

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 210**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2014 PCT/DK2014/050104**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2014 WO14173417**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2014 E 14719235 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2989323**

54 Título: **Método para controlar una turbina eólica durante la parada**

30 Prioridad:

**22.04.2013 DK 201370224**

**07.05.2013 GB 201308149**

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

**25.09.2018**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**HAMMERUM, KELD**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 683 210 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

Método para controlar una turbina eólica durante la parada

### Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para controlar una turbina eólica durante la parada. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método para controlar una turbina eólica que comprende un rotor que porta dos o más palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente. Según el método de la invención, se minimizan diversas cargas sobre la turbina eólica durante la parada. Además, la presente invención se refiere a una unidad de control adaptada para llevar a cabo el método y a una turbina eólica que comprende una unidad de control de este tipo.

### 10 Antecedentes de la invención

En turbinas eólicas de paso controlado, el paso de las palas de turbina eólica se ajusta en respuesta a las condiciones del viento, y con el fin de obtener una producción de energía deseada. A medida que rotan las palas de turbina eólica durante el funcionamiento, cambian las cargas sobre cada pala de turbina eólica, por ejemplo debido al cizallamiento del viento, el paso por la torre, las turbulencias, etc. Esto puede provocar una distribución de cargas asimétrica entre las palas de turbina eólica. Esto no se desea, puesto que conduce a altas cargas sobre el rotor, la cadena de transmisión, etc. Para evitar esto, a veces se usa una estrategia de control de paso individual. Según una estrategia de control de paso individual, se ajustan los ángulos de paso de las palas individuales para tener en cuenta las condiciones en la posición de cada pala.

20 Cuando se genera una orden de alto o una orden de parada para una turbina eólica de paso controlado, por ejemplo debido a una situación de emergencia, las palas de turbina eólica se mueven normalmente hasta una posición de puesta en bandera, es decir sus ángulos de paso se modifican hasta que las palas de turbina eólica están en una posición en la que ya no les da el viento. A menudo se desea mover las palas de turbina eólica tan rápido como sea posible hasta la posición de puesta en bandera.

25 Sin embargo, en el caso de turbinas eólicas en las que se regula individualmente el paso de las palas de turbina eólica, los ángulos de paso de las palas de turbina eólica no son idénticos cuando se recibe la orden de alto o la orden de parada. Al contrario, el ángulo de paso de cada pala de turbina eólica se ha ajustado de tal manera que tiene en cuenta las condiciones imperantes en la posición exacta de la pala en cuestión. Si todas las palas de turbina eólica simplemente se mueven tan rápido como sea posible hacia la posición de puesta en bandera cuando se recibe la orden de alto o la orden de parada, las diferencias mutuas en los ángulos de paso seguirán estando a medida que las palas de turbina eólica continúan con la rotación en el plano del rotor, mientras se mueven hacia la posición de puesta en bandera. De ese modo, las palas de turbina eólica se alejan de las posiciones que dictaron los ajustes en los ángulos de paso, pero los ajustes no se alteran. Este sería el caso si los ángulos de paso de las palas de turbina eólica fueran simplemente idénticos. Por tanto, puede desearse proporcionar una estrategia de control durante la parada de una turbina eólica con paso regulado individualmente, lo que reduce las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica.

35 Además, durante una parada tal como se describió anteriormente, se introducen cargas sobre la torre de la turbina eólica. Estas cargas no se reducen necesariamente, y pueden aumentar incluso, si se realiza la parada de manera que reduce la carga asimétrica sobre las palas de turbina eólica. Para abordar esto, podrían aplicarse otras estrategias de parada que reducen las cargas sobre la torre. Sin embargo, tales estrategias de parada pueden aumentar las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica.

40 Por consiguiente, se desea proporcionar una estrategia de control durante la parada de una turbina eólica con paso regulado individualmente, que tenga en cuenta las cargas asimétricas sobre las palas, así como las cargas sobre la torre.

45 El documento EP 2 290 232 da a conocer un dispositivo de control de ángulo de paso de turbina eólica configurado para llevar a cabo el control de paso individual. Cuando se introduce una orden de alto de turbina eólica, los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se hacen coincidir, y entonces los ángulos de paso se mueven hasta una posición de puesta en bandera. Cuando se introduce la orden de alto de turbina eólica, puede identificarse una pala de turbina eólica representativa basándose en el ángulo de paso de la pluralidad de palas de turbina eólica. El ángulo de paso de la pala de turbina eólica representativa y los ángulos de paso de las otras palas de turbina eólica se hacen coincidir entonces, y luego se mueven los ángulos de paso de las palas de turbina eólica hasta la posición de puesta en bandera. La pala de turbina eólica representativa puede ser la pala de turbina eólica cuyo ángulo de paso es el más próximo a la posición de puesta en bandera.

55 El dispositivo de control del documento EP 2 290 232 reduce las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica durante la parada, porque se alinean los ángulos de paso antes de que se muevan las palas de turbina eólica hasta la posición de puesta en bandera. Sin embargo, el procedimiento de parada se retrasa porque el alineamiento debe tener lugar antes de que comience el movimiento hacia la posición de puesta en bandera. Además, no se tienen en cuenta las cargas sobre la torre.

En el documento US2011/193343 se da a conocer el uso de un controlador de ángulo de paso colectivo que produce una demanda de ángulo de paso colectivo que es común para ángulos de paso de pala de palas de turbina eólica, y una unidad de producción de ángulo de paso individual que produce una demanda de ángulo de paso individual. Cuando se realiza una parada, se ajusta la ganancia de ángulo de paso individual de manera que se reduce gradualmente una ganancia de ángulo de paso individual y llega a ser cero por la unidad de producción de ganancia de ángulo de paso individual después de un primer tiempo establecido.

En el documento EP2067988 se da a conocer incluir el calcular un retraso temporal para regular el paso de cada pala hacia la puesta en bandera tras el inicio de una condición de parada. Las palas con el mayor ángulo de pala comienzan a moverse hacia la puesta en bandera con una velocidad de paso inicial, mientras que la pala con el menor ángulo de pala comienza a moverse hacia la puesta en bandera con una velocidad de paso final. Una vez que todas las palas han alcanzado aproximadamente un ángulo de pala idéntico, las palas se mueven simultáneamente juntas para la puesta en bandera a la velocidad de paso final.

En el documento US2010/196156 se da a conocer el determinar de manera continua una medida de una aceleración angular del rotor, iniciando la regulación de paso de las palas de rotor y continuando la regulación de paso hasta un tiempo en el que la aceleración angular determinada del rotor es sustancialmente cero, y reanudando la regulación de paso de las palas de rotor al final de un periodo de tiempo predeterminado después del tiempo en el que la aceleración angular determinada del rotor era sustancialmente cero.

### Descripción de la invención

Es un objeto de realizaciones de la invención proporcionar un método para controlar una turbina eólica durante la parada, en el que las cargas combinadas sobre diversas partes de la turbina eólica se reducen en comparación con métodos de la técnica anterior.

Según un primer aspecto, la invención proporciona un método para controlar una turbina eólica durante la parada, comprendiendo dicha turbina eólica un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, comprendiendo el método las etapas de:

- recibir una orden de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica,
- obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica,
- calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, basándose en dicha medida del desalineamiento,
- estimar un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse,
- mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una primera estrategia de parada hasta que el tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal que quedan hasta el punto en el tiempo y/o la posición de ángulo azimutal estimados corresponden al tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, o hasta que se satisface(n) uno o más criterios predefinidos por la turbina eólica, la primera estrategia de parada comprende mover inicialmente las palas de turbina eólica a una velocidad de paso inicial,  $k_1$ , y posteriormente mover las palas de turbina eólica a una velocidad de paso final,  $k_2$ , donde  $k_1 > k_2$ , y
- posteriormente mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una segunda estrategia de parada, proporcionando dicha segunda estrategia de parada el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, en el que un cambio de la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada se basa en dicha medida del desalineamiento.

En el presente contexto, el término “adaptadas para que se regule su paso individualmente” debe interpretarse que significa que el ángulo de paso de cada una de las palas de turbina eólica se ajusta individualmente para tener en cuenta las condiciones imperantes en la posición exacta de cada pala de turbina eólica, para reducir las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica, tal como se describió anteriormente. Una turbina eólica en la que las palas de turbina eólica están adaptadas para que se regule su paso individualmente se denomina a veces una turbina eólica con paso regulado individualmente.

Según el método de la invención, inicialmente se recibe una orden de parada. La orden de parada indica que ha de detenerse el funcionamiento de la turbina eólica. La orden de parada puede generarse, por ejemplo, en respuesta a una situación de emergencia detectada, tal como fallo o mal funcionamiento de un componente de la turbina eólica, una temperatura medida en la turbina eólica que está fuera de rango, o cualquier otra situación adecuada que requiera que se interrumpa el funcionamiento de la turbina eólica. Alternativa o adicionalmente, la orden de parada puede generarse en respuesta a condiciones ambientales medidas, tales como velocidad del viento, humedad, densidad del aire, etc. que están fuera del rango operativo de la turbina eólica. En cualquier caso, cuando se recibe una orden de parada, normalmente se desea detener el funcionamiento de la turbina eólica tan rápido como sea

posible.

5 Cuando se ha recibido la orden de parada, se obtiene una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Puede obtenerse la medida del desalineamiento, por ejemplo, obteniendo los ángulos de paso de cada una de las palas de turbina eólica y comparando los ángulos de paso. Como alternativa, puede medirse directamente el desalineamiento, por ejemplo midiendo la carga asimétrica sobre las palas o el rotor, o de otra manera adecuada. La medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica proporciona información referente a cuánta diferencia existe entre los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, y de ese modo, referente a en qué medida representa un problema que los ángulos de paso no se alineen.

