

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 930**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2012** **E 12172433 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018** **EP 2538074**

54 Título: **Procedimiento y sistema para operar una turbina eólica**

30 Prioridad:

23.06.2011 US 201113167332

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

22.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BOERLAGE MATTHIJS LEONARDUS GERARDUS y
KAMMER, LEONARDO CESAR**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 686 930 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

Procedimiento y sistema para operar una turbina eólica

5 Diversas realizaciones presentadas en el presente documento se refieren, en general, a una turbina eólica y, de manera más específica, se refieren a un sistema y a un procedimiento para proteger una turbina eólica contra condiciones de carga extrema.

10 Una turbina eólica normalmente incluye un conjunto de dos o más palas de turbina y una góndola montadas sobre una estructura de torre. La turbina eólica está configurada para explotar la potencia del viento en movimiento y convertirla en la energía cinética de las palas de turbina rotatoria. La turbina eólica también está equipada con un mecanismo de transmisión de par para transmitir un par desde las palas de turbina rotatoria hasta un generador. El generador convierte el par transmitido en energía eléctrica. La energía eléctrica generada normalmente se suministra a una red eléctrica. Los convertidores electrónicos de potencia pueden usarse para suministrar la potencia en una forma compatible con la red eléctrica. El generador y el sistema de control pueden instalarse en la góndola de la turbina eólica. Como alternativa, el sistema de control puede instalarse de manera remota desde la góndola. Una función principal del sistema de control consiste en controlar la operación de la turbina eólica y en optimizar la generación de potencia desde la misma.

15 Las turbinas eólicas dependen del viento para su operación y rinden de manera óptima a velocidades de viento particulares. Las velocidades de viento inferiores a un valor umbral pueden dar lugar a una generación de potencia muy baja. Las velocidades de viento superiores al valor umbral pueden dar lugar a un esfuerzo y una carga excesivos en las palas de turbina y, como resultado, pueden dañar las palas de turbina. El daño a la pala de turbina no solo aumenta el coste de producción de potencia, sino que también disminuye la cantidad de potencia aprovechada desde la turbina eólica. El daño causado a las palas de turbina puede dar lugar a un tiempo de inactividad significativo y puede reducir el potencial de generación de potencia de la turbina eólica.

20 Generalmente, la operación de las turbinas eólicas puede suspenderse durante condiciones de carga extrema que surgen de una velocidad de viento alta, véanse, por ejemplo, los documentos EP 0 995 904, EP 1 870 596 y EP 2 112 373. Aunque esto evita daños en la pala de turbina, tal estrategia es incapaz de evitar el tiempo de inactividad que surge de la detención de la turbina eólica.

25 Existe una necesidad continuada de un sistema que no solo proteja la turbina eólica durante condiciones de carga extrema, sino que también mantenga cierta continuidad de generación de potencia.

En consecuencia, se proporciona la presente invención, tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas.

30 Una o más realizaciones pueden ofrecer beneficios técnicos tales como continuidad de generación de potencia, protección frente a una condición de sobrecarga que surja de las velocidades de viento altas y un procedimiento para operar la turbina eólica en un modo seguro particularmente durante condiciones de sobrecarga, evitando, por lo tanto, daños en las palas de turbina a la vez que se mantiene la continuidad de generación de potencia.

35 Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que los caracteres iguales representan partes iguales a lo largo de los dibujos, en los que:

la FIG. 1 ilustra un sistema ejemplar de acuerdo con una realización;

la FIG. 2 ilustra un diagrama de bloques de un sistema ejemplar para operar una turbina eólica, de acuerdo con una realización;

40 la FIG. 3 es una gráfica que ilustra una variación de valores de esfuerzo de flexión, valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo y valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto con respecto al tiempo;

la FIG. 4 es una gráfica que ilustra una variación de un indicador de escenario de carga y un umbral de carga con respecto al tiempo; y

45 la FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento para operar la turbina eólica; de acuerdo con una realización.

Las realizaciones presentadas en el presente documento incluyen un sistema, un procedimiento y un producto de programa informático para proteger una turbina eólica en condiciones de carga extrema. Un sistema 100 de acuerdo con una realización se ilustra en la FIG. 1. El sistema 100 incluye una turbina eólica 102. La turbina eólica 102 normalmente incluye una torre 104 sobre la que se monta un conjunto de palas 106 de turbina. Las palas 106 de turbina están acopladas a un generador eléctrico 108 de aquí en adelante en el presente documento generador 108 de turbina bien directamente o bien a través de un mecanismo de transmisión de par tal como un tren de engranajes 110. Las palas 106 de turbina capturan una energía cinética del viento que fluye y convierten la energía cinética en el movimiento rotatorio de un árbol 112 de rotor que está acoplado al generador 108 de turbina. El generador 108 de turbina recibe potencia desde el árbol 112 de rotor y la convierte en energía eléctrica. La energía eléctrica generada

se suministra a una red de suministro a través de una serie de convertidores electrónicos de potencia (no mostrados). En algunos ejemplos, los convertidores de potencia pueden ayudar a controlar la generación de potencia y la operación de la turbina eólica 102. El sistema 100 comprende, además, un sistema 114 para operar la turbina eólica 102. El sistema 114 está acoplado a la turbina eólica 102. El sistema 114 está descrito en detalle en conexión con la FIG. 2.

Las turbinas eólicas pueden estar sometidas a velocidades de viento altas tanto de vientos altos sostenidos como de ráfagas de viento excesivo. Las velocidades de viento altas pueden causar una carga de esfuerzo excesiva en las palas 106 de turbina que puede dañar en última instancia las palas 106 de turbina. En una realización, el sistema 114 descrito en el presente documento protege la turbina eólica 102 en condiciones de carga elevada operando la turbina eólica 102 en un "modo seguro" de operación que permite cierta operación continuada de generación eléctrica.

