetro relacionado con hielo puede corresponder a cualquier otro parámetro y/o condición adecuados del aerogenerador 10 que proporcione una indicación de la presencia de hielo sobre una pala de rotor 22. Por ejemplo, el parámetro relacionado con hielo puede corresponder a momentos de flexión y/u otras tensiones que actúan sobre la pala de rotor 22, ya que tales momentos de flexión y/u otras tensiones generalmente pueden variar debido al aumento de peso provocado por acumulaciones de hielo. En este tipo de realización, dentro de la pala de rotor 22 se puede instalar una o más galgas extensiométricas y/u otros sensores adecuados para permitir monitorizar tales momentos de flexión y/u otras tensiones.

Haciendo referencia todavía a la figura 4, en 106, el parámetro relacionado con hielo monitorizado puede ser comparado con un perfil de referencia predeterminado a fin de determinar si realmente hay hielo presente sobre la pala de rotor 22. En general, el perfil de referencia puede corresponder a un conjunto predeterminado de valores de referencia que son iguales a los valores anticipados o reales del parámetro relacionado con hielo que se está monitorizando suponiendo que no hay hielo presente sobre la pala de rotor 22 que se está cambiando de paso. Por ejemplo, cuando el parámetro relacionado con hielo corresponde a la cantidad de par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22, el perfil de referencia puede comprender un conjunto predeterminado de valores iguales a

la cantidad de par requerido para cambiar el paso de cada pala de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso cuando no hay hielo presente sobre la pala 22. Por consiguiente, variaciones desde el perfil de referencia pueden proporcionar generalmente una indicación de acumulaciones de hielo sobre la pala de rotor 22.

Se debe apreciar que el perfil de referencia para un parámetro particular relacionado con hielo puede variar generalmente del aerogenerador 10 a aerogenerador 10 y/o de pala de rotor 22 a pala de rotor 22. Así, en varias realizaciones, para cada pala de rotor 22 se pueden determinar perfiles de referencia individuales para el parámetro relacionado con hielo que se está monitorizando. En general, los perfiles de referencia para las palas de rotor 22 se pueden determinar usando cualesquiera medios y/o método adecuados conocidos en la técnica. Por ejemplo, en una realización, el perfil de referencia de cada pala de rotor 22 se puede determinar experimentalmente, tal como al cambiar el paso individualmente de cada pala de rotor 22 en el intervalo de ángulos de paso cuando se sabe que no hay hielo presente sobre la pala 22 y al monitorizar el parámetro relacionado con hielo de la pala 22 para establecer el perfil de referencia. En otra realización, el perfil de referencia para cada pala de rotor 22 puede ser modelado o determinado matemáticamente, tal como al calcular los perfiles de referencia sobre la base de, por ejemplo, la configuración de cada pala de rotor 22, las especificaciones de cada mecanismo de ajuste de paso 30 y/o la variación anticipada en el parámetro relacionado con hielo debido a presencia de hielo.

También se debe apreciar que, en varias realizaciones, el perfil de referencia establecido para una pala particular de rotor 22 puede ser actualizado continuamente. Específicamente, debido a desgaste y rotura de componentes de aerogenerador y otros factores, el perfil de referencia para una pala de rotor 22 puede variar con el tiempo. Por ejemplo, desgaste y rotura en uno de los apoyos de paso 44 pueden afectar significativamente al perfil de referencia para la correspondiente pala de rotor 22. Así, en varias realizaciones, el controlador de turbina 26 se puede configurar para ajustar continuamente el perfil de referencia para cada pala de rotor 22 sobre la base de desgaste de componente de turbina calculado y/o anticipado y/o cualesquiera otros factores que pueden provocar que el perfil de referencia varíe con el tiempo.

Haciendo referencia ahora a la figura 5, se ilustra un ejemplo de un perfil de par de referencia 110 para el par requerido para cambiar el paso de una pala de rotor 22 en un intervalo de ángulos de paso según aspectos de la presente materia de asunto. Específicamente, se hace un gráfico del perfil de par de referencia 110 para una pala de rotor 22 que no tiene acumulación de hielo para ángulos de paso que se extienden desde la posición de bandera a la posición de potencia y nuevamente a la posición de bandera. Así, conforme se cambia el paso de la pala de rotor 22 por tales ángulos de paso durante la realización del método descrito 100, el par requerido para cambiar el paso de la pala 22 puede ser comparado continuamente con el perfil de par de referencia 110 para determinar si se ha acumulado hielo sobre la pala de rotor 22.