10 Basándose en la medida del desalineamiento, se calcula un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Si la medida del desalineamiento indica que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica casi se alinean, debe esperarse que los ángulos de paso puedan alinearse relativamente rápido una vez que se inicia el procedimiento de alineamiento. Por otro lado, si la medida del desalineamiento indica que los ángulos de paso están lejos de alinearse, es decir un alto grado de desalineamiento de los ángulos de paso, entonces debe esperarse que se requiera un tiempo más largo y/o un mayor intervalo de ángulo azimutal para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Por consiguiente, es posible calcular el tiempo y/o el intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso, basándose en el desalineamiento.

20 A continuación, se estima un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse. Por ejemplo, puede ser un requisito que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deban alinearse dentro de un periodo de tiempo específico tras la orden de parada, para evitar cargas asimétricas excesivas sobre las palas de turbina eólica y/o el rotor. Como alternativa, puede ser un requisito que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deban alinearse antes de que el rotor de la turbina eólica haya rotado un ángulo especificado desde la posición azimutal en el momento de recibir la orden de parada. Basándose en la velocidad de rotación y/o la derivada temporal de la velocidad de rotación del rotor en el momento de la orden de parada, es posible estimar un punto en el tiempo donde se alcanza la posición angular especificada del rotor.

25 La tarea es entonces realizar la parada de la turbina eólica de tal manera que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se alineen en el punto en el tiempo y/o la posición de ángulo azimutal estimados, mientras se garantiza que otras cargas sobre la turbina eólica, por ejemplo cargas sobre la torre de turbina eólica, se mantienen tan bajas como sea posible.

30 Por tanto, las palas de turbina eólica se mueven inicialmente hacia una posición de puesta en bandera según una primera estrategia de parada. En el presente contexto, el término "mover las palas de turbina eólica" debe interpretarse que significa que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se modifican hacia un ángulo de paso que representa una posición de puesta en bandera.

35 Las palas de turbina eólica se mueven según la primera estrategia de parada hasta que el tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal que quedan hasta el punto en el tiempo y/o la posición de ángulo azimutal estimados corresponden al tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de la turbina eólica, o hasta que se satisface(n) uno o más criterios predefinidos por la turbina eólica. Preferiblemente, el tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal que quedan es igual al tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos. Por tanto, se aplica la primera estrategia de parada hasta que hay apenas suficiente tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica dentro del periodo de tiempo y/o la posición de ángulo azimutal especificados. O bien, se aplica la primera estrategia de parada hasta que se satisface(n) uno o más criterios especificados, por ejemplo que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica hayan alcanzado un nivel donde las cargas sobre la turbina eólica, distintas de las cargas asimétricas que surgen del desalineamiento de los ángulos de paso, se hayan reducido por debajo de un nivel especificado, o que la velocidad de rotor haya alcanzado un valor umbral bajo, predefinido. Por tanto, el uno o más criterios predefinidos pueden ser o incluir uno o más criterios que han de satisfacer los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

45 La primera estrategia de parada puede ser, por ejemplo, una estrategia de parada que garantiza que cargas específicas, tales como cargas sobre la torre de turbina eólica, se mantienen tan bajas como sea posible durante la parada de la turbina eólica.

50 Posteriormente, las palas de turbina eólica se mueven hacia una posición de puesta en bandera según una segunda estrategia de parada. La segunda estrategia de parada proporciona el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

55 Por tanto, según el método del primer aspecto de la invención, tras una orden de parada, las palas de turbina eólica se mueven en primer lugar hacia la posición de puesta en bandera de tal manera que se tienen en cuenta otros factores distintos de las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o el rotor, por ejemplo otras cargas, tales como cargas sobre la torre. A continuación, las palas de turbina eólica se alinean, mientras continúan moviéndose las palas de turbina eólica hacia la posición de puesta en bandera. Esto se realiza de tal manera que las

5 palas de turbina eólica se alinean “justo a tiempo”, es decir se garantiza que las palas de turbina eólica se alinean en el último punto en el tiempo y/o posición de ángulo azimutal donde las palas de turbina eólica deben alinearse para evitar cargas asimétricas excesivas sobre las palas de turbina eólica y/o el rotor. Por consiguiente, la turbina eólica se para de manera que se garantiza que las palas de turbina eólica se alinean a tiempo, mientras se garantiza que se minimizan otras cargas sobre la turbina eólica.

10 La primera estrategia de parada comprende mover inicialmente las palas de turbina eólica a una velocidad de paso inicial,  $k_1$ , y posteriormente mover las palas de turbina eólica a una velocidad de paso final,  $k_2$ , donde  $k_1 > k_2$ . Según esta realización, las palas de turbina eólica se mueven en primer lugar a una alta velocidad, y posteriormente a una menor velocidad. El cambio de la alta velocidad, o velocidad de paso, a la baja velocidad, o velocidad de paso, se realiza en un punto en el tiempo adecuado, por ejemplo cuando los ángulos de paso de las palas de turbina eólica hayan alcanzado un nivel especificado, o cuando las cargas que actúan sobre partes específicas de la turbina eólica se hayan reducido por debajo de un determinado nivel.

15 Una estrategia de parada tal como se describió anteriormente, es decir en la que las palas de turbina eólica se mueven inicialmente a una alta velocidad y posteriormente a una menor velocidad, garantiza que las cargas que actúan sobre la torre de la turbina eólica se minimizan por los siguientes motivos. La velocidad de paso alta, que se aplica inicialmente, se aplica para obtener el control de la velocidad de rotor tan rápido como sea posible. Una vez que se estabiliza la velocidad de rotor, se reduce la velocidad de paso hasta la velocidad de paso baja para desajustarse de manera suave hasta que se alcanza la posición de puesta en bandera. De ese modo, se evita la regulación de paso en la región de impulso negativo, y esto garantiza que se evita una tracción excesiva del rotor.  
 20 Tal tracción se realizará a menudo en fase con el movimiento hacia delante de la parte superior de la torre, creando de ese modo cargas excesivas sobre la torre y, por tanto, que se desea evitar. Por tanto, según esta realización, las palas de turbina eólica se mueven inicialmente hacia la posición de puesta en bandera de tal manera que se minimizan las cargas sobre la torre de la turbina eólica, y posteriormente de tal manera que se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, reduciendo de ese modo las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor de la turbina eólica.  
 25

30 El método puede comprender además la etapa de monitorizar una aceleración del rotor de la turbina eólica durante la etapa de mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según la primera estrategia de parada, y la velocidad de paso de las palas de turbina eólica puede cambiarse de la velocidad de paso inicial,  $k_1$ , a la velocidad de paso final,  $k_2$ , basándose en la aceleración monitorizada del rotor. Según esta realización, el cambio de la velocidad de paso alta a la menor velocidad de paso se realiza cuando la aceleración del rotor alcanza un nivel especificado o valor umbral. La velocidad de paso de las palas de turbina eólica puede cambiarse de la velocidad de paso inicial,  $k_1$ , a la velocidad de paso final,  $k_2$ , cuando la aceleración del rotor es cero. Según esta realización, se realiza el cambio cuando la velocidad de rotación del rotor ya no se modifica. Como alternativa, puede realizarse el cambio cuando la aceleración del rotor ha alcanzado un valor umbral distinto de cero, preferiblemente bajo.  
 35

Alternativa o adicionalmente, pueden usarse otros criterios para determinar cuándo cambiar de la velocidad de paso inicial,  $k_1$ , a la velocidad de paso final,  $k_2$ , por ejemplo al alcanzar la velocidad de rotor un nivel especificado o valor umbral, al alcanzar cargas específicas que actúan sobre una o más partes de la turbina eólica un nivel especificado o valor umbral, etc.

40 La segunda estrategia de parada puede comprender:

- comparar ángulos de paso de las palas de turbina eólica,
- seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica, basándose en la etapa de comparación, y
- mover cada una de las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera a su velocidad de paso seleccionada.  
 45

50 La etapa de comparar los ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender obtener valores absolutos del ángulo de paso de cada pala de turbina eólica, y posteriormente comparar los valores absolutos obtenidos de los ángulos de paso. Como alternativa, pueden obtenerse valores relativos para los ángulos de paso, por ejemplo con respecto a un valor de referencia o con respecto a los ángulos de paso de las otras palas de turbina eólica. Como otra alternativa, el resultado de la comparación simplemente puede ser, o derivarse de, la medida obtenida previamente para el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. En cualquier caso, la etapa de comparación revela cómo de alineados o desalineados están los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, cuál de las palas de turbina eólica tiene el ángulo de paso más próximo a la posición de puesta en bandera, cuál de las palas de turbina eólica tiene el ángulo de paso más alejado de la posición de puesta en  
 55 bandera, y cómo se distribuye(n) el/los ángulo(s) de paso de la(s) pala(s) de turbina eólica restante(s) entre estos dos extremos.

Basándose en la etapa de comparación, se selecciona individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica. Preferiblemente, las velocidades de paso pueden seleccionarse de tal manera que los ángulos de

5 paso de las palas de turbina eólica se alineen tan rápido como sea posible, mientras se mueven todas las palas de turbina eólica hacia la posición de puesta en bandera. La velocidad de paso para cada pala de turbina eólica puede seleccionarse de dos o más valores de velocidad de paso diferenciados, predefinidos. Como alternativa, las velocidades de paso pueden seleccionarse de manera completamente individual de un rango continuo de velocidades de paso.