La FIG. 2 representa un diagrama de bloques del sistema ejemplar 114 para operar una turbina eólica 102. En referencia a la FIG. 1 y a la FIG. 2, el sistema 114 incluye un módulo 204 de sensor para detectar uno o más parámetros asociados con la operación de la turbina eólica 102. Los parámetros detectados por el módulo 204 de sensor pueden incluir el par en el árbol de rotor, la potencia generada por la turbina eólica 102, la velocidad de rotación de la turbina eólica 102, los valores de esfuerzo de flexión del árbol 112 de rotor, la dirección del viento, la velocidad del viento, el voltaje de salida y la corriente de salida del generador 108 de turbina, el ángulo de cabeceo de las palas 106 de turbina, la velocidad de rotación del generador 108 de turbina, una guiñada de la turbina eólica 102 y similares. Cabe destacar que el módulo 204 de sensor puede detectar un conjunto de puntos de datos de operación, en el que un punto de datos puede tener valores medidos de uno o más parámetros mencionados anteriormente. En una realización, el conjunto de puntos de datos de operación puede obtenerse a intervalos de tiempo predeterminados sobre una ventana temporal. De acuerdo con un ejemplo, el conjunto de puntos de datos puede obtenerse cada 0,1 segundos para una ventana temporal de 5 segundos. Debe apreciarse que el número de puntos de datos, el tiempo de intervalo y la ventana temporal pueden establecerse de acuerdo con los criterios de diseño y aplicación.

El módulo 204 de sensor en una realización incluye una pluralidad de sensores para medir el conjunto de puntos de datos de operación asociados con la operación de la turbina eólica 102. En una realización, el módulo 204 de sensor puede incluir un sensor de proximidad para medir los valores de esfuerzo de flexión del árbol 112 de rotor. El módulo 204 de sensor puede tener, además, sensores para medir la potencia generada por la turbina eólica 102, el par en el árbol 112 de rotor, la velocidad del viento, la dirección del viento, la velocidad de rotación de la turbina eólica 102, el voltaje de salida y la corriente de salida del generador 108 de turbina, la velocidad de rotación de la turbina eólica 102, la potencia generada y similares. El conjunto de parámetros de operación puede resultar útil a la hora de estimar un "valor de indicador de escenario de carga" de la turbina eólica 102. Un indicador de escenario de carga, de conformidad con una realización es la medida de una carga pulsante de alta frecuencia a la que están sometidas las palas 106 de turbina.

Un valor de indicador de escenario de carga correspondiente a la operación de la turbina eólica 102 puede estimarse mediante un estimador 206 de escenario de carga. En una realización, el estimador 206 de escenario de carga computa un valor de indicador de escenario de carga basándose en los valores de esfuerzo de flexión obtenidos desde el módulo 204 de sensor. Cada punto de datos del conjunto de puntos de datos de operación incluye un valor de esfuerzo de flexión en el árbol 112 de rotor. El valor de esfuerzo de flexión corresponde al esfuerzo de flexión al que está sometido el árbol 112 de rotor debido a desequilibrios aerodinámicos en las palas 106 de turbina. De este modo, medir el esfuerzo de flexión en el árbol 112 de rotor puede ser indicativo de la carga aerodinámica de las palas 106 de turbina. En una realización, los valores de esfuerzo de flexión se obtienen a intervalos de tiempo predeterminados sobre la ventana temporal fija.

En un ejemplo, el estimador 206 de escenario de carga incluye filtros tales como un filtro 208 paso bajo y un filtro 210 paso alto. Los valores de esfuerzo de flexión obtenidos se pasan tanto a través del filtro 210 paso alto como del filtro 208 paso bajo para obtener un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto y un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo, respectivamente. El funcionamiento del filtro 208 paso bajo y el filtro 210 paso alto se explica en mayor detalle en el presente documento.

En este ejemplo, la salida tanto del filtro 210 paso alto para valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto como la salida del filtro 208 paso bajo para valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo se suministran a un sustractor 212. El sustractor 212 computa el valor 214 de indicador de escenario de carga computando la diferencia entre la salida del filtro 210 paso alto y el filtro 208 paso bajo. Cabe destacar que el valor 214 de indicador de escenario de carga se computa correspondiente a uno o más valores de esfuerzo de flexión obtenidos desde el módulo 204 de sensor. La magnitud del valor 214 de indicador de escenario de carga proporciona una estimación de una carga pulsante de alta frecuencia en las palas de turbina. La magnitud del indicador 206 de escenario de carga es la diferencia entre el conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto y el conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo. Tal y como se ha destacado en el presente documento, el esfuerzo de flexión del árbol 112 de rotor normalmente es indicativo de la carga aerodinámica de las palas 106 de turbina. En un ejemplo, la magnitud del indicador 206 de escenario de carga indica la carga pulsante de alta frecuencia en las palas de turbina.

Cabe destacar que el valor 214 de indicador de escenario de carga proporciona una estimación de la carga pulsante de alta frecuencia en las palas 106 de turbina y puede obtenerse mediante un modelo estadístico de la turbina eólica 102. Tales modelos pueden incluir modelos basados en el filtro de Kalman, modelos bayesianos y similares.

