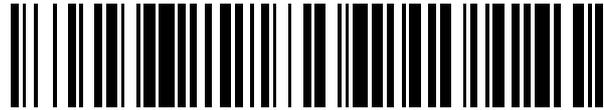


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 523**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2012 PCT/DK2012/050049**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2012 WO12107051**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2012 E 12704500 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 2673504**

54 Título: **Evaluación de la vida útil restante de partes de estructuras de soporte de aerogeneradores**

30 Prioridad:  
**08.02.2011 US 201161440426 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.01.2020**

73 Titular/es:  
**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)  
Hedeager 42  
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:  
**VAN DUIJVENDIJK, MARCEL**

74 Agente/Representante:  
**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 739 523 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**

Evaluación de la vida útil restante de partes de estructuras de soporte de aerogeneradores

**Campo**

El campo es el de estructuras de soporte y, en particular, el de estructuras de soporte de aerogeneradores.

**5 Antecedentes**

Los aerogeneradores incluyen un rotor accionado por el viento para producir energía mecánica. La energía mecánica se convierte en energía eléctrica y se proporciona a una red eléctrica, como se representa en la Fig. 1. El rotor y la góndola que soporta el rotor entre otros componentes pesados se colocan muy por encima del suelo o del mar mediante una estructura de soporte, que típicamente incluye una torre y unos cimientos. La góndola y el rotor pueden orientarse alrededor de la torre para encarar el viento a medida que el viento cambia de dirección. La góndola y el rotor también se pueden orientar fuera del viento cuando el aerogenerador no está operando.

Las estructuras de soporte de aerogeneradores se pueden diseñar con la intención de que todas las partes de la estructura tengan una vida en servicio útil que, como mínimo, sea tan larga como la vida en servicio del aerogenerador, típicamente de 20 a 25 años, cuando la turbina se carga al máximo. Las estructuras de soporte de aerogeneradores, no obstante, se pueden cargar durante su uso de formas que causan esfuerzo y fatiga desproporcionadamente en toda la estructura.

El documento US 5789680 A describe una muestra de ensayo de sacrificio para su uso en un método de predicción de daños por fatiga.

**Compendio**

Según un primer aspecto, se describe un método para evaluar la vida útil restante de una parte de una estructura de soporte de aerogenerador. El método se define en la reivindicación 1.

Este y otros aspectos de la invención se apreciarán a partir de la siguiente descripción y reivindicaciones.

**Breve descripción de las figuras**

Los dibujos que se acompañan no se pretende que estén dibujados a escala. En los dibujos, cada componente idéntico o casi idéntico que se ilustra en las diversas figuras se puede representar mediante un número similar. Con propósitos de claridad, no todos los componentes se pueden etiquetar en cada dibujo. En los dibujos:

La Fig. 1 muestra una vista en perspectiva de un aerogenerador que muestra esquemáticamente cómo se puede cargar una torre del aerogenerador en un modo de flexión durante su operación.

La Fig. 2 muestra una rosa de los vientos que incluye representaciones de registros de viento de una ubicación particular donde se puede poner un aerogenerador, incluyendo la dirección y la magnitud del viento.

**Descripción detallada de las figuras y diversas realizaciones**

Las estructuras de soporte de aerogeneradores se pueden diseñar con la intención de que todas las partes de la estructura tengan una vida en servicio útil que, como mínimo, sea tan larga como la vida en servicio del aerogenerador, típicamente de 20 a 25 años, cuando la turbina se carga al máximo. Las estructuras de soporte de aerogeneradores, no obstante, se pueden cargar durante su uso de formas que causan esfuerzo y fatiga desproporcionadamente en toda la estructura. Este esfuerzo desproporcionado puede dar como resultado que partes de la estructura se carguen en menor grado en toda la vida en servicio de una turbina, lo que significa que estas partes pueden tener suficiente vida en servicio útil restante para garantizar su reutilización, o bien como parte de otro aerogenerador o bien de otra estructura. Se describen en la presente memoria métodos para evaluar la vida útil que resta de partes de una estructura de soporte de aerogenerador.

Los aerogeneradores incluyen un rotor accionado por el viento para producir energía mecánica. La energía mecánica se convierte en energía eléctrica y se proporciona a una red eléctrica, como se representa en la Fig. 1. El rotor, y otros componentes pesados montados en una góndola, se coloca muy por encima del suelo o del mar mediante una estructura de soporte, que típicamente incluye una torre y unos cimientos. La góndola y el rotor pueden orientarse alrededor de la torre para encarar el viento a medida que el viento cambia de dirección. La góndola y el rotor también se pueden orientar fuera del viento cuando el viento no está operando.