10 La etapa de comparar ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender identificar una primera pala de turbina eólica, una segunda pala de turbina eólica y una tercera pala de turbina eólica, en la que la primera pala de turbina eólica es la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, la tercera pala de turbina eólica es la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y la segunda pala de turbina eólica tiene un ángulo de paso intermedio.

15 La etapa de comparar ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender además comparar el ángulo de paso,  $\theta_2$ , de la segunda pala de turbina eólica con un promedio del ángulo de paso,  $\theta_1$ , de la primera pala de turbina eólica y el ángulo de paso,  $\theta_3$ , de la tercera pala de turbina eólica. Según esta realización, la etapa de comparación incluye determinar si el ángulo de paso de la segunda pala de turbina eólica es el más próximo al ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, o si es el más próximo al ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera.

20 La etapa de seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica puede comprender entonces:

- seleccionar una velocidad de paso alta,  $k_{alta}$ , para la primera pala de turbina eólica,
- seleccionar una velocidad de paso baja,  $k_{baja}$ , para la tercera pala de turbina eólica,
- seleccionar la velocidad de paso baja,  $k_{baja}$ , para la segunda pala de turbina eólica, en el caso en el que  $\theta_2$  es mayor que el promedio de  $\theta_1$  y  $\theta_3$ , y
- 25 - seleccionar la velocidad de paso alta,  $k_{alta}$ , para la segunda pala de turbina eólica, en el caso en el que  $\theta_2$  es menor que o igual al promedio de  $\theta_1$  y  $\theta_3$ .

30 Según esta realización, la velocidad de paso para cada pala de turbina eólica se selecciona como uno de dos valores de velocidad de paso diferenciados, es decir  $k_{alta}$  y  $k_{baja}$ . La velocidad de paso alta siempre se selecciona para la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, es decir para la primera pala de turbina eólica, y la velocidad de paso baja siempre se selecciona para la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, es decir para la tercera pala de turbina eólica. De ese modo, el ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera se aproxima al ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y por consiguiente se reduce el desalineamiento de los ángulos de paso.

35 En el caso en el que el ángulo de paso,  $\theta_2$ , de la segunda pala de turbina eólica es mayor que el promedio de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica primera y tercera, es decir si  $\theta_2 > (\theta_1 + \theta_3)/2$ , entonces el ángulo de paso,  $\theta_2$ , de la segunda pala de turbina eólica es más próximo a  $\theta_3$  que a  $\theta_1$ , es decir es el más próximo al ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera. Por tanto, para reducir el desalineamiento de las palas de turbina eólica tanto como sea posible y tan rápido como sea posible, la velocidad de paso baja,  $k_{baja}$ , se selecciona para la segunda pala de turbina eólica en este caso. De ese modo, se permite que el ángulo de paso de la primera pala de turbina eólica se "ponga al nivel" del ángulo de paso de la tercera pala de turbina eólica, así como del ángulo de paso de la segunda pala de turbina eólica.

40 Por otro lado, en el caso en el que el ángulo de paso,  $\theta_2$ , de la segunda pala de turbina eólica es menor que o igual al promedio de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica primera y tercera, es decir si  $\theta_2 < (\theta_1 + \theta_3)/2$ , entonces el ángulo de paso,  $\theta_2$ , de la segunda pala de turbina eólica es más próximo a  $\theta_1$  que a  $\theta_3$ , es decir es el más próximo al ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera. Por tanto, para reducir el desalineamiento de las palas de turbina eólica tanto como sea posible y tan rápido como sea posible, la velocidad de paso alta,  $k_{alta}$ , se selecciona para la segunda pala de turbina eólica en este caso. De ese modo, se permite que el ángulo de paso de la primera pala de turbina eólica así como el ángulo de paso de la segunda pala de turbina eólica se "pongan al nivel" del ángulo de paso de la tercera pala de turbina eólica.

45 Debe observarse que en el presente contexto, se supone que el ángulo de paso de una pala de turbina eólica aumenta cuando el ángulo de paso se modifica de una posición operativa a una posición de puesta en bandera. Por tanto, la pala de turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera

tiene el mayor ángulo de paso, y la pala de turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera tiene el menor ángulo de paso.

5 En el caso en el que la primera estrategia de parada comprende mover inicialmente las palas de turbina eólica a una velocidad de paso inicial,  $k_1$ , y posteriormente mover las palas de turbina eólica a una velocidad de paso final,  $k_2$ , donde  $k_1 > k_2$ , tal como se describió anteriormente, podría preverse que  $k_{baja} = k_2$  y/o  $k_{alta} = k_1$ . En este caso sólo pueden usarse dos velocidades de paso diferenciadas durante todo el proceso de parada. Sin embargo, podría preverse alternativamente que las velocidades de paso aplicadas durante la primera estrategia de parada difieran de las velocidades de paso aplicadas durante la segunda estrategia de parada.

10 Como alternativa, la etapa de seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica puede comprender, para cada pala de turbina eólica, seleccionar una velocidad de paso de dos o más valores de velocidad de paso diferenciados, predefinidos. Según esta realización, las velocidades de paso pueden seleccionarse de dos valores de velocidad de paso diferenciados, por ejemplo tal como se describió antes. Alternativamente, las velocidades de paso pueden seleccionarse de tres valores de velocidad de paso diferenciados, tales como una velocidad de paso baja, una media y una alta. Como otra alternativa, pueden estar disponibles  
15 cuatro o más valores de velocidad de paso diferenciados, y las velocidades de paso para cada pala de turbina eólica pueden seleccionarse de las velocidades de paso disponibles, por ejemplo de tal manera que el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se obtenga de la manera más apropiada.

20 Como otra alternativa, la etapa de seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica puede comprender, para cada pala de turbina eólica, seleccionar una velocidad de paso de un rango continuo de velocidades de paso. Según esta realización, las velocidades de paso pueden seleccionarse para corresponder exactamente a requisitos específicos para el proceso de parada, en particular con relación al alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

25 Por ejemplo, la etapa de seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica puede comprender seleccionar velocidades de paso que hacen que las palas de turbina eólica alcancen una posición alineada de manera sustancialmente simultánea. Según esta realización, todas las palas de turbina eólica se alinean gradualmente entre sí, es decir no surgirá una situación en la que se alinean los ángulos de paso de dos de las palas de turbina eólica, mientras que el/los ángulo(s) de paso de la(s) pala(s) de turbina eólica restante(s) no se alinea(n). Esto reduce la asimetría de los ángulos de paso durante el proceso de alineamiento.

30 La etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender determinar los ángulos de paso de las palas de turbina eólica y comparar entre sí los ángulos de paso determinados. Los ángulos de paso pueden determinarse, en este caso, midiendo los ángulos de paso. Alternativamente, los ángulos de paso pueden conocerlos de manera intrínseca el sistema, por ejemplo porque se calculan los ángulos de paso por un controlador, y cada pala de turbina eólica se mueve entonces hasta la posición de ángulo de paso calculada.

35 La etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender además determinar un primer ángulo de paso,  $\theta_1$ , que es el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, y un tercer ángulo de paso,  $\theta_3$ , que es el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y la etapa de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal comprende calcular un tiempo,  $t_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica como:

40 
$$t_{PA} = (\theta_3 - \theta_1) / (k_{alta} - k_{baja}),$$

donde  $k_{alta}$  es la mayor velocidad de paso disponible y  $k_{baja}$  es la menor velocidad de paso disponible.

45  $\theta_3 - \theta_1$  proporciona una medida de cómo de lejos están entre sí el mayor ángulo de paso y el menor ángulo de paso, es decir proporciona una medida del nivel de desalineamiento. Además, indica cuánto tiene que modificarse el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera para alinearse con el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera.

50  $k_{alta} - k_{baja}$  representa la mayor diferencia posible en la velocidad de paso que puede obtenerse entre dos palas de turbina eólica. Por tanto,  $k_{alta} - k_{baja}$  representa cómo de rápido puede moverse el ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, hacia el ángulo de paso de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, si la pala de turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera se mueve a la mayor velocidad de paso disponible, y la pala de turbina eólica que tiene el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera se mueve a la menor velocidad de paso disponible.

55 Por consiguiente,  $t_{PA}$  tal como se definió anteriormente representa la mayor diferencia entre los ángulos de paso, es decir cuánto debe moverse el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera antes de que se alinee con el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, dividido entre la mayor diferencia posible en la velocidad de paso, es decir la mayor velocidad posible a la que puede moverse el

ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, hacia el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera. Por tanto,  $t_{PA}$  representa el tiempo requerido para alinear los dos ángulos de paso más extremos si estos ángulos de paso se modifican a la mayor y la menor velocidad de paso disponibles, respectivamente. Por consiguiente, no será posible alinear los ángulos de paso más rápido dentro del tiempo  $t_{PA}$ .

Como alternativa, la etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender además determinar un primer ángulo de paso,  $\theta_1$ , que es el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, y un tercer ángulo de paso,  $\theta_3$ , que es el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y la etapa de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal puede comprender calcular un intervalo de ángulo azimutal,  $\Psi_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica como:

$$\Psi_{PA} = ((\theta_3 - \theta_1)/(k_{alta} - k_{baja})) \cdot \omega_R,$$

donde  $k_{alta}$  es la mayor velocidad de paso disponible,  $k_{baja}$  es la menor velocidad de paso disponible y  $\omega_R$  es la velocidad de rotor.

