

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 599 353**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2010** **E 10179698 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016** **EP 2306005**

54 Título: **Procedimiento de reducción de vibraciones en turbinas eólicas y turbina eólica que implementa dicho procedimiento**

30 Prioridad:

**30.09.2009 US 570396**

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

**01.02.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**VELDKAMP, BART;  
HESSEL, CHRISTOPH;  
NIES, JACOB J. y  
HOFFMANN, TILL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 599 353 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de reducción de vibraciones en turbinas eólicas y turbina eólica que implementa dicho procedimiento

La presente solicitud se refiere en general a procedimientos de reducción de vibraciones que ocurren en turbinas eólicas. Más particularmente, la presente solicitud se refiere a procedimientos de reducción de las vibraciones en turbinas eólicas en situaciones donde no es posible la guiñada de la turbina eólica, es decir, el giro de una barquilla de turbina eólica sobre el eje de torre.

Las instalaciones eólicas, también denominadas granjas eólicas o parques eólicos, incluyen varias turbinas eólicas instaladas relativamente cerca entre sí en un área definida. Un fenómeno que se sabe que sucede en tales granjas eólicas se denomina formación de vórtices. En particular, el viento que fluye alrededor de la torre de una turbina eólica crea una calle de vórtices de von Karman corriente abajo de la torre de turbina eólica. En condiciones favorables para el fenómeno, tales como cuando sucede un intervalo de velocidad del viento particular o una dirección del viento en relación a la turbina y posición del rotor, la turbina puede comenzar a oscilar perpendicular a la dirección del viento. Tales oscilaciones pueden entonces producir tensiones en componentes estructurales de la turbina eólica. Véanse, por ejemplo, el documento EP 2 169 219, el documento US 6.441.507 y el documento EP 2 075 462.

En vista de lo anterior, se presenta un procedimiento, como se define en la reivindicación 1 dependiente, de reducción de vibraciones de una turbina eólica en una situación donde la guiñada de un rotor eólico de dicha turbina eólica no es posible al menos temporalmente.

Diversos aspectos, ventajas y características de la presente invención son evidentes de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una vista frontal esquemática de una turbina eólica;

la Figura 2 es una vista lateral superior superpuesta de la turbina eólica mostrada en la Figura 1;

la Figura 3 es una vista lateral superior superpuesta de la turbina eólica mostrada en la Figura 1 con un ajuste de los ángulos de paso de pala de rotor de acuerdo con una realización de la presente invención;

la Figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con una realización de la presente invención;

la Figura 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con otra realización de la presente invención;

la Figura 6 es una vista lateral de una turbina eólica de acuerdo con una realización de la presente invención; y,

la Figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con otra realización más de la presente invención.

A continuación se hará referencia en detalle a las diversas realizaciones, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en cada figura. Cada ejemplo se proporciona a modo de ejemplo y no se entiende como una limitación. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización pueden usarse en o en conjunción con otras realizaciones para producir realizaciones más adicionales. Se pretende que la presente divulgación incluya tales modificaciones y variaciones.