La estructura de la torre de un aerogenerador se puede cargar de maneras complejas a medida que se opera la turbina, debido a las diversas fuerzas asociadas con el rotor giratorio y otros componentes móviles en la turbina. La mayor carga, no obstante, se asocia más típicamente con las fuerzas de flexión de la torre que resultan de la fuerza de empuje del viento contra el rotor. Como se ha de apreciar, el viento incidente en el rotor causa tanto una fuerza tangencial, que sirve para girar el rotor alrededor del eje del rotor, como una fuerza de empuje, la resultante de la

cual impulsa al rotor hacia la góndola en una dirección paralela al eje del rotor. La fuerza de empuje se recibe por los rodamientos y, a su vez, la estructura de soporte del aerogenerador. Las fuerzas de empuje causan, en última instancia, las fuerzas de flexión en la torre del aerogenerador, como se representa esquemáticamente en la Fig. 1.

5 Al flexionar, como se representa en la Fig. 1 por la flecha 18, las partes contra el viento de la torre se ponen en tensión y las partes a favor del viento se ponen en compresión. Las partes que se encuentran a lo largo del eje neutro de flexión se cargan en un grado mucho menor, y pueden no ser cargadas en flexión en absoluto a lo largo del eje neutro. A medida que el viento cambia o sopla a ráfagas, la magnitud de la fuerza de flexión aplicada a la torre puede cambiar, haciendo que la torre se balancee u oscile al flexionarse. En ráfagas fuertes, la torre puede incluso moverse a través de los modos de flexión totalmente invertida, donde las partes contra el viento de la torre se ponen momentáneamente en compresión y el lado a favor del viento se pone en tensión, esforzando aún más estas partes de la estructura de la torre, mientras que las que están en o cerca del eje neutro se esfuerzan mínimamente por las fuerzas de flexión.

15 El solicitante ha apreciado que la carga desigual de partes de una torre de aerogenerador (u otra estructura de soporte de aerogenerador) puede hacer que las partes más altamente cargadas se acerquen al final de su vida útil más rápidamente, con respecto a otras partes. El solicitante también ha apreciado que las partes de la torre de aerogenerador que se han cargado menos pueden tener una vida útil restante cuando se desmantela el aerogenerador en general, y se pueden reutilizar en la construcción de otra torre de aerogenerador u otra estructura. Con lo anterior en mente, el solicitante describe diversos planteamientos que se pueden usar para identificar o estimar la vida útil que resta de partes de una torre de aerogenerador para, a su vez, ayudar a evaluar si y para qué propósitos se pueden reutilizar diversas partes de una torre de aerogenerador.

20 La Fig. 2 es una rosa de los vientos que incluye representaciones de registros de viento de una ubicación particular donde se puede poner un aerogenerador, incluyendo la dirección y la magnitud del viento. La rosa de los vientos, superpuesta sobre una sección transversal de una torre de aerogenerador, puede identificar las partes circunferenciales de la torre expuesta a mayores esfuerzos debidos a la flexión. La rosa de los vientos puede identificar además partes circunferenciales de la torre colocadas más a menudo en o cerca del eje neutro 20 a medida que la torre se pone en flexión - secciones que típicamente deberían tener una mayor vida útil restante, al menos en comparación con otras partes de la torre, tales como las que se encuentran en o cerca de un vector resultante de la rosa de los vientos 21.

25 Los datos usados para crear una rosa de los vientos se pueden recopilar a través de diversas técnicas. Según algunas realizaciones, los datos se recopilan por un dispositivo de medición de viento situado en un sitio de aerogenerador antes de la construcción del aerogenerador. Estos datos se pueden usar para predecir o proporcionar una idea en cuanto a las condiciones del viento que puede experimentar una turbina en un sitio en particular. Además o alternativamente, se pueden recopilar mediciones de las condiciones reales del viento durante la operación real de un aerogenerador y usar para evaluar el grado de esfuerzo/fatiga al que se ha sometido una torre. Estos datos pueden provenir de la medición real del viento en sí mismo, o a través de un sustituto tal como la potencia producida en varias posiciones de orientación durante la vida de un aerogenerador. Se ha de apreciar que los datos del viento también se pueden recopilar a través de otros planteamientos, y que la descripción anterior no ha de ser considerada limitante a este respecto.