Esta realización es muy similar a la realización descrita anteriormente y, por tanto, los comentarios expuestos anteriormente son igualmente aplicables en este caso. Sin embargo, en este caso se calcula un intervalo de ángulo azimutal, en vez de un tiempo, requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.  $\Psi_{PA}$  es simplemente el tiempo,  $t_{PA}$ , calculado anteriormente, multiplicado por la velocidad de rotor,  $\omega_R$ . Por consiguiente, suponiendo que la velocidad de rotor permanece constante, el rotor se moverá por el intervalo de ángulo azimutal,  $\Psi_{PA}$ , durante el tiempo,  $t_{PA}$ .

Como alternativa a obtener y comparar los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, la etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender medir una o más cargas que actúan sobre la turbina eólica, por ejemplo cargas asimétricas sobre el rotor. Según esta realización, puede determinarse, por ejemplo, que se alinean los ángulos de paso si una carga asimétrica sobre el rotor está por debajo de un valor umbral bajo, predefinido, y una alta carga asimétrica sobre el rotor puede indicar in gran desalineamiento de los ángulos de paso.

La etapa de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica puede comprender estimar una trayectoria de alineamiento, basándose en la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica, basándose en una derivada temporal de la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica y/o basándose en la medida obtenida para el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

En el presente contexto, el término "la trayectoria de alineamiento" debe interpretarse que significa un plan para cómo alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, por ejemplo con respecto a minimizar las cargas sobre diversas partes de la turbina eólica durante el proceso de alineamiento, con respecto a minimizar la duración del proceso de alineamiento, etc.

Por tanto, según esta realización, la velocidad de rotor actual, la derivada temporal y/o la medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se determina(n) inicialmente. Entonces se estima una trayectoria de alineamiento, es decir un plan para el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, con debida consideración del/de los parámetro(s) determinado(s).

Por ejemplo, si se determina que la velocidad de rotor actual es alta y que el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es grande, entonces debe esperarse que las palas de turbina eólica se muevan rápidamente hasta una posición de rotor en la que actúan grandes cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor, si no se obtiene el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Por tanto, en este caso puede seleccionarse ventajosamente una trayectoria de alineamiento que da como resultado un rápido alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

Como otro ejemplo, si se determina que la velocidad de rotor actual es alta y que el desalineamiento de los ángulos de paso es pequeño, entonces también debe esperarse que las palas de turbina eólica se muevan rápidamente hasta una posición en la que el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica da como resultado cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor, si no se obtiene el alineamiento de los ángulos de paso. Sin embargo, puesto que el desalineamiento es menor que en el ejemplo anterior, las cargas asimétricas disminuirán en este caso. Por tanto, en este caso, también se desea alinear los ángulos de paso, pero no es tan urgente como en el ejemplo anterior. Por tanto, en este caso puede seleccionarse ventajosamente una trayectoria de alineamiento que da como resultado el alineamiento a una velocidad media.

Como aún otro ejemplo, si se determina que la velocidad de rotor actual es baja, entonces el grado del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es de menor importancia, puesto que debe esperarse que las palas de turbina eólica sólo se muevan lentamente hasta una posición en la que el



desalineamiento da como resultado cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor. Por tanto, en este caso puede seleccionarse ventajosamente una trayectoria de alineamiento que da como resultado un lento alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, independientemente de si el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es grande o pequeño.

- 5 Uno o más criterios predefinidos que ha de satisfacer la turbina eólica pueden incluir los ángulos de paso que han alcanzado una posición en la que las cargas sobre la torre de la turbina eólica se han reducido hasta un nivel por debajo de un valor umbral predefinido. Según esta realización, se aplica la primera estrategia de parada hasta que las cargas sobre la torre se hayan reducido hasta un nivel aceptable. Entonces se realiza un cambio a la segunda estrategia de parada, y entonces se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. La primera estrategia de parada puede ser, en este caso, ventajosamente una estrategia de parada que garantiza que se minimizan las cargas sobre la torre de turbina eólica.

15 La etapa de estimar un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse puede comprender definir un ángulo azimutal del rotor de la turbina eólica donde deben alinearse los ángulos de paso, y calcular cuándo se alcanza este ángulo azimutal, basándose en la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica y/o basándose en una derivada temporal de la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica. Por ejemplo, puede desearse que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se alineen antes de que el rotor haya rotado  $\frac{1}{4}$  de vuelta, es decir 90 grados. El punto en el tiempo,  $t_{\text{alinear}}$ , en relación con el tiempo en el que se recibió la orden de parada, donde deben alinearse los ángulos de paso podría calcularse, por ejemplo, como:

20 
$$t_{\text{alinear}} = (\Psi_{\text{final}} - \Psi_0) / \omega_R,$$

donde  $\Psi_{\text{final}}$  es el ángulo azimutal donde deben alinearse los ángulos de paso,  $\Psi_0$  es el ángulo azimutal del rotor cuando se recibe la orden de parada y  $\omega_R$  es la velocidad de rotor actual.

Alternativa o adicionalmente, la posición de ángulo azimutal,  $\Psi_{\text{alinear}}$ , donde deben alinearse los ángulos de paso podría calcularse, por ejemplo, como:

25 
$$\Psi_{\text{alinear}} = \Psi_{\text{final}} - \Psi_0.$$

El método puede comprender además las etapas de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica y estimar un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse, durante las etapas de mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera. Según esta realización, se calculan de manera continua durante el proceso de parada el tiempo y/o el intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso y el punto en el tiempo y/o la posición de ángulo azimutal donde deben alinearse los ángulos de paso. De ese modo, el punto en el tiempo y/o la posición de ángulo azimutal donde debe realizarse un cambio de la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada para permitir que se alineen los ángulos de paso "justo a tiempo" también pueden recalcularse de manera continua durante el proceso de parada. Esto permite que el proceso de parada se evalúe y ajuste de manera continua para tener en cuenta modificaciones en las condiciones operativas, por ejemplo modificaciones en la velocidad de rotor y/o modificaciones en la velocidad del viento.

Según un segundo aspecto que no forma parte de la invención, se proporciona un método para controlar una turbina eólica durante la parada, comprendiendo dicha turbina eólica un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, comprendiendo el método las etapas de:

- 40 - recibir una orden de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica,  
 - de manera posterior a la recepción de la orden de parada, mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una primera estrategia de parada, incluyendo dicha primera estrategia de parada mover las palas de turbina eólica a velocidades de paso idénticas, y  
 45 - posteriormente mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una segunda estrategia de parada, proporcionando dicha segunda estrategia de parada el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica,

en el que se realiza la etapa de mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una segunda estrategia de una parada después de la etapa de mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una primera estrategia de parada.

- 50 El método según el segundo aspecto es muy similar al método según el primer aspecto de la invención y, por tanto, los comentarios expuestos anteriormente con referencia al primer aspecto de la invención son igualmente aplicables en este caso.

En el método según el segundo aspecto, tras la recepción de una orden de parada, las palas de turbina eólica se mueven inicialmente hacia la posición de puesta en bandera a velocidades de paso idénticas. Tal como se describió

anteriormente, tal estrategia de parada puede dar como resultado que se reducen cargas, que no están relacionadas con asimetría de los ángulos de paso. Sin embargo, puesto que las palas de turbina eólica se mueven hacia la posición de puesta en bandera a velocidades de paso idénticas, seguirá habiendo cualquier diferencia en los ángulos de paso debida a la estrategia de regulación de paso individual. Por consiguiente, los ángulos de paso de las palas de turbina eólica no se alinean durante esta parte del proceso de parada.

Posteriormente, las palas de turbina eólica se mueven hacia la posición de puesta en bandera según una segunda estrategia de parada, que garantiza que se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. La segunda estrategia de parada puede ser, por ejemplo, tal como se describió anteriormente con referencia al primer aspecto de la invención.

La primera estrategia de parada puede comprender mover inicialmente las palas de turbina eólica a una velocidad de paso inicial,  $k_1$ , y posteriormente mover las palas de turbina eólica a una velocidad de paso final,  $k_2$ , donde  $k_1 > k_2$ . Esto ya se ha descrito anteriormente con referencia al primer aspecto de la invención.

El método puede comprender además las etapas de:

- obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, tras la recepción de la orden de parada, y

- cambiar de la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada, basándose en dicha medida del desalineamiento.

Esto puede realizarse, por ejemplo, de la manera descrita anteriormente con referencia al primer aspecto de la invención. Por ejemplo, el cambio puede realizarse de tal manera que se proporciona un tiempo largo y/o un intervalo de ángulo azimutal grande para el proceso de alineamiento, en el caso en el que se revela un desalineamiento grande. De manera similar, puede proporcionarse un tiempo más corto y/o un intervalo de ángulo azimutal más pequeño para el proceso de alineamiento, en el caso en el que se revela un desalineamiento pequeño.

Según un tercer aspecto, la invención proporciona una unidad de control para controlar ángulos de paso de una turbina eólica, comprendiendo la turbina eólica un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, estando la unidad de control adaptada para realizar el método del primer aspecto de la invención.

Según un cuarto aspecto, la invención proporciona una turbina eólica que comprende un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, y una unidad de control según el tercer aspecto de la invención.

### 30 Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora con mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

la figura 1 ilustra la asimetría de paso de una turbina eólica,

la figura 2 ilustra el ángulo azimutal del rotor de una turbina eólica,

la figura 3 ilustra ángulos de paso, velocidad de rotor y ángulo azimutal de rotor durante la parada de una turbina eólica según una realización de la invención,

la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método según una realización de la invención, y

la figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método según una realización alternativa de la invención.

### Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 muestra tres palas de turbina eólica 1a, 1b y 1c, dispuestas en un sistema de coordenadas giratorio, en el que la pala de turbina eólica 1a siempre coincide con el eje z. Para cada pala de turbina eólica 1a, 1b, 1c, el ángulo de paso correspondiente está representado por un vector,  $\theta_A$ ,  $\theta_B$  y  $\theta_C$ . Los vectores apuntan en la misma dirección que la pala de turbina eólica 1a, 1b, 1c correspondiente, y las magnitudes de los vectores son iguales a los ángulos de paso, es decir  $|\theta_x| = \theta_x$ . Se muestra un vector de paso suma,  $\theta_\Sigma = \theta_A + \theta_B + \theta_C$ .

Puede mostrarse que la magnitud al cuadrado del vector suma viene dada por:

$$|\theta_\Sigma|^2 = \theta_A^2 + \theta_B^2 + \theta_C^2 - \theta_A\theta_B - \theta_A\theta_C - \theta_B\theta_C$$

El vector suma representa una asimetría de paso en el sentido de que su magnitud es igual a cero si todos los ángulos de paso son iguales, y su magnitud es grande si existe una alta asimetría de paso entre las palas de turbina eólica. Por consiguiente, la magnitud del vector suma es una medida adecuada del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

Por tanto, cuando se realiza un método según una realización de la invención, puede usarse la magnitud del vector suma para determinar o planificar un proceso de parada para la turbina eólica, cuando se recibe una orden de parada. Tal como se describió anteriormente, cuando el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es grande, es decir cuando la magnitud del vector suma es grande, es necesario asignar un tiempo relativamente largo para el proceso de alineamiento. Por otro lado, cuando el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es pequeño, es decir cuando la magnitud del vector suma es pequeño, puede asignarse un tiempo más corto para el proceso de alineamiento, dejando de ese modo más tiempo para garantizar que se reducen otras cargas sobre las palas de turbina eólica, por ejemplo cargas sobre la torre de turbina eólica.

La figura 2 también muestra tres palas de turbina eólica 1a, 1b y 1c. Sin embargo, en la figura 2, el sistema de coordenadas es fijo de tal manera que el eje z representa la posición de la pala de turbina eólica 1a en el momento en el que se recibe una orden de parada. Después de recibirse una orden de parada, las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c rotan con respecto al sistema de coordenadas. La posición angular de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c se denomina en lo siguiente ángulo azimutal. Después de haberse recibido una orden de parada, el ángulo azimutal puede indicarse, por ejemplo, en relación con el ángulo azimutal en el momento de la recepción de la orden de parada, en cuyo caso el ángulo azimutal es el ángulo que han rotado las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c desde que se recibió la orden de parada. El ángulo azimutal, en relación con la posición angular de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c en el momento de la recepción de la orden de parada, se ilustra en la figura 2 como  $\Psi$ .

Puede desearse que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c se alineen antes de que las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c hayan alcanzado un ángulo azimutal específico,  $\Psi_f$ , por ejemplo antes de que se haya permitido que las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c roten 1/4 de una vuelta completa. En este caso  $\Psi_f = \Psi_0 + \pi/2$ , donde  $\Psi_0$  es la posición azimutal en el momento en el que se recibe la orden de parada. Puesto que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c se seleccionan, durante el funcionamiento normal, de tal manera que se minimizan las cargas asimétricas sobre el rotor, los ángulos de paso se seleccionan, entre otros, según la posición azimutal de cada pala de turbina eólica 1a, 1b, 1c. Por consiguiente, cuando se recibe una orden de parada, y los ángulos de paso de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c ya no se ajustan individualmente, sino que las posiciones azimutales de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c continúan modificándose, las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c se alejan de las posiciones azimutales que corresponden a sus ángulos de paso ajustados individualmente. Esto tiene la consecuencia de que aumentan las cargas asimétricas sobre el rotor a medida que aumenta el ángulo azimutal,  $\Psi$ . Por tanto, se desea alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c antes de que el ángulo azimutal,  $\Psi$ , alcance un determinado ángulo máximo.

La figura 3 muestra tres gráficos que ilustran un proceso de parada de una turbina eólica según un método según una realización de la invención. El gráfico superior 2 ilustra ángulos de paso de tres palas de turbina eólica, por ejemplo las palas de turbina eólica 1a, 1b, 1c ilustradas en la figura 2, en función del tiempo, durante el proceso de parada. El gráfico central 3 ilustra la velocidad de rotor,  $\omega_R$ , en función del tiempo durante el proceso de parada, y el gráfico inferior 4 ilustra el ángulo azimutal,  $\Psi$ , en función del tiempo durante el proceso de parada.

En el tiempo 5 se recibe una orden de parada. Queda claro a partir del gráfico superior 2 que la turbina eólica se ha accionado según una estrategia de control de paso individual antes de que se recibiera la orden de parada, puesto que los ángulos de paso de las tres palas de turbina eólica difieren entre sí. Además, queda claro a partir del gráfico inferior 4 que el ángulo azimutal en el tiempo 5 de la recepción de la orden de parada se indica como  $\Psi_0$ .

Tras la recepción de la orden de parada, se calcula un ángulo azimutal final,  $\Psi_f$ , donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse, por ejemplo como  $\Psi_f = \Psi_0 + \pi/2$ , tal como se describió anteriormente.  $\Psi_f$  se indica en el gráfico inferior 4.

Además, tras la recepción de la orden de parada, se calcula una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. La medida del desalineamiento puede ser, por ejemplo, la diferencia entre el mayor ángulo de paso,  $\theta_3$ , es decir el ángulo de paso de la pala de turbina eólica que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y el menor ángulo de paso,  $\theta_1$ , es decir el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera. En este caso la medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es  $\theta_3 - \theta_1$ .

Basándose en el ángulo azimutal final calculado,  $\Psi_f$ , y en la velocidad de rotor,  $\omega$ , en el tiempo 5 de la recepción de la orden de parada, se calcula un tiempo esperado,  $t_f$ , para alcanzar el ángulo azimutal final,  $\Psi_f$ . En la figura 3 esto se indica como el tiempo 6.

Además, se calcula un tiempo,  $t_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica basándose en la medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Si el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica es grande debe esperarse que se requiera un tiempo más largo para alinear los ángulos de paso que en el caso en el que el desalineamiento de los ángulos de paso es pequeño.

Finalmente, se calcula un tiempo,  $t_i$ , para iniciar el alineamiento de paso como  $t_f - t_{PA}$ . Este punto en el tiempo se

indica como el tiempo 7 en la figura 3. Por tanto, si se inicia el alineamiento de paso en el tiempo 7, es decir en  $t_i$ , se garantiza que se permite un tiempo exactamente suficiente para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica antes del tiempo 6, es decir antes de  $t_f$ , y de ese modo, antes de alcanzarse el ángulo azimutal final,  $\Psi_f$ .

5 Además, en el tiempo 5 se inicia una primera estrategia de parada para mover los ángulos de paso de las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera, provocando de ese modo que se pare la turbina eólica. Por tanto, los ángulos de paso de las palas de turbina eólica pueden controlarse según la primera estrategia de parada mientras se realizan los cálculos descritos antes. Alternativamente, la primera estrategia de parada puede iniciarse inmediatamente cuando se han completado los cálculos descritos antes.

10 La primera estrategia de parada está diseñada para garantizar que se minimizan las cargas que actúan sobre la torre de turbina eólica. Para ello, las tres palas de turbina eólica se mueven inicialmente hacia la posición de puesta en bandera a una alta velocidad, es decir a una velocidad de paso alta. Después de haber transcurrido un tiempo predeterminado, la velocidad de paso de cada una de las palas de turbina eólica se modifica a una velocidad baja. Por consiguiente, cuando los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se controlan según la primera estrategia de parada, las velocidades de paso de las tres palas de turbina eólica son idénticas en cualquier tiempo dado. Como consecuencia, los ángulos de paso no se alinean, es decir  $\theta_3 - \theta_1$  permanece constante siempre que se aplica la primera estrategia de parada.

20 Cuando se alcanza el tiempo  $t_i$ , se realiza un cambio de estrategia de parada de la primera estrategia de parada a una segunda estrategia de parada. La segunda estrategia de parada está diseñada para proporcionar el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, mientras continúan moviéndose las palas de turbina eólica hacia la posición de puesta en bandera. Para ello, la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera se mueve hacia la posición de puesta en bandera a la velocidad baja o velocidad de paso. Las otras dos palas de turbina eólica se mueven hacia la posición de puesta en bandera a la velocidad alta o velocidad de paso. Esto permite que las dos palas de turbina eólica que tienen ángulos de paso que están más alejados de la posición de puesta en bandera se "pongan al nivel" de la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, proporcionando de ese modo el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

25 Como alternativa, la segunda estrategia de control podría incluir que la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera se mueva hacia la posición de puesta en bandera a la velocidad alta o velocidad de paso, mientras que las otras dos palas de turbina eólica se mueven hacia la posición de puesta en bandera a la velocidad baja o velocidad de paso. Esto permite que la pala de turbina eólica que está más alejada de la posición de puesta en bandera se "ponga al nivel" de las otras dos palas de turbina eólica.

30 Cuando una pala de turbina eólica que se mueve a la velocidad alta o velocidad de paso se "pone al nivel" de una pala de turbina eólica que se mueve a la velocidad baja o velocidad de paso, la velocidad de paso de la pala rápida de turbina eólica se reduce hasta la baja velocidad o velocidad de paso, y las palas de turbina eólica alineadas se mueven juntas hacia la posición de puesta en bandera.

Puede observarse a partir del gráfico superior 2 de la figura 3 que los ángulos de paso de las tres palas de turbina eólica se alinean exactamente cuando se alcanza  $t_f$  en el tiempo 6.