La Figura 1 es una vista frontal esquemática de una turbina 100 eólica que tiene tres palas 140, 150, 160 de rotor. Sin embargo, las realizaciones y ejemplos descritos en el presente documento no se limitan a turbinas eólicas con tres palas de rotor sino que puede implementarse también en turbinas eólicas que tienen un número diferente de palas de rotor, en particular también solo dos palas de rotor pero también cuatro o más palas de rotor. Las tres palas 140, 150, 160 de rotor se disponen en un plano de pala de rotor alrededor de un buje 130 de rotor que se une a una barquilla 120 de la turbina eólica. En este contexto, debería entenderse que los rotores de turbina eólica pueden tener una forma de cono de modo que los ejes de paso de las palas de rotor no están exactamente alineados con un plano sino que forman un cono plano. Tales realizaciones en las que los ejes de las palas se disponen en un cono en vez de en un plano son sin embargo capaces de implementar las realizaciones descritas en el presente documento. Por lo tanto, siempre que se hace referencia al plano de pala de rotor, las realizaciones en forma de cono también se incluyen de este modo. Tanto en realizaciones planas y en forma de cono, el ángulo entre dos palas de rotor adyacentes habitualmente es igual y, en la realización específica mostrada, de 120 grados. Cada una de las palas 140, 150, 160 de rotor es giratoria sobre su eje de paso (por ejemplo, el eje 146 de paso para la pala 140 de rotor). Las líneas A-A, B-B, C-C representan vistas laterales superiores a lo largo del eje de pala de rotor mostrado en la Figura 2. La barquilla 120 se monta en la parte superior de torre 110. Habitualmente, la barquilla 120 es giratoria sobre un eje 115 vertical de torre 110 por medio de un accionamiento 250 de guiñada. Por lo tanto, el rotor eólico, es decir el buje 130 de rotor y las palas 140 de rotor montadas en el mismo, pueden alinearse con la dirección del viento de modo que el plano de pala de rotor se orienta sustancialmente perpendicular a la dirección del viento. Habitualmente, el accionamiento 250 de guiñada recibe energía mediante la potencia suministrada por una red de suministro eléctrico a la que se conecta la turbina 100 eólica. En el caso de una pérdida de red, por

ejemplo, el accionamiento 250 de guiñada no tiene suficiente suministro de potencia y, por lo tanto, se desactiva para alinear el rotor eólico con respecto a la dirección del viento. Debido a tal desalineación, puede suceder la formación de vórtices como se explicó anteriormente.

La Figura 2 es una vista lateral superior superpuesta de la turbina eólica mostrada en la Figura 1. El eje 6 de rotor de la turbina se extiende sustancialmente coaxialmente con el árbol 170 de rotor y sustancialmente perpendicular al plano de pala de rotor RBP en el que se disponen las palas de rotor. El buje 130 de rotor se une de manera giratoria a la barquilla 120. Las vistas en sección laterales de todas las tres palas 140, 150 y 160 de rotor a lo largo de las líneas A-A, B-B y C-C se muestran de forma superpuesta en la parte superior del buje 130 de rotor. Se entenderá que cada vista en sección representa el momento en el que la respectiva pala de rotor ha alcanzado su posición superior.

Además, los ángulos Pa, Pb, Pc de paso de las tres palas 140, 150 y 160 de rotor, respectivamente, se muestran en la Figura 2. En operación normal de la turbina eólica, los tres ángulos Pa, Pb y Pc de paso serán idénticos o diferirán entre sí solo por unos pocos grados. Los ángulos Pa, Pb, Pc de paso se muestran diferentes únicamente para fines de aclaración. Cada una de las palas 140, 150, 160 de rotor tiene un borde 142, 152, 162 de ataque y un borde 144, 154, 164 de salida. Para los fines de la presente divulgación, el ángulo de paso se define como sigue. Una posición de pala de rotor se define para tener un ángulo de paso de 0 grados si los bordes de ataque y salida de la pala de rotor se sitúan dentro del plano de pala de rotor RBP (es decir, el borde de ataque mirando a la izquierda y el borde de salida mirando a la derecha en la Figura 2). Rotando la pala desde esta posición en dirección horaria, donde el borde de ataque se gira hacia la nariz del buje 130 de rotor, se gana un ángulo de pala positivo siendo +90 grados la posición Pa mostrada para la vista en sección A-A de la pala 140. Como se muestra en la Figura 2, el borde 142 de ataque y el borde 144 de salida están ahora alineados con el eje 6 de rotor. Los ángulos de paso Pb y Pc mostrados en la Figura 2 son también positivos siendo Pb más pequeño y siendo Pc mayor de +90 grados. La pala de rotor tiene un ángulo de paso de +180 grados (no mostrado) si su borde de ataque mira a la derecha y su eje de salida mira a la izquierda en la Figura 2 a lo largo del plano de pala de rotor RBP. Los ángulos de paso mayores de +180 grados resultarán en el borde de ataque mirando hacia la barquilla 120. Si la pala de rotor se gira al contrario de la dirección horaria, es decir el borde de ataque mirando hacia la barquilla 120, el ángulo de paso asume valores negativos. Por ejemplo el ángulo de paso de -90 grados corresponde a una posición donde el borde 144 de salida mira hacia la nariz del buje 130 de rotor y el borde 142 de ataque mira hacia la barquilla 120. Por consiguiente, cualquier ángulo de paso puede describirse mediante un valor positivo y un valor negativo, por ejemplo, siendo +270 grados la misma posición que -90 grados. Esto se muestra como un ejemplo en la Figura 3 con respecto a pala 140 de rotor. Las posiciones de las palas de rotor para otros ángulos de paso pueden obtenerse de las definiciones dadas anteriormente.