Adicionalmente, en varias realizaciones, en el perfil de referencia 110 se pueden incorporar una tolerancia o variación porcentual predeterminados 112 para acomodar ligeras desviaciones que pueden resultar de imprecisiones de sensor, desgaste de componentes y/u otros factores que no están asociados con acumulaciones de hielo sobre una pala de rotor 22. Por ejemplo, como se muestra en la figura 5, entre el perfil de par de referencia 110 y la línea 114 se puede hacer una banda de un intervalo de valores de par para cada ángulo de paso que corresponden a una variación porcentual permisible 112 desde el perfil de par de referencia 110. Así, siempre que los valores de par monitorizados para la pala de rotor 22 permanezcan dentro del área definida entre el perfil de par de referencia 110 y la línea 114, se puede suponer que no hay hielo presente sobre la pala 22. Sin embargo, si cualquiera de los valores de par monitorizados cae fuera de la variación porcentual permisible 112, se puede suponer que se ha acumulado hielo sobre la pala de rotor 22 y se puede retardar el funcionamiento del aerogenerador 10 hasta que se ha determinado que ya no hay hielo presente sobre la pala 22. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 se puede configurar para esperar una cantidad de tiempo predeterminada y entonces volver a realizar el método descrito 10 a fin de determinar si el hielo previamente detectado se ha derretido o se ha retirado de otro modo de la pala de rotor 22.

Se debe apreciar que la variación porcentual permisible 112 desde el perfil de referencia 110 puede variar generalmente sobre la base de numerosos factores que incluyen, pero sin limitación a esto, la configuración de la pala de rotor, 22 la precisión de cualesquiera sensores 46, 48 que se están utilizando y/o el desgaste real y/o anticipado de cualesquiera componentes pertinentes de aerogenerador (p. ej., el apoyo de paso 44). Sin embargo, está muy dentro de las habilidades del experto en la técnica determinar una variación porcentual adecuada 112 para cada perfil de referencia 110 sobre la base de los factores descritos anteriormente y/o cualesquiera otros factores adecuados que pueden provocar variaciones en el perfil de referencia 110 y/o el parámetro relacionado con hielo que se está monitorizando. También se debe apreciar que la variación porcentual permisible 112 no tiene por qué corresponder únicamente a un aumento en la magnitud del par requerido para cambiar el paso de la pala 22 como se muestra en la figura 4. Por ejemplo, en otras realizaciones, la variación porcentual permisible 112 puede corresponder a una variación positiva/negativa en el perfil de par de referencia 110 o una disminución/aumento en la magnitud del par requerido para cambiar el paso de la pala 22.

Haciendo referencia ahora a la figura 6, un ejemplo de un perfil de tiempo de referencia 210 para la cantidad de tiempo requerida para cambiar el paso de una pala de rotor 22 en un intervalo de ángulos de paso a un par constante se ilustra según aspectos de la presente materia de asunto. Específicamente, se hace un gráfico del perfil de tiempo de referencia 210 para una pala de rotor 22 que no tiene acumulación de hielo para ángulos de paso que se extienden desde la posición de bandera a la posición de potencia y nuevamente a la posición de bandera. Así, conforme se

cambia el paso de la pala de rotor 22 por tales ángulos de paso durante la realización del método descrito 100, la cantidad de tiempo requerida para cambiar el paso de la pala 22 puede ser comparado continuamente con el perfil de tiempo de referencia 210 para determinar si se ha acumulado hielo sobre la pala de rotor 22.

5 Adicionalmente, similar a lo mostrado en la figura 5, en varias realizaciones, en el perfil de referencia 210 se puede incorporar una tolerancia o variación porcentual predeterminadas 212. Por ejemplo, como se muestra en la figura 6, entre el perfil de tiempo de referencia 210 y la línea 214 se puede hacer una banda de un intervalo de valores de tiempo para cada ángulo de paso que corresponden a una variación porcentual permisible 212 desde el perfil de tiempo de referencia 210. Así, siempre que los valores de tiempo monitorizados permanezcan dentro del área definida entre el perfil de tiempo de referencia 210 y la línea 214, se puede suponer que no hay hielo presente sobre la pala de rotor 22. Sin embargo, si cualquiera de los valores de tiempo monitorizados cae fuera de la variación porcentual permisible 212, se puede suponer que se ha acumulado hielo sobre la pala de rotor 22 y se puede retardar el funcionamiento del aerogenerador 10 hasta que se ha determinado que ya no hay hielo presente sobre la pala 22 (p. ej., al volver a realizar el método descrito 100 tras una cantidad de tiempo predeterminada).