40 Según una realización, al menos algunos de los cálculos descritos antes con relación a  $t_f$ ,  $t_{PA}$  y/o  $t_i$  pueden realizarse de manera continua mientras se realiza la primera estrategia de parada. De ese modo, el tiempo 7 para cambiar a la segunda estrategia de parada se evalúa de manera constante y vuelve a estimarse para tener en cuenta modificaciones en diversas condiciones, y se garantiza de ese modo que se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica "justo a tiempo", aunque se modifiquen las condiciones operativas, por ejemplo la velocidad de rotor,  $\omega$ , y/o la velocidad del viento, durante el proceso de parada.

45 Debe observarse que el proceso descrito anteriormente con referencia a la figura 2 podría realizarse, alternativamente, sin calcular intervalos temporales de puntos en el tiempo, sino calculando más bien intervalos de ángulo azimutal y posiciones de ángulo azimutal. Sin embargo, las consideraciones anteriores serían esencialmente las mismas.

50 La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método según una realización de la invención. El proceso se inicia en la etapa 8. En la etapa 9, se investiga si se ha recibido o no una orden de parada. Si este no es el caso, se continúa con el funcionamiento normal de la turbina eólica, y se devuelve el proceso a la etapa 9 para una monitorización continuada para una orden de parada.

55 En el caso en el que la etapa 9 revela que se ha recibido una orden de parada, el proceso se hace avanzar a la etapa 10, en la que se obtiene una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Tal como se describió anteriormente, la medida del desalineamiento puede ser, por ejemplo, la diferencia entre el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera y el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera. Alternativamente, la medida del desalineamiento puede ser la magnitud de un vector suma, tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 1. O bien, la medida del

desalineamiento puede ser cualquier otra medida adecuada que refleje cómo de alineados o desalineados están los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.

5 En la etapa 11, se calcula un ángulo azimutal objetivo,  $\Psi_f$ . El ángulo azimutal objetivo,  $\Psi_f$ , es el ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse, a más tardar, para evitar cargas asimétricas excesivas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor. En la realización ilustrada en la figura 4, se supone que los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse antes de que el rotor haya rotado  $\frac{1}{4}$  de una vuelta completa, y el ángulo azimutal objetivo,  $\Psi_f$ , se calcula por tanto como  $\Psi_f = \Psi_0 + \pi/2$ , donde  $\Psi_0$  es la posición azimutal del rotor en el momento en el que se recibió la orden de parada.

10 En la etapa 12, se calcula un tiempo,  $t_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Este cálculo se realiza basándose en la medida obtenida previamente para el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, puesto que un desalineamiento grande requerirá normalmente más tiempo para alinear los ángulos de paso que un desalineamiento pequeño. En la realización ilustrada en la figura 4, se calcula el tiempo de alineamiento como  $t_{PA} = (\theta_3 - \theta_1)/(k_{alta} - k_{baja})$ , donde  $\theta_1$  es el ángulo de paso de la pala de turbina eólica que está más alejada de la posición de puesta en bandera,  $\theta_3$  es el ángulo de paso de la pala de turbina eólica que está más próxima a la posición de puesta en bandera,  $k_{alta}$  es la mayor velocidad de paso disponible y  $k_{baja}$  es la menor velocidad de paso disponible. Por tanto,  $t_{PA}$  calculado de esta manera refleja el tiempo más corto posible para alinear las dos palas de turbina eólica que están más alejadas entre sí, si se mueve una de ellas a la mayor velocidad de paso disponible y se mueve la otra a la menor velocidad de paso disponible.

15 En la etapa 13 se calcula un tiempo,  $t_i$ , para cambiar de una primera estrategia de parada a una segunda estrategia de parada. La segunda estrategia de parada está diseñada de tal manera que proporciona el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica y, por tanto, debe seleccionarse  $t_i$  de tal manera que se garantiza que se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica antes de alcanzarse el ángulo azimutal objetivo,  $\Psi_f$ . En la realización ilustrada en la figura 4, se calcula  $t_i$  como  $t_i = (\Psi_f - \Psi_0)/\omega_R - t_{PA}$ , donde  $\omega_R$  es la velocidad de rotor en el momento en el que se recibe la orden de parada. Por tanto, se calcula el tiempo estimado que transcurre antes de alcanzarse el ángulo azimutal objetivo,  $\Psi_f$ , a la velocidad de rotor actual,  $\omega_R$ , y el tiempo,  $t_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica se resta de este tiempo. De ese modo, se garantiza que se asigna el tiempo exactamente suficiente para alinear los ángulos de paso, y no se comienza el alineamiento antes de que sea absolutamente necesario.

20 En la etapa 14, se selecciona una primera estrategia de parada, y las palas de turbina eólica se mueven hacia la posición de puesta en bandera según la primera estrategia de parada. La primera estrategia de parada puede estar diseñada, por ejemplo, para garantizar que se minimizan las cargas sobre diversas partes de la turbina eólica, tales como cargas sobre la torre de turbina eólica. Por ejemplo, la primera estrategia de parada puede ser la primera estrategia de parada descrita anteriormente con referencia a la figura 3.

25 Se aplica la primera estrategia de parada hasta que se alcanza el tiempo,  $t_i$ . Por consiguiente, en la etapa 15, se investiga si se ha alcanzado o no  $t_i$ . Si este no es el caso, se devuelve el proceso a la etapa 14, es decir se aplica todavía la primera estrategia de parada.

30 Si la etapa 15 revela que se ha alcanzado  $t_i$ , el proceso se hace avanzar a la etapa 16 en la que se realiza un cambio de la primera estrategia de parada a una segunda estrategia de parada. Tal como se describió anteriormente, la segunda estrategia de parada está diseñada para proporcionar el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. La segunda estrategia de parada puede ser, por ejemplo, la segunda estrategia de parada descrita anteriormente con referencia a la figura 3.

En la etapa 17, se investiga si se ha completado o no la parada. Si este no es el caso, se devuelve el proceso a la etapa 16, es decir se continúa con la parada según la segunda estrategia de parada. Si la etapa 17 revela que se ha completado la parada, se finaliza el proceso en la etapa 18.

35 Por tanto, el método ilustrado en la figura 4 garantiza que se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica "justo a tiempo". De ese modo, se garantiza que se evitan cargas asimétricas excesivas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor, mientras se garantiza que pueden minimizarse las cargas que actúan sobre otras partes de la turbina eólica.

40 La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método según un aspecto alternativo. El proceso se inicia en la etapa 19. En la etapa 20, se investiga si se ha recibido o no una orden de parada. Si este no es el caso, se continúa con el funcionamiento normal de la turbina eólica, y se devuelve el proceso a la etapa 20 para una monitorización continuada para una orden de parada.

45 En el caso en el que la etapa 20 revela que se ha recibido una orden de parada, el proceso se hace avanzar a la etapa 21, en la que se selecciona una primera estrategia de parada. Las palas de turbina eólica se mueven entonces hacia una posición de puesta en bandera de tal manera que todas las palas de turbina eólica se mueven a velocidades de paso idénticas. Por consiguiente, cualquier desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, que estuviese presente en el momento de la recepción de la orden de parada, seguirá estando

5 durante esta parte del proceso de parada. Por tanto, no se reduce el posible desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. En su lugar, la primera estrategia de parada garantiza preferiblemente que se reducen otras cargas sobre la turbina eólica, tales como cargas sobre la torre de turbina eólica, tan rápido como sea posible. La primera estrategia de parada puede ser, por ejemplo, la primera estrategia de parada descrita anteriormente con referencia a la figura 3.

10 A continuación, el proceso se hace avanzar a la etapa 21, en la que se selecciona una segunda estrategia de parada, es decir se realiza un cambio de la primera estrategia de parada a la segunda estrategia de parada. La segunda estrategia de parada es de un tipo que proporciona el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Por tanto, durante esta parte del proceso de parada, se reduce el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, y de ese modo, se reducen las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o sobre el rotor. La segunda estrategia de parada puede ser, por ejemplo, una de las estrategias de alineamiento de paso descritas anteriormente, tales como la segunda estrategia de parada descrita anteriormente con referencia a la figura 3.

15 En la etapa 23, se investiga si se ha completado o no la parada. Si este no es el caso, se devuelve el proceso a la etapa 22, es decir se continúa con la parada según la segunda estrategia de parada. Si la etapa 23 revela que se ha completado la parada, se finaliza el proceso en la etapa 24.