5 El sistema 114 incluye, además, un estimador 216 de umbral de carga. El estimador 216 de umbral de carga estima un "valor 218 umbral de carga" basándose en la condición de operación de la turbina eólica 102. El "valor 218 umbral de carga" es indicativo del límite superior de carga pulsante de alta frecuencia que las palas de turbina pueden resistir sin dañarse. El valor 218 umbral de carga también puede depender de las propiedades elásticas del material de la turbina eólica, de la velocidad del viento y del error de guiñada. Debe destacarse en el presente documento que el error de guiñada se refiere a una diferencia angular relativa entre la dirección del viento y la orientación de la góndola.

10 En una realización, el valor 218 umbral de carga puede obtenerse basándose en el error de guiñada y la velocidad del viento. Tal y como se ha destacado en el presente documento, el esfuerzo de flexión en el árbol de rotor puede depender de la velocidad del viento y del error de guiñada. Por ejemplo, las velocidades de viento altas pueden imponer un esfuerzo de flexión más alta que las velocidades de viento bajas. También, los vientos que inciden de manera normal en las palas de turbina pueden causar una carga más alta que los vientos que inciden de manera oblicua en las palas de turbina. En una realización, el sistema 114 puede almacenar una tabla de consulta que consiste en valores umbral de carga para varias velocidades de viento y varios errores de guiñada. En otras palabras, la tabla de consulta incluye un único valor umbral de carga de una velocidad de viento y un error de guiñada dados. Cada entrada en la tabla de consulta puede estimarse basándose en las propiedades elásticas del material de la pala de turbina. El estimador 216 de umbral de carga puede obtener el valor 218 umbral de carga correspondiente a la velocidad del viento y al error de guiñada. En una realización alternativa, el valor 218 umbral de carga puede obtenerse dinámicamente basándose en la velocidad del viento, el error de guiñada y las propiedades elásticas del material de la pala de turbina. Cabe destacar, además, que el valor 218 umbral de carga se obtiene basándose en las velocidades de viento obtenidas sobre un intervalo de tiempo finito. De este modo, el valor 218 umbral de carga representa el umbral de carga para una velocidad de viento media sobre el intervalo de tiempo finito. De este modo, el valor 218 umbral de carga obtenido normalmente no se verá afectado por ráfagas momentáneas y reflejará únicamente vientos sostenidos. En una realización, el intervalo de tiempo finito puede ser aproximadamente de 5 segundos. En una realización alternativa, el intervalo de tiempo finito puede variar entre 5-20 segundos.

30 El sistema 114 puede incluir, además, un módulo 220 de protección. El módulo 220 de protección incluye un comparador 222 configurado para comparar el valor 214 de indicador de escenario de carga con el valor 218 umbral de carga. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el valor 214 de indicador de escenario de carga es la medida de la carga pulsante de alta frecuencia y el valor 218 umbral de carga es la medida del límite superior de la carga pulsante de alta frecuencia. Si el valor 214 de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor 218 umbral de carga, puede inferirse que la turbina eólica 102 puede cargarse más allá de un límite de seguridad.

40 Cuando el valor 214 de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor 218 umbral de carga, el comparador 222 puede enviar una señal a un sistema 224 de control de turbina eólica indicando la presencia de una condición de sobrecarga. El sistema 224 de control de turbina eólica está configurado para controlar la operación de la turbina eólica 102. El control de la operación puede incluir, pero sin limitación, controlar la guiñada de la turbina eólica 102, el cabeceo de las palas de turbina, controlar los convertidores electrónicos de potencia conectados al generador de turbina para controlar la potencia generada por la turbina eólica 102, la velocidad de rotación y el par de la turbina eólica 102.

45 En una realización, el módulo 220 de protección proporciona la indicación de una sobrecarga que acciona el sistema 224 de control de turbina eólica para operar la turbina eólica 102 en un modo seguro. El modo seguro de operación incluye operar la turbina eólica 102 de manera que el valor 214 de indicador de escenario de carga sea, en un ejemplo, más bajo que el valor 218 umbral de carga. En una realización, el sistema 224 de control de turbina eólica puede cambiar, por ejemplo, el ángulo de cabeceo de las palas de turbina. En una realización alternativa, el sistema 224 de control de turbina eólica puede cambiar la guiñada de la turbina eólica 102. Como alternativa, el sistema 224 de control de turbina eólica puede controlar los convertidores electrónicos de potencia conectados al generador de turbina para controlar al menos uno de la potencia generada por la turbina eólica 102, la velocidad de rotación y el par de la turbina eólica 102. En otra realización, una combinación de uno o más de los parámetros anteriores puede cambiarse.

55 Los expertos en la técnica pueden apreciar que el sistema 114 mostrado en la FIG. 1 es una realización ejemplar y que pueden concebirse otras realizaciones con diferentes configuraciones. Por ejemplo, en una realización, el sistema 224 de control de turbina eólica puede fusionarse con el módulo 220 de protección. En tal realización, el módulo 220 de protección también puede controlar la operación de la turbina eólica 102 aparte de realizar la función descrita en conexión con la FIG. 2. También cabe destacar que el sistema 114 puede incluir componentes de *hardware* (no mostrados) que pueden permitir que el sistema opere de una manera predefinida. Tales componentes de *hardware* pueden incluir, por ejemplo, uno o más procesadores, una pantalla, un dispositivo de almacenamiento que incluye una RAM, una ROM o cualesquiera otros medios de almacenamiento, fuentes de alimentación en modo conmutado, otros convertidores de potencia y similares.