Además, el ángulo Pa de paso de +90 grados mostrado en la Figura 2 para la pala 140 de rotor también se denomina la posición de bandera de la pala de rotor. En la posición de bandera, la pala de rotor no extrae una cantidad sustancial de energía del viento e incluso puede resultar en frenado aerodinámico del rotor eólico. Por lo tanto, las palas 140, 150, 160 de rotor se ponen en posición de bandera cuando la turbina está en reposo y no se genera energía. Sin embargo, lo anterior es solo cierto siempre y cuando dirección del viento es sustancialmente perpendicular al plano de pala de rotor RBP como se indica mediante las flechas 50 discontinuas en la Figura 2. En una situación donde la guiñada de la turbina eólica no es posible al menos temporalmente, por ejemplo debido a pérdida de red, el plano de pala de rotor RBP puede desalinearse con respecto a la dirección del viento como se indica mediante las flechas 60 continuas en la Figura 2. En la situación ilustrativa representada en la Figura 2, el plano de pala de rotor RBP se desalinea en 90 grados con respecto a la dirección 60 del viento. En otras palabras, en lugar de ser perpendicular a la dirección del viento, el plano de pala de rotor RBP es paralelo a la dirección 60 del viento. En esta situación, se mejora la formación de vórtices si todas las tres palas de rotor están en la posición de bandera. En particular, las oscilaciones en sentido longitudinal o vibraciones a lo largo del eje 6 de rotor, se provocan mediante la formación de vórtices. También, pueden provocarse vibraciones en otras direcciones espaciales por la formación de vórtices y pueden variar dependiendo de la desalineación entre el plano de pala de rotor RBP y la dirección del viento. El mismo fenómeno también puede suceder si una o más de las palas de rotor tienen un ángulo de paso de -90 grados. Por lo tanto, las oscilaciones y vibraciones mencionadas anteriormente también pueden suceder durante situaciones donde el motor eólico está en reposo con las palas que tienen un ángulo de paso de -90 grados o con algunas palas que tienen un ángulo de paso de +90 grados y otras que tienen un ángulo de paso de -90 grados.

En una realización de la presente invención, un primer ángulo Pa de paso de una primera pala 140 de rotor y un segundo ángulo Pb de paso de una segunda pala 150 de rotor se ajustan de tal forma que el primer y segundo ángulos Pa, Pb de paso difieren en al menos 30 grados. Por ejemplo, el primer ángulo Pa de paso puede establecerse a -90 grados y el segundo ángulo Pb de paso puede establecerse a +30 grados. Debido a la gran diferencia entre el primer y segundo ángulos de paso, los efectos provocados por la formación de vórtices se reducen considerablemente. En particular, se amortiguan las vibraciones en la dirección en sentido longitudinal del buje 130 de rotor (en la dirección del eje 6 de rotor). Por lo tanto, se reducen las cargas vibratorias sobre el árbol 170 de rotor y otros componentes de cadena de tren propulsor (por ejemplo, caja 230 de engranajes y generador 240 mostrados en la Figura 6). Por lo tanto, este procedimiento es particularmente útil en situaciones donde la guiñada del rotor eólico no es posible al menos temporalmente, tales como durante una pérdida de red. Por ejemplo, tras ajustar el primer y segundo ángulos de paso como se ha descrito anteriormente, el rotor eólico puede estar en

reposo durante la duración de la pérdida de red y la turbina se salvaguarda contra los efectos adversos de la formación de vórtices.