20 Por tanto, en el método ilustrado en la figura 5, durante la parada de la turbina eólica, las palas de turbina eólica se mueven inicialmente hacia la posición de puesta en bandera a velocidades de paso idénticas, y posteriormente las palas de turbina eólica se mueven hacia la posición de puesta en bandera de tal manera que se alinean los ángulos de paso de las palas de turbina eólica. Por consiguiente, el método equilibra la necesidad de reducir rápidamente diversas cargas, tales como cargas sobre la torre de turbina eólica, y la necesidad de alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, reduciendo de ese modo las cargas asimétricas sobre las palas de turbina eólica y/o el rotor.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para controlar una turbina eólica durante la parada, comprendiendo dicha turbina eólica un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, comprendiendo el método las etapas de:
  - 5 - recibir una orden de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica,
  - obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica,
  - calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, basándose en dicha medida del desalineamiento,
  - 10 - estimar un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse,
  - mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una primera estrategia de parada hasta que el tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal que quedan hasta el punto en el tiempo y/o la posición de ángulo azimutal estimados corresponden al tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica, o hasta que se satisface(n) uno o más criterios predefinidos por la turbina eólica, la primera estrategia de parada comprende mover inicialmente las palas de turbina eólica a una velocidad de paso inicial,  $k_1$ , y posteriormente mover las palas de turbina eólica a una velocidad de paso final,  $k_2$ , donde  $k_1 > k_2$ , y
  - 15 - posteriormente mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según una segunda estrategia de parada, proporcionando dicha segunda estrategia de parada el alineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.
2. Método según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de monitorizar una aceleración del rotor de la turbina eólica durante la etapa de mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera según la primera estrategia de parada, y en el que la velocidad de paso de las palas de turbina eólica se cambia de la velocidad de paso inicial,  $k_1$ , a la velocidad de paso final,  $k_2$ , basándose en la aceleración monitorizada del rotor.
- 25 3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda estrategia de parada comprende:
  - comparar ángulos de paso de las palas de turbina eólica,
  - seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica, basándose en la etapa de comparación, y
  - 30 - mover cada una de las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera a su velocidad de paso seleccionada.
4. Método según la reivindicación 3, en el que la etapa de comparar ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende identificar una primera pala de turbina eólica, una segunda pala de turbina eólica y una tercera pala de turbina eólica, en el que la primera pala de turbina eólica es la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, la tercera pala de turbina eólica es la pala de turbina eólica que tiene un ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y la segunda pala de turbina eólica tiene un ángulo de paso intermedio.
- 35 5. Método según la reivindicación 4, en el que la etapa de comparar ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende además comparar el ángulo de paso,  $\theta_2$ , de la segunda pala de turbina eólica con un promedio del ángulo de paso,  $\theta_1$ , de la primera pala de turbina eólica y el ángulo de paso,  $\theta_3$ , de la tercera pala de turbina eólica.
- 40 6. Método según la reivindicación 5, en el que la etapa de seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica comprende:
  - 45 - seleccionar una velocidad de paso alta,  $k_{alta}$ , para la primera pala de turbina eólica,
  - seleccionar una velocidad de paso baja,  $k_{baja}$ , para la tercera pala de turbina eólica,
  - seleccionar la velocidad de paso baja,  $k_{baja}$ , para la segunda pala de turbina eólica, en el caso en el que  $\theta_2$  es mayor que el promedio de  $\theta_1$  y  $\theta_3$ , y
  - seleccionar la velocidad de paso alta,  $k_{alta}$ , para la segunda pala de turbina eólica, en el caso en el que  $\theta_2$  es menor que o igual al promedio de  $\theta_1$  y  $\theta_3$ .
  - 50

7. Método según las reivindicaciones 3-5, en el que la etapa de seleccionar individualmente una velocidad de paso para cada pala de turbina eólica comprende seleccionar velocidades de paso que hacen que las palas de turbina eólica alcancen una posición alineada de manera sustancialmente simultánea.
- 5 8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende determinar los ángulos de paso de las palas de turbina eólica y comparar entre sí los ángulos de paso determinados.
9. Método según la reivindicación 8, en el que la etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende además determinar un primer ángulo de paso,  $\theta_1$ , que es el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, y un tercer ángulo de paso,  $\theta_3$ , que es el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y en el que la etapa de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal comprende calcular un tiempo,  $t_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica como:
- 10 
$$t_{PA} = (\theta_3 - \theta_1) / (k_{alta} - k_{baja}),$$
- donde  $k_{alta}$  es la mayor velocidad de paso disponible y  $k_{baja}$  es la menor velocidad de paso disponible.
- 15 10. Método según la reivindicación 8, en el que la etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende además determinar un primer ángulo de paso,  $\theta_1$ , que es el ángulo de paso que está más alejado de la posición de puesta en bandera, y un tercer ángulo de paso,  $\theta_3$ , que es el ángulo de paso que está más próximo a la posición de puesta en bandera, y en el que la etapa de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal comprende calcular un intervalo de ángulo azimutal,  $\Psi_{PA}$ , requerido para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica como:
- 20 
$$\Psi_{PA} = (\theta_3 - \theta_1) / (k_{alta} - k_{baja}) \cdot \omega_R,$$
- donde  $k_{alta}$  es la mayor velocidad de paso disponible,  $k_{baja}$  es la menor velocidad de paso disponible y  $\omega_R$  es la velocidad de rotor.
- 25 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que la etapa de obtener una medida del desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende medir una o más cargas que actúan sobre la turbina eólica.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica comprende estimar una trayectoria de alineamiento, basándose en la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica, basándose en una derivada temporal de la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica, y/o basándose en la medida obtenida para el desalineamiento de los ángulos de paso de las palas de turbina eólica.
- 30 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el uno o más criterios predefinidos que ha de satisfacer la turbina eólica incluyen los ángulos de paso que han alcanzado una posición en la que las cargas sobre la torre de la turbina eólica se han reducido hasta un nivel por debajo de un valor umbral predefinido.
- 35 14. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de estimar un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse comprende definir un ángulo azimutal del rotor de la turbina eólica donde deben alinearse los ángulos de paso, y calcular cuándo se alcanza este ángulo azimutal, basándose en la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica y/o basándose en una derivada temporal de la velocidad de rotor actual del rotor de turbina eólica.
- 40 15. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además las etapas de calcular un tiempo y/o intervalo de ángulo azimutal requeridos para alinear los ángulos de paso de las palas de turbina eólica y estimar un punto en el tiempo y/o una posición de ángulo azimutal donde los ángulos de paso de las palas de turbina eólica deben alinearse, durante las etapas de mover las palas de turbina eólica hacia una posición de puesta en bandera.
- 45 16. Unidad de control para controlar ángulos de paso de una turbina eólica, comprendiendo la turbina eólica un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, estando la unidad de control adaptada para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 50 17. Turbina eólica que comprende un rotor que porta al menos tres palas de turbina eólica adaptadas para que se regule su paso individualmente, y una unidad de control según la reivindicación 16.