15 Como se indica anteriormente, se debe apreciar que la presente materia de asunto también se dirige a un sistema para detectar hielo sobre una pala de rotor de aerogenerador 22. Así, en varias realizaciones, el sistema puede incluir generalmente un mecanismo de ajuste de paso 30 configurado para cambiar el paso de la pala de rotor 22 alrededor de su eje de paso 28 y uno o más sensores 46, 48 configurados para monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador 10 conforme se cambia el paso de la pala 22. Adicionalmente, el sistema puede incluir un controlador 26 acoplado comunicativamente al mecanismo de ajuste de paso 30 y el sensor(es) 46, 48. Como se ha descrito anteriormente, el controlador 26 se puede configurar para controlar el mecanismo de ajuste de paso 30 de modo que se cambia el paso de la pala de rotor 22 en un intervalo de ángulos de paso. Adicionalmente, el controlador 26 también se puede configurar para recibir señales del sensor(es) 46, 48 relacionadas con el parámetro relacionado con hielo que se está monitorizando y comparar tal parámetro monitorizado con un perfil de referencia predeterminado para determinar si hay hielo presente sobre la pala de rotor 22.

25 Esta descripción escrita usa ejemplos para describir la invención, que incluye el modo preferido, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluido fabricar y usar cualesquiera dispositivos o sistemas y realizar cualesquiera métodos incorporados. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se ocurrirán a los expertos en la técnica. Se pretende que otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren el lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método (100) para detectar hielo sobre una pala de rotor (22) de un aerogenerador (10), el método (100) comprende:

cambiar el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso;

5 monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22); y

comparar el parámetro relacionado con hielo monitorizado con un perfil de referencia predeterminado (110, 210) para el parámetro relacionado con hielo; caracterizado por:

10 monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22) comprende monitorizar una cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulos de paso.
2. El método (100) de la reivindicación 1, en donde cambiar el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso comprende cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulos de paso mientras el aerogenerador (10) no está funcionando.
- 15 3. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde cambiar el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso comprende cambiar el paso de la pala de rotor (22) desde una posición de bandera al menos 45 grados.
4. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde cambiar el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso comprende cambiar el paso de la pala de rotor (22) desde una posición de bandera a
20 una posición de potencia.
5. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde monitorizar una cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulo de paso comprende:

monitorizar una corriente introducida a un mecanismo de ajuste de paso (30) del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22); y

25 correlacionar la corriente introducida con la cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22).
6. El método (100) de la reivindicación 5, en donde monitorizar una corriente introducida a un mecanismo de ajuste de paso (30) del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22) comprende que un controlador (26) recibe una señal asociada con la corriente introducida al mecanismo de ajuste de paso (30).
- 30 7. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde monitorizar una cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulo de paso comprende:

monitorizar una presión introducida a un mecanismo de ajuste de paso (30) del aerogenerador (10) conforme de cambia el paso de la pala de rotor (22); y

35 correlacionar la presión introducida con la cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22).
8. El método (100) de la reivindicación 7, en donde monitorizar una presión introducida a un mecanismo de ajuste de paso (30) del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22) comprende que un controlador (26) recibe una señal asociada con la presión introducida al mecanismo de ajuste de paso (30).
9. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde monitorizar una cantidad de par requerido para
40 cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulo de paso comprende:

monitorizar una fuerza presente en un apoyo de paso (44) de la pala de rotor (22) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22); y

correlacionar la fuerza con la cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22).
10. El método (100) de la reivindicación 9, en donde monitorizar una fuerza presente en un apoyo de paso (44)
45 de la pala de rotor (22) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22) comprende que un controlador (26) reciba una señal asociada con la fuerza presente en el apoyo de paso (44).

11. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde cambiar el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso comprende cambiar el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso con un par constante.
- 5 12. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22) comprende monitorizar una cantidad de tiempo que se tarda para cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulos de paso (102).
- 10 13. El método (100) de cualquier reivindicación anterior, en donde comparar el parámetro relacionado con hielo monitorizado (106) con un perfil de referencia predeterminado (110, 210) para el parámetro relacionado con hielo comprende determinar si el parámetro relacionado con hielo cae dentro de una variación porcentual (112, 212) del perfil de referencia predeterminado (110, 210).
14. Un sistema para detectar hielo sobre una pala de rotor (22) de un aerogenerador (10), el sistema comprende:
un mecanismo de ajuste de paso (30) configurado para cambiar el paso de la pala de rotor (22);
un sensor (46, 48) configurado para monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22); y
15 un controlador (26) acoplado comunicativamente al mecanismo de ajuste de paso (30) y el sensor (46, 48), el controlador (26) se configura para controlar el mecanismo de ajuste de paso (30) de modo que se cambia el paso de la pala de rotor (22) en un intervalo de ángulos de paso, el controlador (26) además se configura para recibir señales del sensor (46, 48) relacionadas con el parámetro relacionado con hielo y comparar el parámetro relacionado con hielo con un perfil de referencia predeterminado (110, 210) para determinar si hay
20 hielo presente sobre la pala de rotor (22); caracterizado por:
monitorizar un parámetro relacionado con hielo del aerogenerador (10) conforme se cambia el paso de la pala de rotor (22) comprende monitorizar una cantidad de par requerido para cambiar el paso de la pala de rotor (22) en el intervalo de ángulos de paso.