30 Según otras realizaciones, se pueden colocar sensores en la estructura de soporte de aerogenerador u otras partes de la torre para hacer mediciones directas de las cargas y ciclos de carga experimentados durante la vida operativa de un aerogenerador. Estos sensores pueden incluir galgas extensiométricas unidas a diferentes intervalos alrededor de la estructura de la torre, u otros sensores capaces de detectar esfuerzo o tensión, o bien directa o bien indirectamente. En tales realizaciones, la vida útil restante de partes de la estructura de soporte se puede determinar restando la vida de fatiga que se ha gastado durante la operación de la estructura de soporte de una vida útil esperada en general. La vida útil esperada en general se puede determinar teóricamente, a través de la prueba inicial del material usado para construir la estructura de soporte, o a través de otros planteamientos.

35 También se pueden realizar pruebas destructivas para estimar la vida útil restante de componentes estructurales. Se pueden crear preformas a partir de diferentes partes de una torre, durante o después del desmantelamiento del aerogenerador, y someter a pruebas de carga cíclica para identificar el inicio de la fatiga. El número de ciclos requeridos para alcanzar el fallo por fatiga se puede usar para estimar la vida útil restante de las partes de la torre que han experimentado una carga similar como aquella a partir de la cual se tomó la preforma. Según algunas realizaciones, se pueden realizar pruebas de fatiga a partir de preformas hechas del mismo material usado para construir una torre y que no han sido sometidas a mucha carga. Tales preformas se pueden dejar de lado en la construcción de la torre o tomarse de una parte de una torre que se espera que haya experimentado poca o ninguna fatiga. Los resultados de las preformas de pruebas de fatiga con poca o ninguna historia de fatiga pueden proporcionar un punto de datos adicional para evaluar la vida útil restante de partes de una estructura de soporte.

40 Se pueden incorporar preformas de sacrificio en una estructura de torre para pruebas destructivas posteriores para determinar la vida útil restante. A modo de ejemplo, un material con una vida de fatiga conocida, tal como acero, hormigón y similares, se puede unir o sujetar de otro modo a una parte diferente de una torre, de manera que la preforma experimente perfiles de carga de compresión y tracción similares que la parte de la estructura de soporte.

Al desmantelar la torre, se puede determinar la vida de fatiga restante de la preforma de sacrificio, tal como a través de pruebas de fatiga destructivas. El conocimiento de la vida de fatiga restante de la preforma en combinación con la vida de fatiga total esperada de la preforma de sacrificio se puede usar para estimar la fatiga que se experimentó por la parte correspondiente de la torre de modo que la vida útil restante se pueda estimar a través de interpolación o extrapolación.

Las diversas realizaciones descritas en la presente memoria se pueden usar con diferentes tipos de construcciones de torre y materiales. A modo de ejemplo, estas técnicas y variantes de las mismas se pueden usar para evaluar la vida útil restante de hormigón, acero, hierro, aluminio, madera y otros materiales que se pueden usar para construir una estructura de soporte de un aerogenerador. También se ha de apreciar que las técnicas descritas en la presente memoria se pueden aplicar a diferentes tipos de estructuras de soporte de aerogeneradores, incluyendo, pero no limitadas a, torres de celosía, torres de acero cilíndricas, torres de hormigón, torres de viga de madera y similares. También se ha de apreciar que, aunque algunas realizaciones se describen con respecto a una torre de aerogenerador, las mismas realizaciones también pueden aplicarse a otras estructuras de soporte tales como cimientos, pilotes de suelo, piezas de transición y similares.

Las realizaciones descritas anteriormente de diversos métodos que se pueden usar para controlar el aerogenerador o partes del mismo se pueden implementar de cualquiera de numerosas formas. Por ejemplo, las realizaciones se pueden implementar usando hardware, software o una combinación de los mismos. Cuando se implementa en software, el código de software se puede ejecutar en cualquier procesador o colección de procesadores adecuados, si se proporciona en un único ordenador o distribuido entre múltiples ordenadores. Se debería apreciar que cualquier componente o colección de componentes que realizan las funciones descritas anteriormente se pueden considerar genéricamente como uno o más controladores que controlan las funciones tratadas anteriormente. Es decir, se puede usar un único controlador o múltiples controladores para ejecutar los esquemas de control descritos en la presente memoria con respecto al controlador de ángulo de la pala, el control de la bomba, el controlador del motor/generador y/o el controlador de la turbina. El uno o más controladores se pueden implementar de numerosas formas, tales como con hardware dedicado, o con hardware de propósito general (por ejemplo, uno o más procesadores) que se programa usando microcódigo o software para realizar las funciones expuestas anteriormente.