La FIG. 3 es un gráfico que ilustra una variación de valores de esfuerzo de flexión (en Newton-metro) representada en el eje Y con respecto al tiempo (en segundos) representado en el eje X. La FIG. 3 incluye tres curvas 302, 304 y 306. La curva 302 es la representación gráfica de los valores de esfuerzo de flexión medidos con respecto al tiempo. En otras palabras, la curva 302 es la representación gráfica del esfuerzo de flexión real con respecto al tiempo. Estos valores de esfuerzo de flexión pueden obtenerse desde el módulo de sensor de la FIG. 1. La FIG. 3 incluye, además, la curva 304 que muestra el tramo del conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo con respecto al tiempo. El conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo puede obtenerse pasando los valores de esfuerzo de flexión a través del filtro paso bajo. Puede observarse que la curva 304 es más suave que la curva 302 ya que los componentes de alta frecuencia en la curva 304 se han filtrado con el filtro del filtro paso bajo. La FIG. 3 incluye, además, la curva 306 que es una representación gráfica del conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto con respecto al tiempo. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto se obtiene pasando los valores de esfuerzo de flexión obtenidos desde el módulo de sensor a través del filtro paso alto. Puede observarse que la curva 306 coincide en gran medida con la curva 302 mostrando que los componentes de alta frecuencia están retenidos mientras que los valores de esfuerzo de flexión pasan a través del filtro paso alto.

Cabe destacar que las representaciones gráficas mostradas en la FIG. 3 son con fines ilustrativos y no limitan el ámbito de las enseñanzas presentadas en el presente documento. Las realizaciones presentadas en el presente documento pueden operar sin generar las representaciones gráficas mostradas en la FIG. 3.

La comparación del valor de indicador de escenario de carga con el valor umbral de carga se ilustra en la FIG. 4. La FIG. 4 ilustra las curvas 402 y 404. La curva 402 ilustra la variación del valor de indicador de escenario de carga con el tiempo. La curva 404 ilustra la variación del valor umbral de carga con el tiempo. Aunque la FIG. 4 ilustra que el valor umbral de carga se mantiene sustancialmente constante, cabe destacar en el presente documento que en algunas realizaciones no existe ningún requisito en cuanto a que el valor umbral de carga se mantenga constante. En algunas realizaciones, el valor umbral de carga puede variar en función de la velocidad del viento y del error de guiñada. En el punto 406 de la FIG. 4, el valor de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor de carga. Por ello, el punto 406 de la FIG. 4 es indicativo de que la turbina eólica está cargada más allá del límite de seguridad. Cabría destacar de nuevo que las curvas de la FIG. 4 son meramente con fines ilustrativos y las realizaciones presentadas en el presente documento pueden operar sin generar dichas curvas.

La FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 500 para operar la turbina eólica de acuerdo con una realización. El procedimiento 500 incluye la etapa 502 para obtener el conjunto de puntos de datos de operación desde el módulo de sensor. Tal y como se ha mencionado antes, el conjunto de puntos de datos puede medirse a intervalos predeterminados de tiempo sobre una ventana temporal fija. Cada punto del conjunto de puntos de datos de operación puede incluir valores tales como el par en el árbol de rotor, la potencia generada por la turbina eólica, la velocidad de rotación de la turbina eólica, los valores de esfuerzo de flexión en el árbol de rotor, la dirección del viento, la velocidad del viento, el voltaje de salida y la corriente de salida del generador de turbina y similares.

En la etapa 504 del procedimiento 500, se obtiene el conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto correspondiente a los valores de esfuerzo de flexión medidos. El conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto se obtiene aplicando el filtro paso alto a los valores de esfuerzo de flexión medidos. En la etapa 506, un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo se obtiene a partir de los valores de esfuerzo de flexión medidos correspondientes a través del filtro paso bajo. En una realización, al menos uno del filtro paso alto y el filtro paso bajo es un filtro medio en movimiento. En un ejemplo, una ventana temporal del filtro paso bajo varía entre 0,5 - 3 segundos. Además, el tiempo del filtro paso alto varía entre 2,5 - 15 segundos.

En la etapa 508, las salidas del filtro paso bajo y el filtro paso alto se sustraen para obtener el valor de indicador de escenario de carga. La etapa 508 puede ser ejecutada por el sustractor. Tal y como se ha mencionado antes, el valor de indicador de escenario de carga es la medida de la carga pulsante de alta frecuencia en las palas de turbina. Los valores extremos de la carga pulsante de alta frecuencia pueden dañar las palas de turbina.

En la etapa 510, se computa el valor umbral de carga. El valor umbral de carga puede computarse basándose en las velocidades del viento y el error de guiñada. El valor umbral de carga es el indicador del límite superior de cargas pulsantes que las palas de turbina pueden soportar con seguridad. En la etapa 512, el valor umbral de carga se compara con el valor de indicador de escenario de carga, para comprobar si la carga de esfuerzo de flexión en las palas de turbina se encuentra dentro de los límites permisibles. Cabe destacar en el presente documento que el valor de indicador de escenario de carga en una realización se obtiene a partir de los valores de esfuerzo de flexión en el árbol de rotor. Sin embargo, el valor de indicador de escenario de carga también puede ser indicativo de la carga en las palas de turbina de la turbina eólica.

La etapa 514 del procedimiento 500 se ejecuta únicamente si se detecta una condición de sobrecarga. La condición de sobrecarga se refiere a una condición en la que el valor de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor umbral de carga. En la etapa 514, al menos un parámetro de operación de la turbina eólica se controla para reducir el valor de indicador de escenario de carga por debajo del valor umbral de carga. El parámetro de operación puede incluir el ángulo de cabeceo de las palas de turbina, la guiñada de la turbina eólica o similares. También pueden controlarse otros parámetros tales como el par en el árbol de rotor, la potencia generada por la turbina eólica. El

control del al menos un parámetro de operación de la turbina eólica en un ejemplo surte efecto en el valor de indicador de escenario de carga reduciéndolo por debajo del valor umbral de carga.