Como se ha explicado anteriormente, el efecto de amortiguación de vibración resulta de una diferencia considerable en ángulos de paso. Por lo tanto, el primer y segundo ángulos de paso pueden diferir en al menos 45 grados. En particular, el efecto de amortiguación en una dirección específica se mejora cuando se amplía el área en sección transversal de las palas de rotor que miran en esta dirección. En otras palabras, la amortiguación de vibraciones en una dirección específica se mejora cuando el lado ancho de la pala mira en esta dirección ya que la resistencia del aire de la pala amortiguará las vibraciones en esta dirección. En una situación sin capacidad de guiñada, las palas se establecen en diferentes ángulos de paso de modo que la amortiguación sucede en cualquier circunstancia y en particular con dirección de viento variable.

Además, una tercera pala 160 de rotor puede ser parte del concepto de reducción de vibración descrito anteriormente. En una realización, el tercer ángulo Pc de paso de la tercera pala 160 de rotor se ajusta de tal forma que Pc es considerablemente diferente del primer y segundo ángulos Pa y Pb de paso. Por ejemplo, el tercer ángulo Pc de paso puede diferir del primer y segundo ángulos Pa, Pb de paso en al menos 30 grados, respectivamente. Una realización ilustrativa de tal disposición se muestra en la Figura 3, que es una vista lateral superior superpuesta de la turbina eólica mostrada en la Figura 1. En la realización mostrada en la Figura 3, la primera pala 140 de rotor tiene un ángulo Pa de paso de -90 grados, la segunda pala 150 de rotor tiene un ángulo de paso de +30 grados y la tercera pala 160 de rotor tiene un ángulo Pc de paso de +150 grados. Por consiguiente, la diferencia angular entre el primer y segundo ángulos Pa, Pb de paso es de 120 grados cuando se mide en dirección horaria, entre el segundo y tercer ángulos Pb, Pc de paso es de 120 grados cuando se mide en dirección horaria y entre el primer y tercer ángulos Pa, Pc de paso es de 120 grados cuando se mide en dirección horaria. Por supuesto, pueden elegirse otros valores para los ángulos de paso y las diferencias angulares entre los mismos de acuerdo con las circunstancias de modo que las posiciones tienen una diferencia angular que es o equivalente o no equivalente. En una realización, por ejemplo, el primer ángulo Pa de paso es de -90 grados, el segundo ángulo Pb de paso es de +45 grados y el tercer ángulo Pc de paso es de cero grados. En otra realización, el primer ángulo Pa de paso es de +90 grados, el segundo ángulo Pb de paso es de -30 grados y el tercer ángulo Pc de paso es de -150 grados.

Como se ha mencionado anteriormente, algunas realizaciones emplean incluso diferencias angulares más grandes de tan solo 30 grados en las que el tercer ángulo de paso difiere en dirección horaria del primer y segundo ángulos de paso en al menos 45 grados, respectivamente. Pueden usarse incluso diferencias más grandes entre el primer, segundo y tercer ángulos Pa, Pb, Pc de paso, respectivamente, tales como 60 grados, 80 grados, 90 grados o 120 grados. Por ejemplo, la diferencia en dirección horaria entre el primer y segundo ángulo Pa, Pb de paso puede estar en el intervalo de 30 a 150 grados, particularmente de 45 a 120 grados, más particularmente de 60 a 90 grados. En otra realización, la diferencia en dirección horaria entre el segundo y tercer ángulos Pb, Pc de paso está en el intervalo de 30 a 120 grados, particularmente de 45 a 105 grados y más particularmente de 60 a 90 grados. También, la diferencia en dirección horaria entre el primer y tercer ángulos Pa, Pc de paso está en el intervalo de 60 a 270 grados, particularmente de 90 a 240 grados, más particularmente de 120 a 180 grados en algunas realizaciones. En algunas realizaciones al menos uno de los ángulos de paso está en el intervalo de 0 grados hasta, pero sin incluir, 180 grados y al menos uno de los ángulos de paso está en el intervalo de 180 grados hasta, pero sin incluir, 360 grados. En otras realizaciones, uno de los ángulos de paso se establece a cero grados.