A este respecto, se debería apreciar que una implementación de una cualquiera de las realizaciones descritas en la presente memoria comprende al menos un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de ordenador, un disquete, un disco compacto, una cinta, etc.) codificado con un programa de ordenador (es decir, una pluralidad de instrucciones), que, cuando se ejecuta en un procesador, realiza las funciones tratadas anteriormente de las realizaciones de la presente invención. El medio legible por ordenador puede ser transportable de manera que el programa almacenado en el mismo se pueda cargar en cualquier recurso de entorno de ordenador para implementar los aspectos de la presente invención tratados en la presente memoria. Además, se debería apreciar que la referencia a un programa de ordenador que, cuando se ejecuta, realiza las funciones tratadas anteriormente, no se limita a un programa de aplicaciones que se ejecuta en un ordenador central. Más bien, el término programa de ordenador se usa en la presente memoria en un sentido genérico para hacer referencia a cualquier tipo de código de ordenador (por ejemplo, software o microcódigo) que se puede emplear para programar un procesador para implementar los aspectos de la presente invención tratados anteriormente.

Se debería apreciar que según diversas realizaciones descritas en la presente memoria en donde los procesos se implementan en un medio legible por ordenador, los procesos implementados por ordenador pueden, durante el curso de su ejecución, recibir una entrada manualmente (por ejemplo, de un usuario).

La fraseología y terminología usadas en la presente memoria son con el propósito de descripción y no se deberían considerar como limitantes. El uso de "que incluyen", "que comprende", "que tiene", "que contiene", "que implica", y variaciones de los mismos, se pretende que abarquen los elementos enumerados a partir de entonces y elementos adicionales.

Habiendo descrito en detalle diversas realizaciones de la invención, se les ocurrirán fácilmente a los expertos en la técnica diversas modificaciones y mejoras. Por consiguiente, la descripción anterior es solamente a modo de ejemplo, y no se pretende que sea limitante. La invención o invenciones se limitan solamente como se define en las siguientes reivindicaciones.

Por consiguiente, la descripción precedente y los dibujos son solamente a modo de ejemplo.

Se debería entender que los aspectos de la invención se describen en la presente memoria con referencia a las figuras, que muestran realizaciones ilustrativas según los aspectos de la invención. Las realizaciones ilustrativas descritas en la presente memoria no están destinadas necesariamente a mostrar todos los aspectos de la invención, sino que se usan para describir unas pocas realizaciones ilustrativas. De este modo, los aspectos de la invención no se pretende que se interpreten de manera limitada en vista de las realizaciones ilustrativas. Además, se debería entender que los aspectos de la invención se pueden usar solos o en cualquier combinación adecuada con otros aspectos de la invención.

Habiendo descrito de este modo diversos aspectos de al menos una realización de esta invención, se ha de apreciar que se les ocurrirán fácilmente a los expertos en la técnica diversas alteraciones, modificaciones y mejoras. Por consiguiente, la descripción precedente y los dibujos son solamente a modo de ejemplo.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de evaluación de la vida útil restante de una parte de una estructura de soporte de aerogenerador (14, 16), que comprende:
- 5 realizar pruebas de vida de fatiga de una preforma que se ha montado en la parte de la estructura de soporte;
- evaluar los resultados de la prueba de vida de fatiga de la preforma para determinar una vida de fatiga restante de la preforma; y
- determinar la vida útil restante de la parte en base a la vida de fatiga restante de la preforma en combinación con una vida de fatiga en general esperada de la preforma, en donde la prueba de vida de fatiga se realiza en el desmantelamiento de la estructura de soporte.
- 10 2. El método según la reivindicación 1, en el que realizar pruebas de vida de fatiga comprende pruebas de fatiga destructivas.
3. El método según la reivindicación 1 o 2, en el que la preforma es un material con una vida de fatiga conocida.
4. El método según cualquier reivindicación precedente en el que la preforma se une o sujeta a la parte de la estructura de soporte, de manera que la preforma experimente perfiles de carga de compresión y tracción similares a los de la parte de la estructura de soporte.
- 15 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la vida útil restante se determina mediante interpolación o extrapolación.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la vida útil restante se determina para uno o más de hormigón, acero, hierro, aluminio, madera y otros materiales usados para construir la estructura de soporte del aerogenerador.
- 20