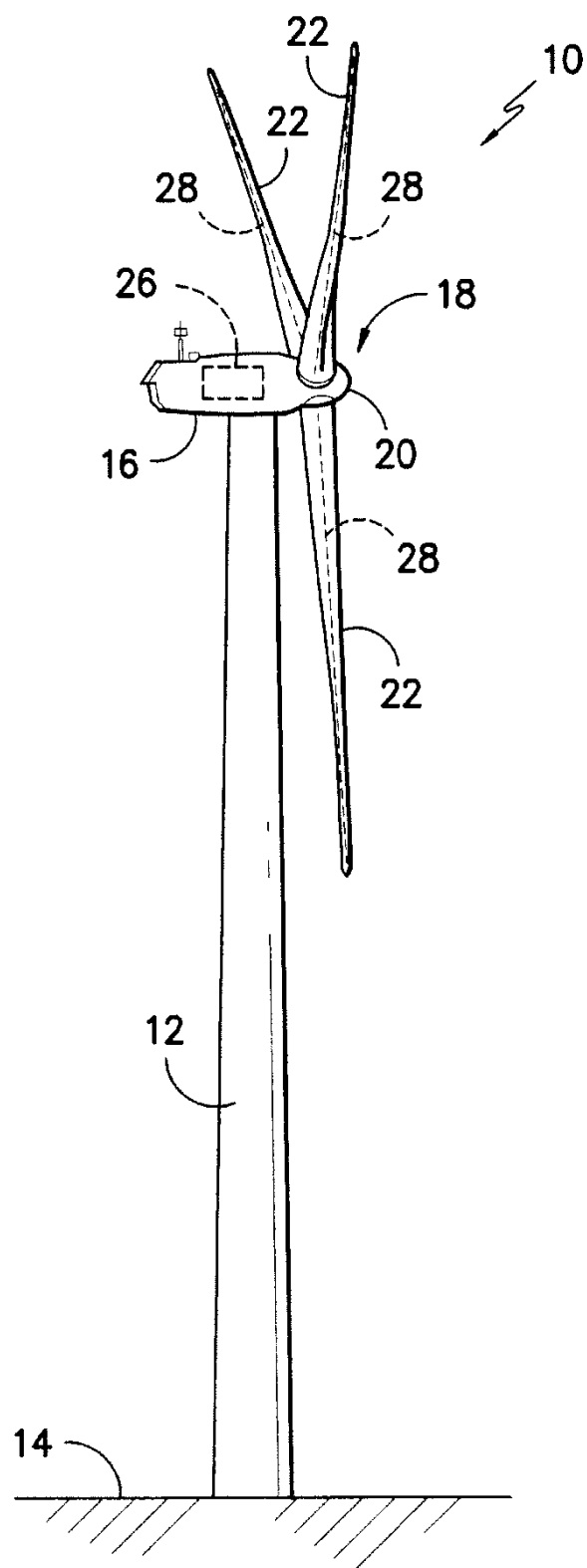
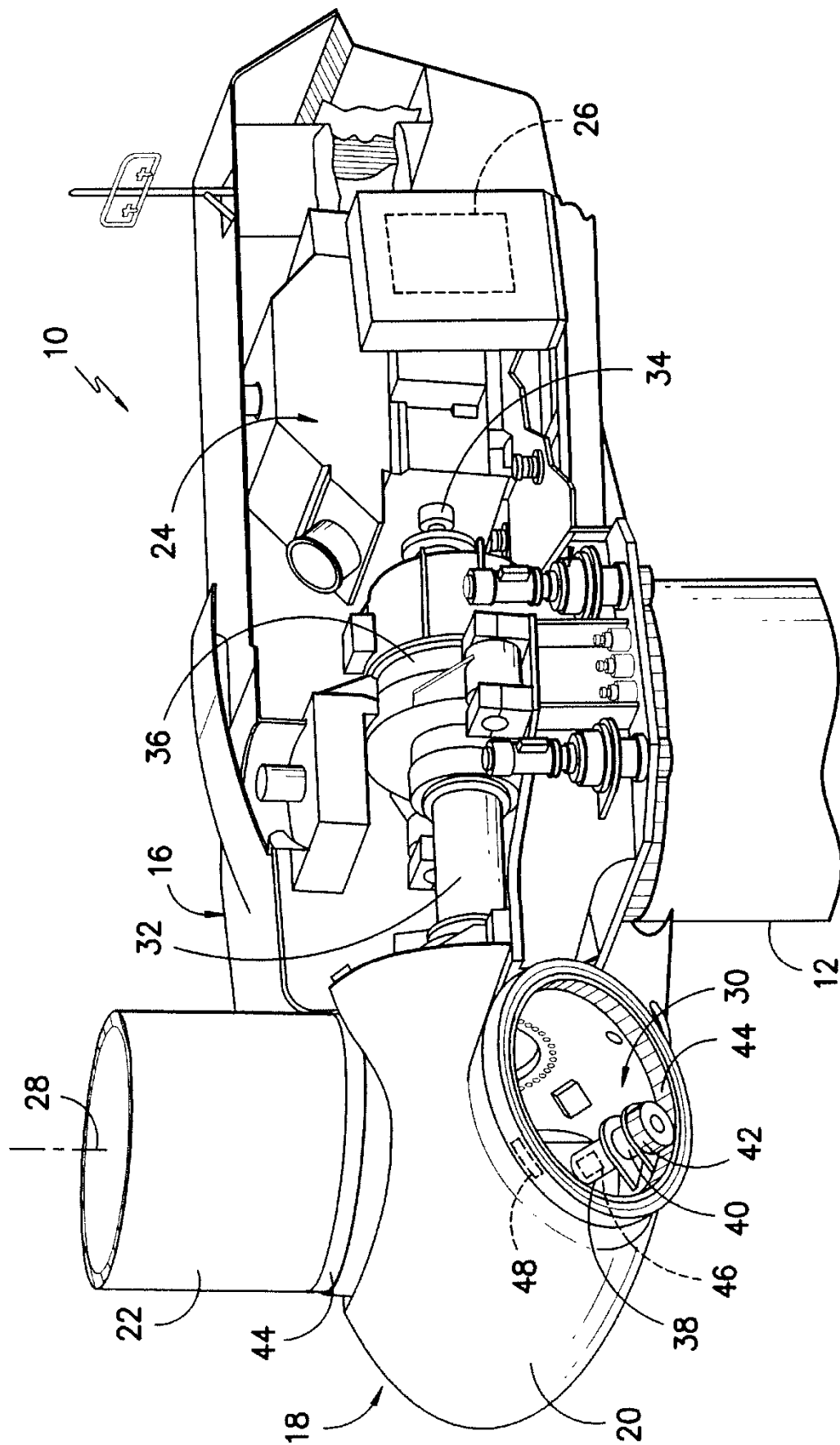