5 En varias realizaciones expuestas en el presente documento, el sistema 114 para operar la turbina eólica 102 puede implementarse como programa informático. Las instrucciones legibles por ordenador pueden realizarse en un medio legible por ordenador no transitorio tal como un disco de almacenamiento magnético, un disco de almacenamiento óptico y demás. Como alternativa, el medio legible por ordenador puede ser uno de una memoria de acceso aleatorio (RAM, por sus siglas en inglés), una memoria de solo lectura (ROM, por sus siglas en inglés), una memoria programable de solo lectura (PROM, por sus siglas en inglés), una memoria programable borrrable de solo lectura (EPROM, por sus siglas en inglés) y similares. Las instrucciones codificadas del producto de programa informático
10 pueden incluir instrucciones para obtener el conjunto de puntos de datos de operación y valores de esfuerzo de flexión del árbol de rotor desde el módulo 204 de sensor, computar el valor 214 de indicador de escenario de carga basándose en los valores de esfuerzo de flexión, operar el filtro 208 paso bajo y el filtro 210 paso alto y el sustractor 212. El programa informático puede tener, además, instrucciones para obtener el valor 218 umbral de carga bien almacenado en un dispositivo de almacenamiento o bien computándolo en tiempo real basándose en las propiedades del material de las palas 106 de turbina, la velocidad del viento y el error de guiñada. También pueden
15 incluirse instrucciones para operar la turbina eólica 102 en un modo seguro. El modo seguro incluye una condición en la que el valor 214 de indicador de escenario de carga es más bajo que el valor 218 umbral de carga. En una condición, en la que el valor 214 de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor 218 umbral de carga, el programa informático puede tener instrucciones para reducir el valor 214 de indicador de escenario de carga cambiando al menos un parámetro de operación de la turbina eólica 102. Las realizaciones presentadas en el presente documento proporcionan un procedimiento para operar la turbina eólica 102 de manera que las palas de la turbina eólica estén protegidas de una condición de sobrecarga derivada de unas velocidades de viento altas. Las realizaciones presentadas en el presente documento proporcionan un procedimiento para operar la turbina eólica 102 en un modo seguro, particularmente durante condiciones de sobrecarga, evitando, por lo tanto, daños en las
20 palas 106 de turbina y manteniendo también la continuidad de generación de potencia.
25

La presente invención se ha descrito en términos de diversas realizaciones solamente con fines ilustrativos. Los expertos en la técnica reconocerán a partir de esta descripción que tales realizaciones pueden practicarse con modificaciones y alteraciones limitadas únicamente por el ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (500) para operar una turbina eólica (102), comprendiendo el procedimiento:
- 5 detectar (502) un conjunto de puntos de datos de operación de la turbina eólica (102), en el que al menos un punto de datos del conjunto de puntos de datos de operación comprende al menos valores de esfuerzo de flexión de un árbol (112) de rotor de la turbina eólica (102);
 10 computar (508) un valor (214) de indicador de escenario de carga basándose en los valores de esfuerzo de flexión;
 15 estimar un valor (218) umbral de carga basándose en el conjunto de puntos de datos de operación; y controlar (514) la turbina eólica (102) para operar la turbina eólica (102) en un modo seguro cuando el valor (214) de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor (218) umbral de carga;
 20 **caracterizado porque** computar el valor (214) de indicador de escenario de carga comprende:
 25 obtener (504) un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto a partir de los valores de esfuerzo de flexión;
 30 obtener (506) un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo a partir de los valores de esfuerzo de flexión; y
 35 computar (508) una diferencia entre el conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto y los valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo.
2. El procedimiento (500) según la reivindicación 1, en el que al menos un punto de datos del conjunto de puntos de datos de operación comprende, además, velocidad de viento, error de guiñada, potencia generada por la turbina eólica (102), velocidad de rotación de la turbina eólica (102) o combinaciones de los mismos.
3. El procedimiento (500) según cualquier reivindicación precedente, que comprende computar el valor (218) umbral de carga basándose en la velocidad del viento y el error de guiñada.
4. El procedimiento (500) según cualquier reivindicación precedente, que comprende operar la turbina eólica (102) en el modo seguro reduciendo el valor (214) de indicador de escenario de carga por debajo del valor (218) umbral de carga.
5. El procedimiento (500) según cualquier reivindicación precedente, que comprende reducir el valor (214) de indicador de escenario de carga cambiando al menos un parámetro de operación de la turbina eólica (102), en el que el al menos un parámetro de operación comprende el ángulo de cabeceo de las palas (106) de turbina, la guiñada de la turbina, la velocidad de rotación de un generador de turbina eólica y el par del árbol (112) de rotor.
6. Un sistema (114) para operar una turbina eólica (102), comprendiendo el sistema:
- 35 un módulo (204) de sensor para detectar un conjunto de puntos de datos de operación de la turbina eólica (102), en el que al menos un punto de datos del conjunto de puntos de datos de operación comprende al menos valores de esfuerzo de flexión de un árbol (112) de rotor de la turbina eólica (102);
 40 un estimador (206) de escenario de carga para computar un valor (214) de indicador de escenario de carga basándose en los valores de esfuerzo de flexión;
 45 un estimador (216) de umbral de carga para estimar un valor (218) umbral de carga basándose en el conjunto de puntos de datos de operación; y
 50 un módulo (220) de protección para controlar la turbina eólica (102) para operar la turbina eólica (102) en un modo seguro cuando el valor (214) de indicador de escenario de carga sobrepasa el valor (218) umbral de carga;
 55 **caracterizado porque** el estimador (206) de escenario de carga comprende:
 un filtro (210) paso alto para obtener un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto a partir de los valores de esfuerzo de flexión;
 un filtro (208) paso bajo para obtener un conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo a partir de los valores de esfuerzo de flexión; y
 un sustractor (212) para computar una diferencia entre el conjunto de valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso alto y los valores de esfuerzo de flexión filtrados de paso bajo.
7. El sistema (114) según la reivindicación 6, en el que el módulo (204) de sensor comprende una pluralidad de sensores para detectar el conjunto de puntos de datos de operación, en el que el al menos un punto de datos del conjunto de puntos de datos de operación comprende, además, velocidad de viento, error de guiñada, potencia generada por la turbina eólica (102), velocidad de rotación de la turbina eólica (102) o combinaciones de los mismos.
8. El sistema (114) según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el módulo (204) de sensor comprende al menos un sensor de proximidad para detectar los valores de esfuerzo de flexión del árbol (112) de rotor.
9. El sistema (114) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el estimador (206) de umbral de carga está configurado para computar el valor (218) umbral de carga basándose en al menos uno de velocidad de viento y