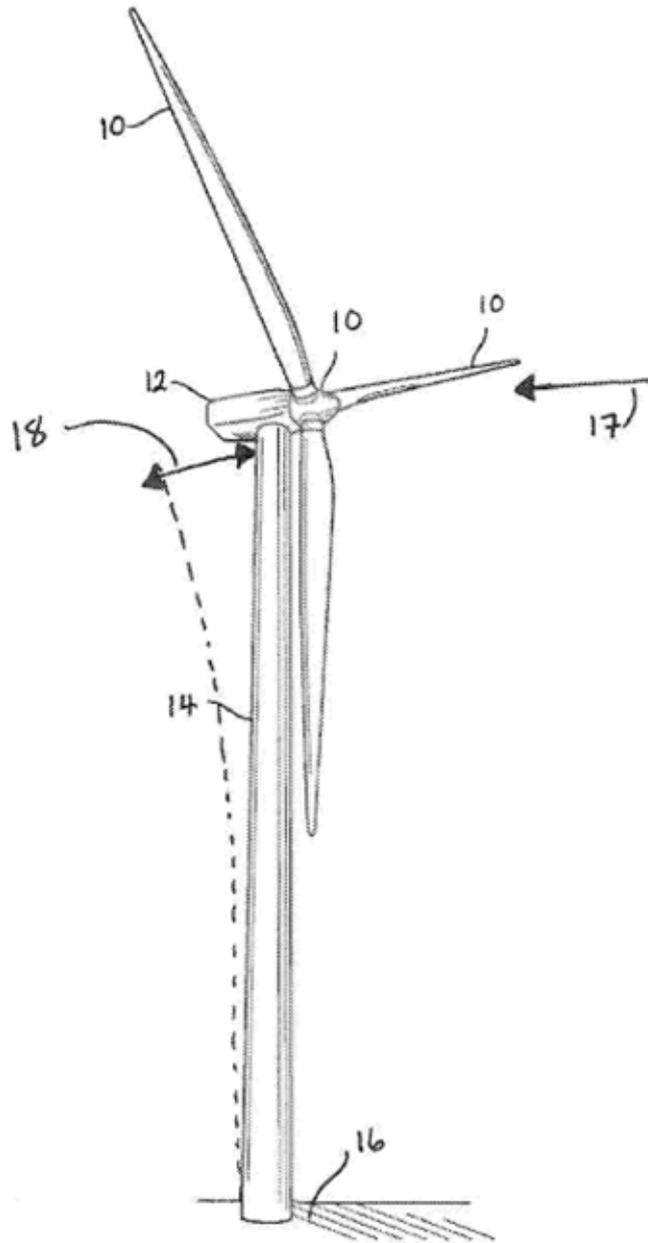


Fig. 1

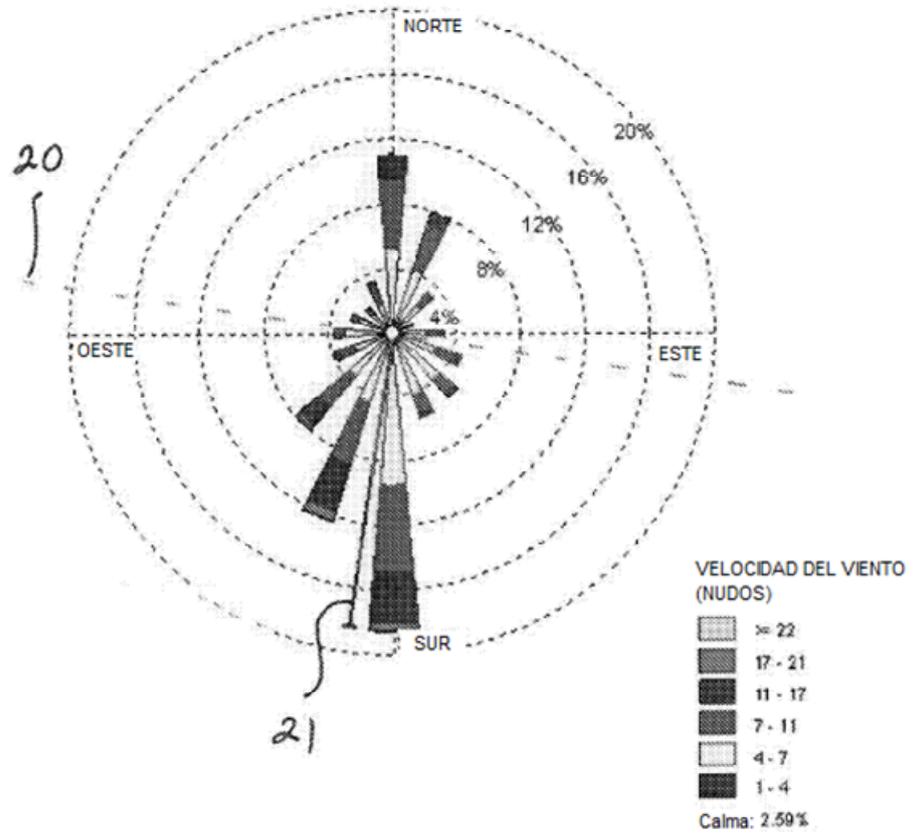


Fig. 2