FIG. -1-



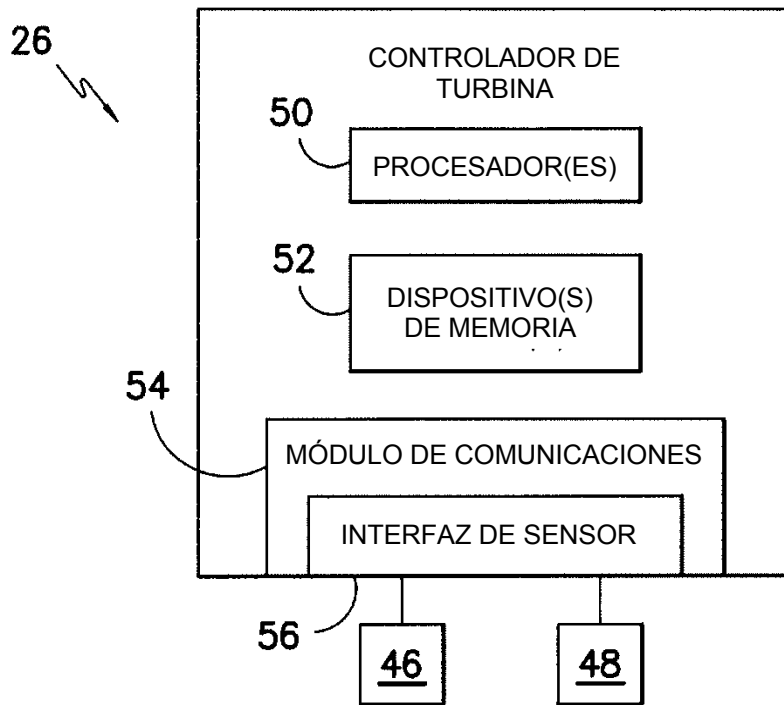


FIG. -3-

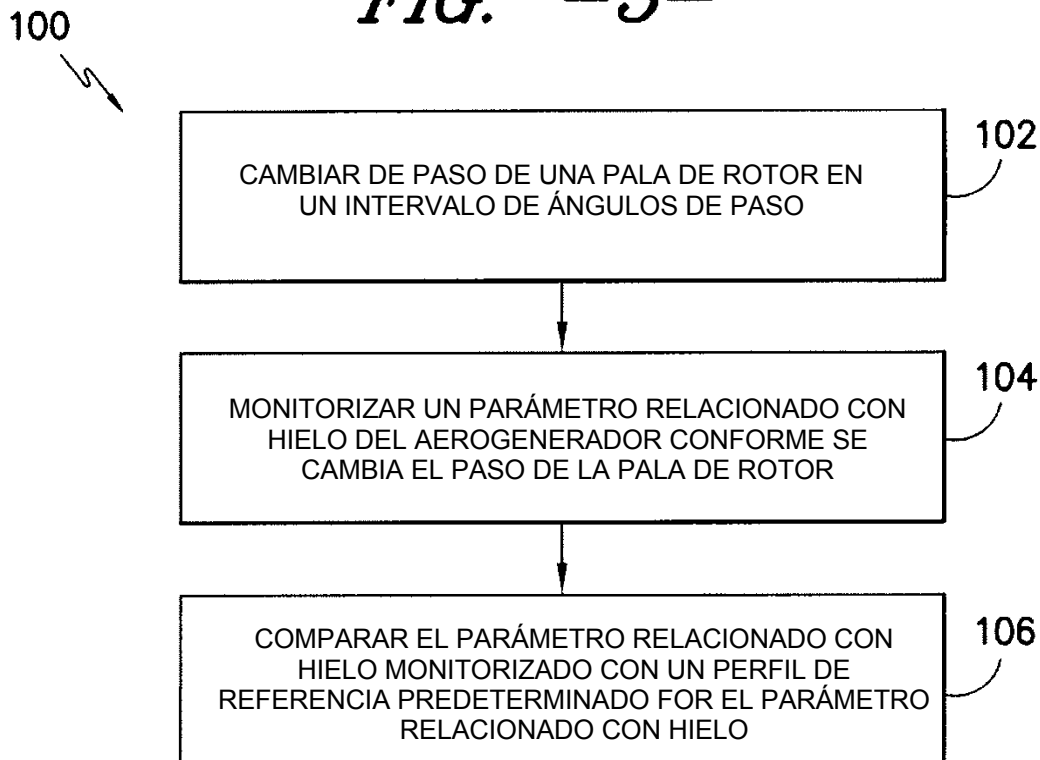