error de guiñada.

10. El sistema (114) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el módulo (220) de protección comprende un comparador (222) configurado para comparar el valor (214) de indicador de escenario de carga con el valor (218) umbral de carga.
- 5 11. El sistema (114) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en el que el módulo (220) de protección está configurado para operar la turbina eólica (102) en el modo seguro reduciendo el valor (214) de indicador de escenario de carga por debajo del valor (218) umbral de carga.
- 10 12. El sistema (114) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que el módulo (220) de protección acciona un sistema (224) de control para reducir el valor (214) de indicador de escenario de carga cambiando al menos un parámetro de operación de la turbina eólica (102), en el que el al menos un parámetro de operación comprende un ángulo de cabeceo de las palas (106) de turbina, una guiñada de la turbina eólica (102), una velocidad de rotación del generador de turbina eólica y un par del árbol (112) de rotor.
- 15 13. Un medio legible por ordenador no transitorio codificado con un programa para permitir que un sistema basado en procesadores opere una turbina eólica (102), en el que el programa está configurado para dar instrucciones al sistema basado en procesadores que implemente el procedimiento (500) de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

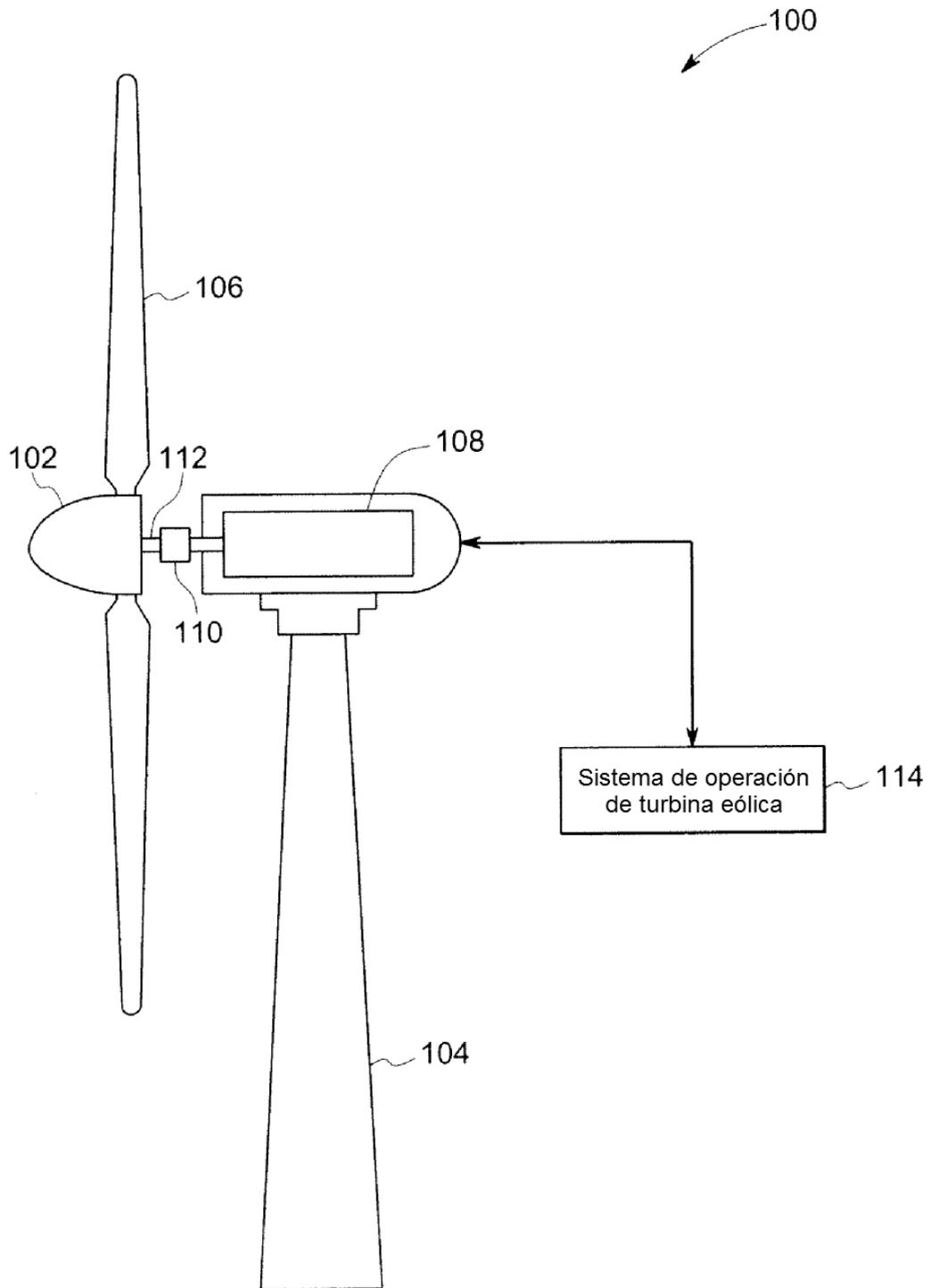


FIG. 1

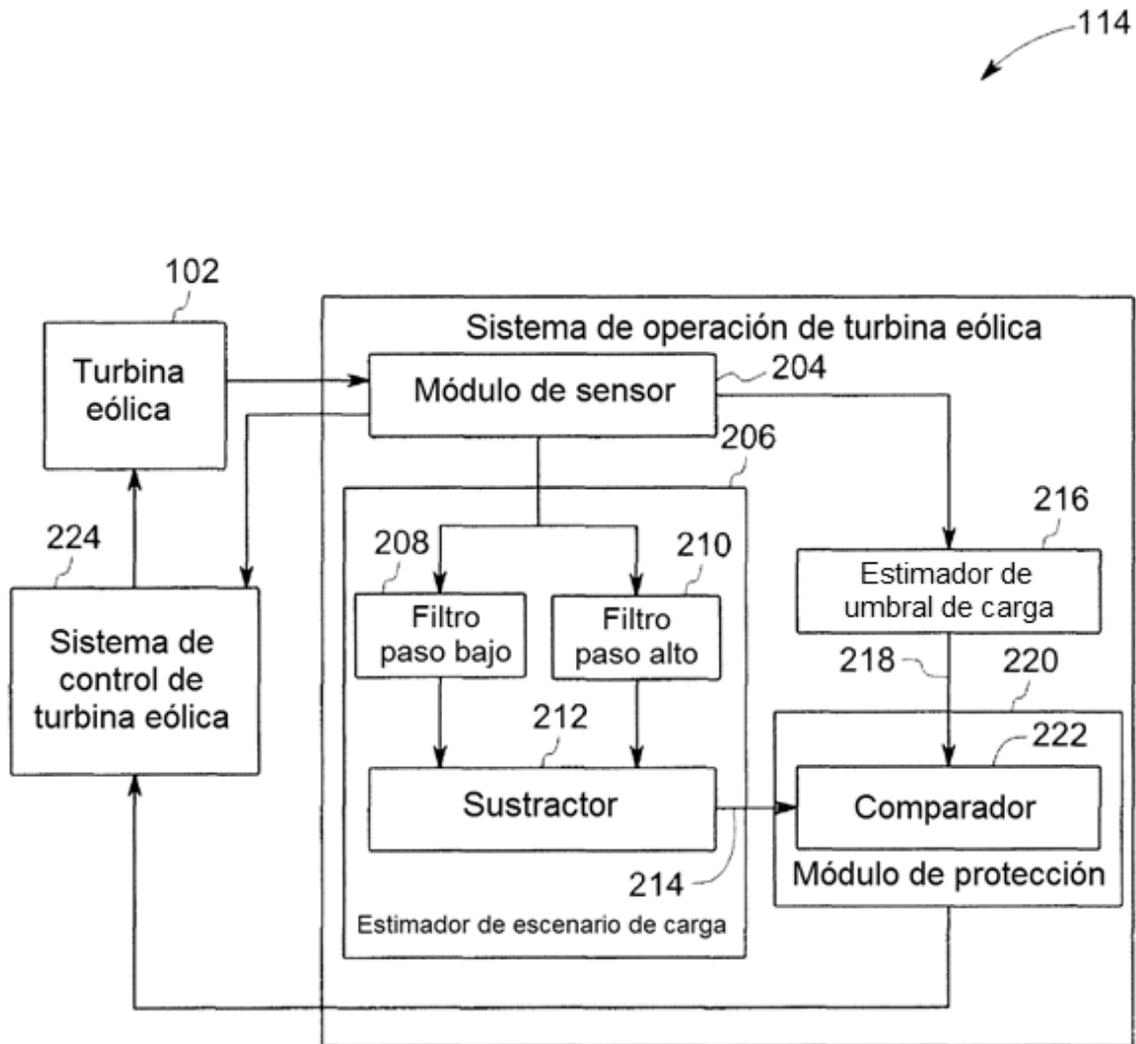


FIG. 2

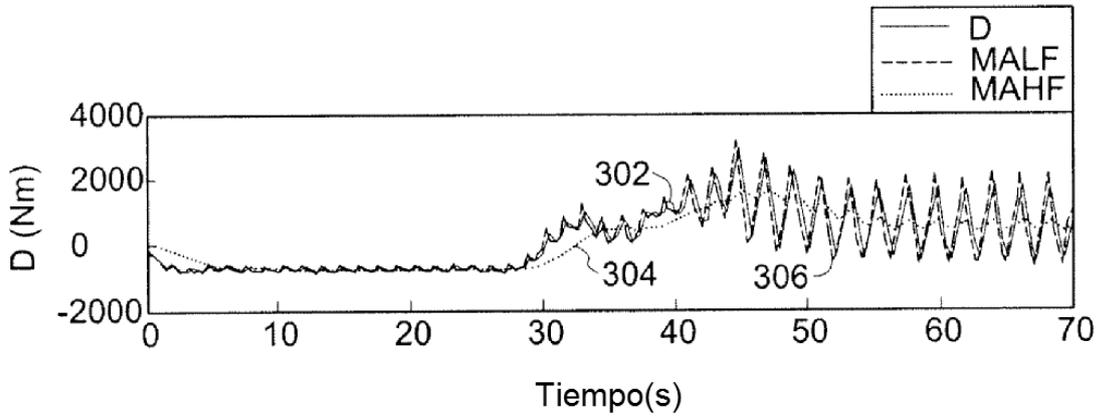


FIG. 3

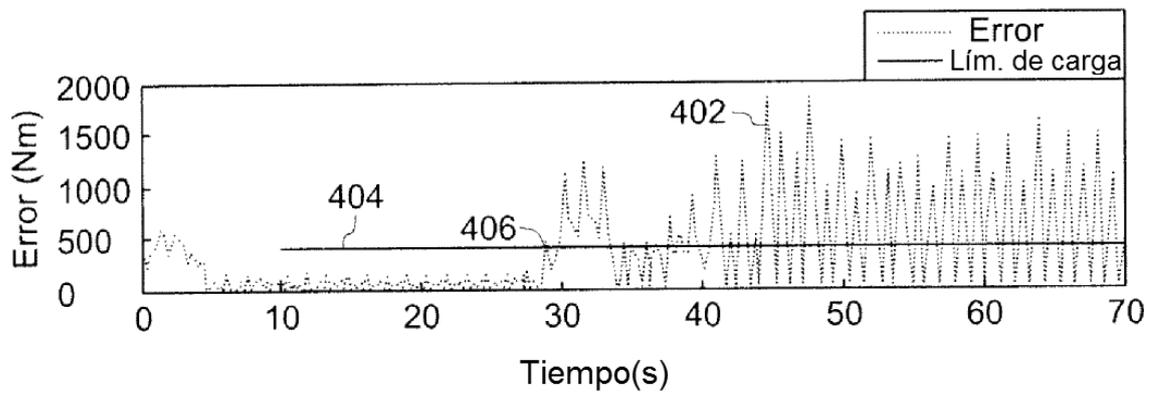


FIG. 4

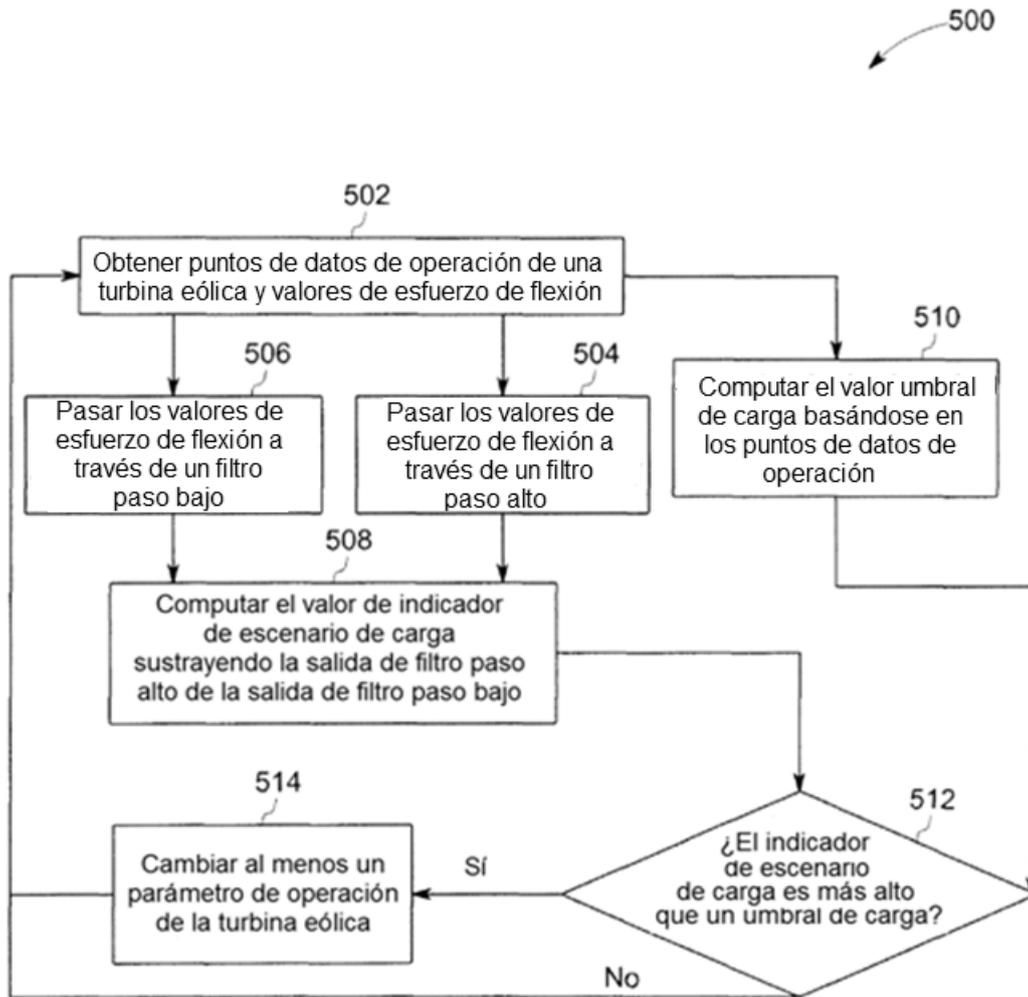


FIG. 5