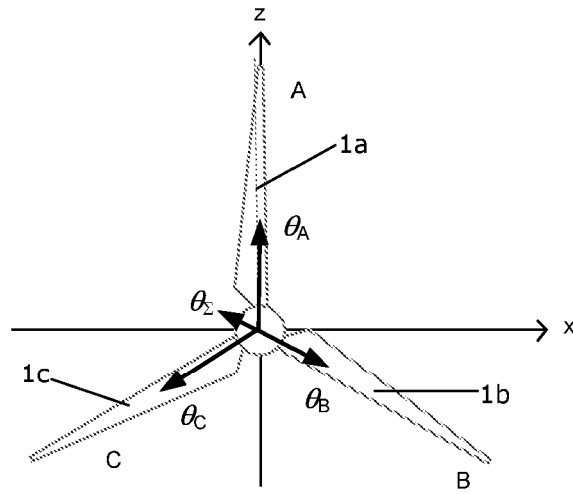


Fig. 1

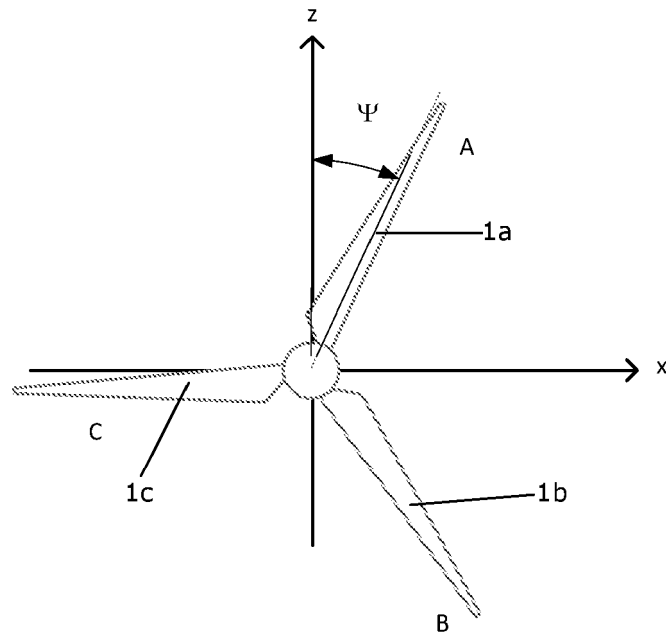


Fig. 2

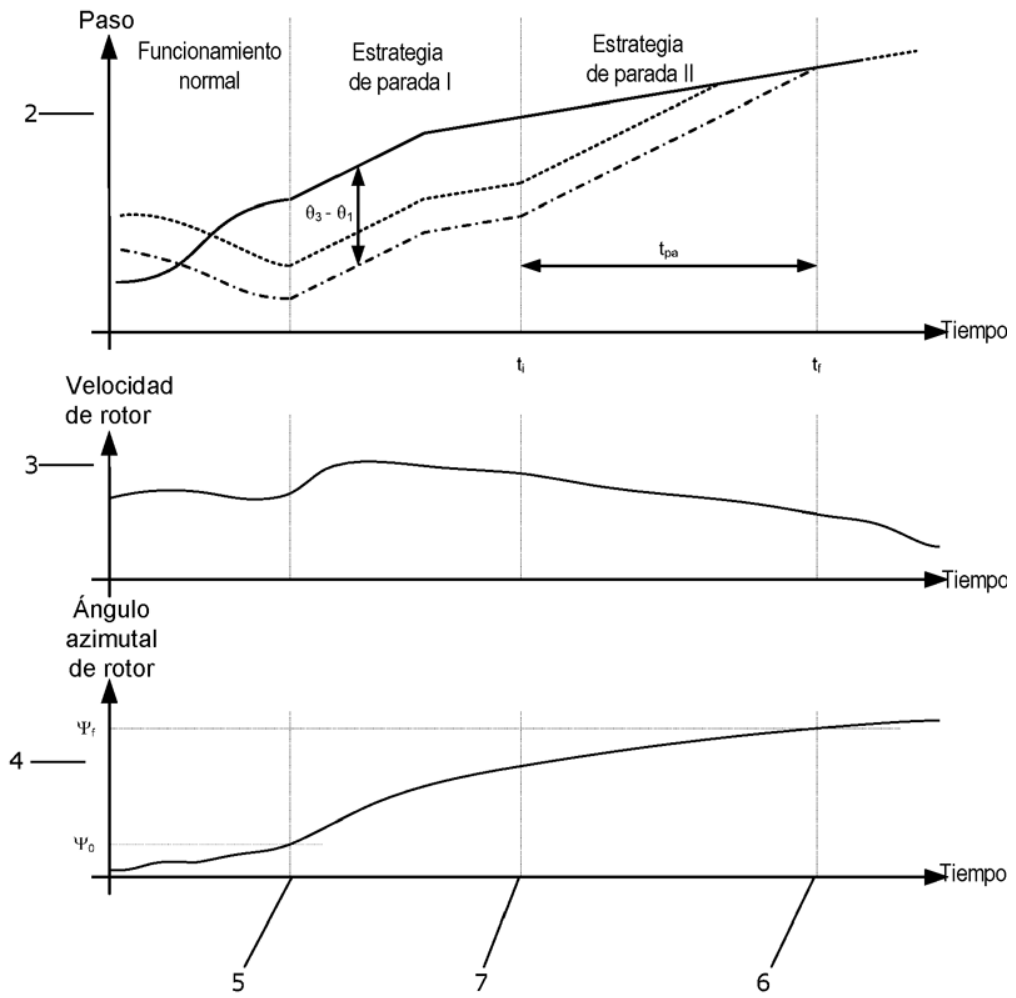


Fig. 3

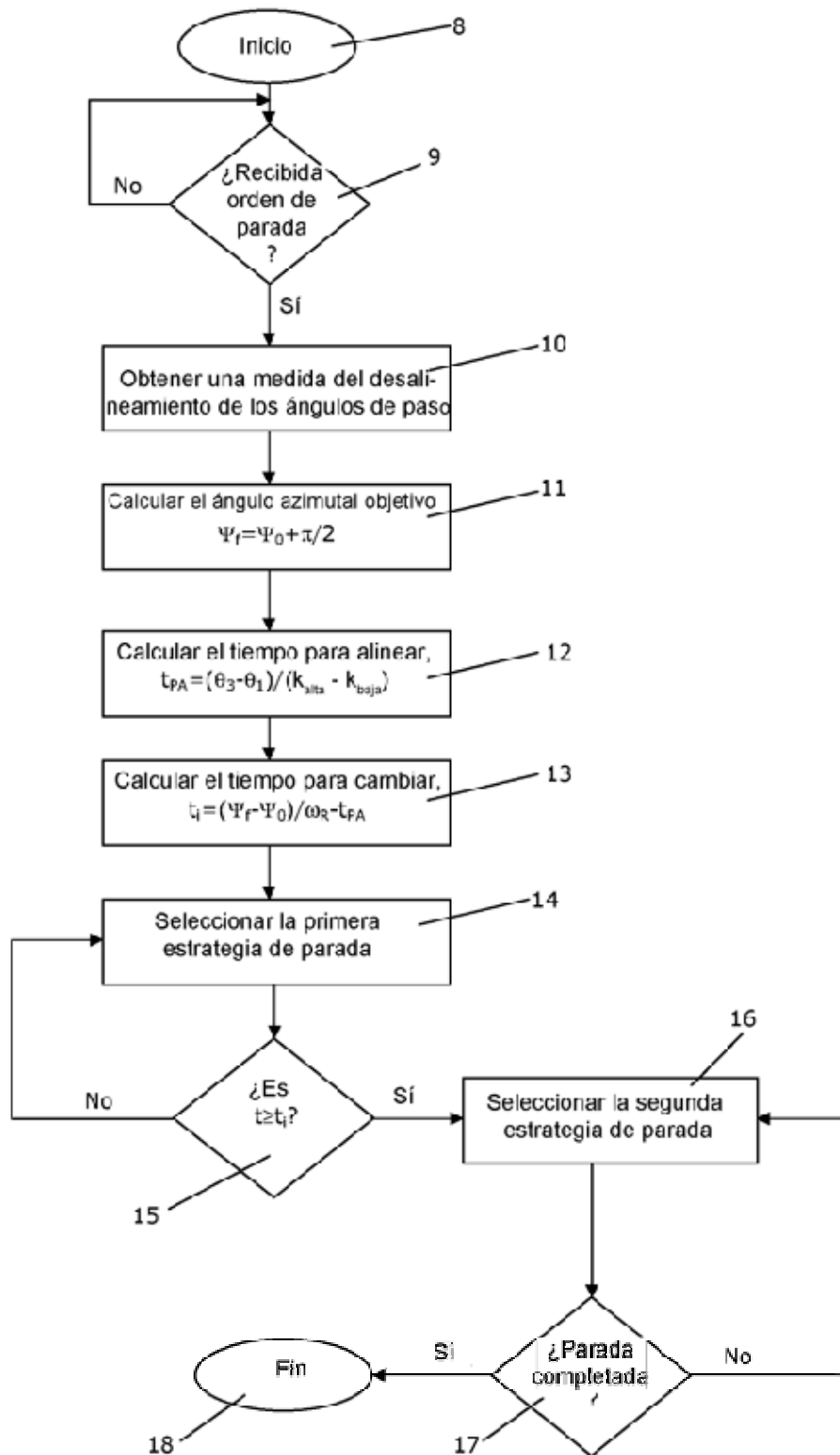


Fig. 4

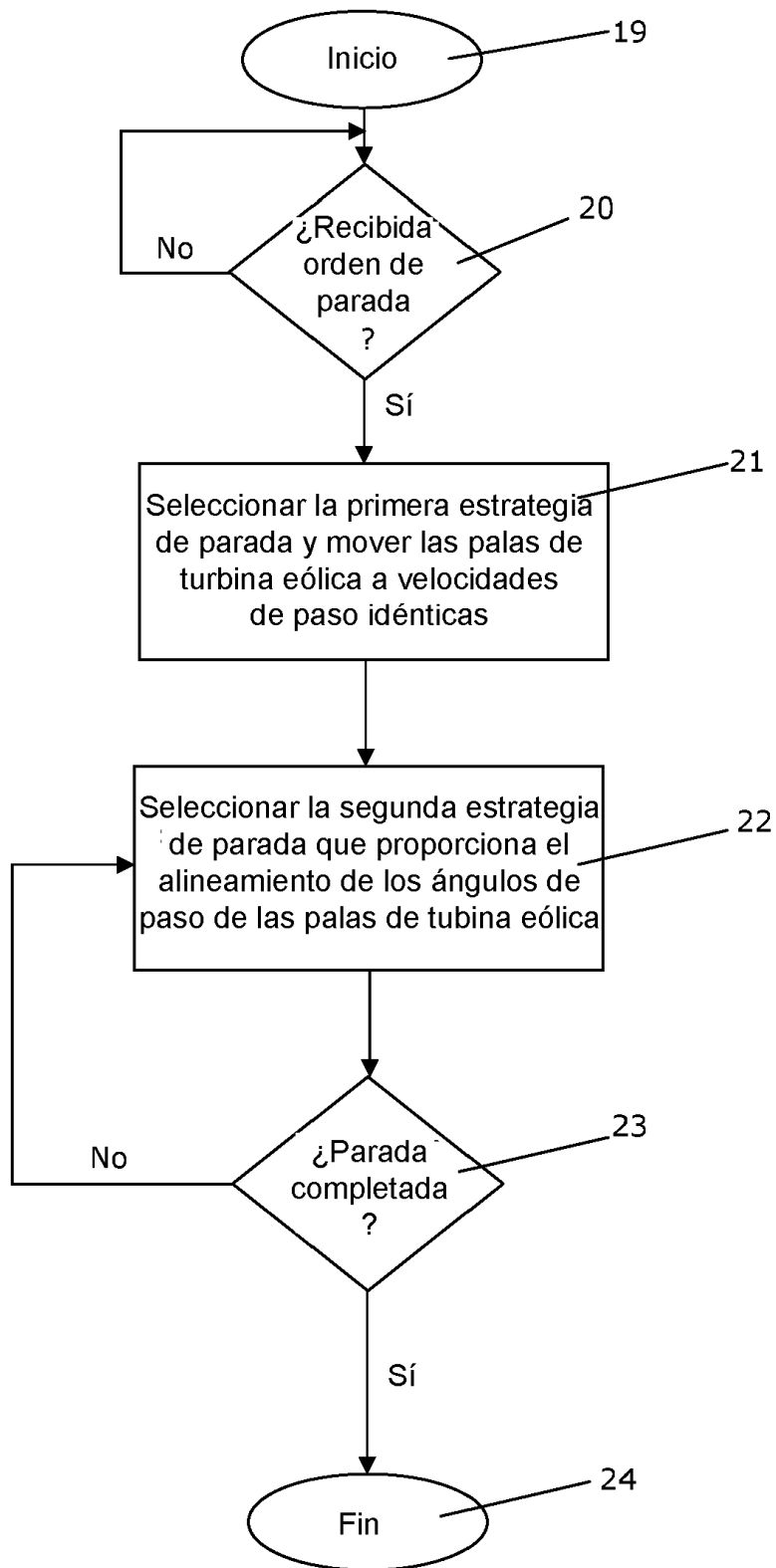


Fig. 5