FIG. -4-

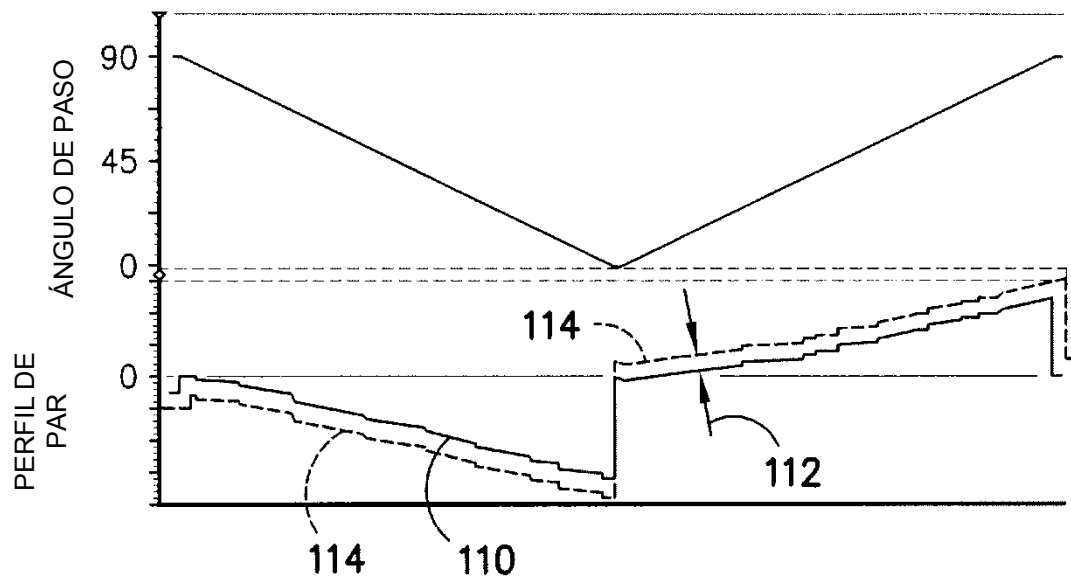


FIG. -5-

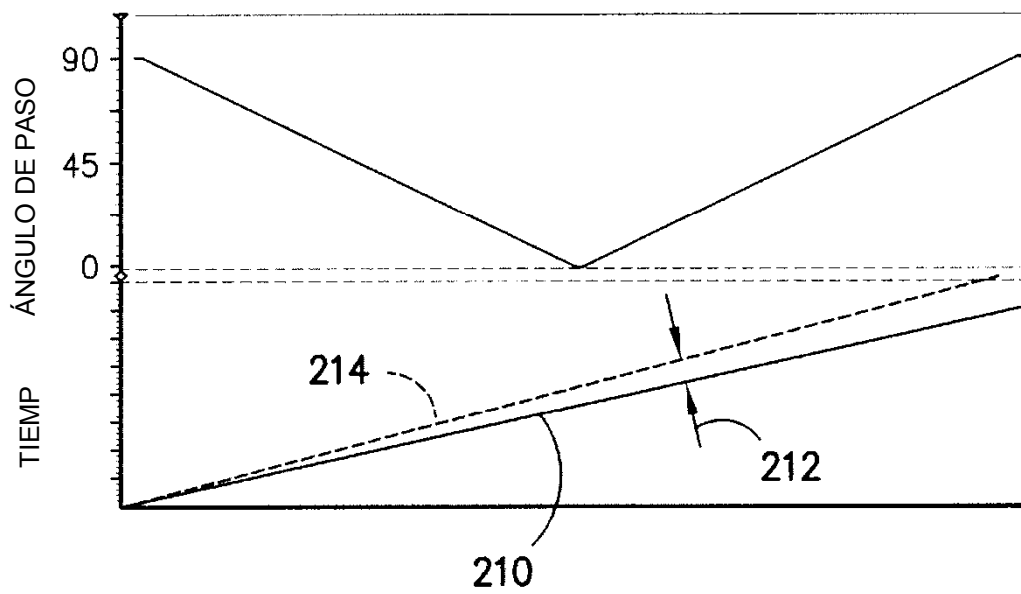


FIG. -6-