Una realización específica de un procedimiento 400 como se ha descrito anteriormente se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 4. En la misma, la turbina eólica se supervisa continuamente para determinar si la guiñada de la turbina eólica no es posible temporalmente en el bloque 405 de decisión. En el caso de que se detecte la pérdida de red o cualquier otra decisión que afecta la capacidad de guiñada de la turbina eólica, el procedimiento procede a ajustar los ángulos de paso de las palas de rotor y los establece a -35 grados, cero grados y +35 grados para reducir vibraciones, en particular vibraciones en sentido longitudinal debido a la formación de vórtices en el bloque 410. Los ángulos de paso particulares son, sin embargo, solo ejemplos y pueden usarse valores de ángulo de paso diferentes. En un bucle 415, se supervisa si todavía existe la condición de pérdida de red. Siempre que exista la incapacidad de suministrar potencia al accionamiento de guiñada, se mantiene la configuración de los ángulos de paso.

Debería entenderse que el ajuste de los ángulos de paso y la supervisión de la red pueden realizarse sin suministro de potencia de la red. Habitualmente, las turbinas eólicas incluyen un suministro de potencia de emergencia, tales como baterías, acumuladores, condensadores o similares, que permiten el paso de las palas en situaciones donde la red no está disponible como suministro de potencia. Por tanto, el ajuste de los ángulos de paso descrito puede afectarse mediante el suministro de potencia de emergencia. Sin embargo, el suministro de potencia de emergencia tiene una capacidad de almacenamiento limitada y puede agotarse por el ajuste repetitivo de los ángulos de paso.

Por lo tanto, los ángulos de paso habitualmente se ajustarán una vez a valores que se optimizan para condiciones de viento variables. Con tal configuración de ángulo de paso, la turbina está en un estado seguro incluso para condiciones de viento variables. Por ejemplo, tal configuración de seguridad puede ser la mostrada en la Figura 3. Finalmente, la turbina eólica reanuda a operación 420 normal una vez que la turbina eólica es capaz de guiñar. Habitualmente, traer de vuelta la turbina eólica a operación normal implica procedimientos específicos de activación.

En otras realizaciones en las que la guiñada no es posible pero la red está disponible, por ejemplo, un defecto del sistema de guiñada, los ángulos de paso pueden todavía ajustarse durante el periodo de incapacidad de guiñada sin agotar el suministro de potencia de emergencia. En un caso tal, un cambio en la dirección del viento puede convertir otra configuración de ángulo de paso más preferible en vista de la amortiguación de vibración. Ya que la red está disponible como un suministro de potencia para el accionamiento de paso, los ángulos de paso puede ajustarse para optimizar la amortiguación de vibración en las condiciones reales. En el caso de un sistema de guiñada dañado, la operación normal de la turbina eólica puede reanudarse únicamente tras la reparación o sustitución del sistema de guiñada. En un escenario tal, la operación normal no se reanuda sino que el procedimiento incluirá la reparación o sustitución de las partes defectuosas. Posteriormente, la turbina eólica se reiniciará de acuerdo con el procedimiento habitual.

Como se ha mencionado anteriormente, las diferencias de ángulo de paso se elegirán para reducir las vibraciones inducidas por la formación de vórtices y/o fenómenos similares. Por lo tanto, los resultados de diferentes combinaciones de ángulos de paso pueden supervisarse con el paso del tiempo y correlacionarse con las respectivas condiciones del viento, en particular dirección del viento y velocidad del viento, en el momento en el que se empleó la combinación de ángulo de paso. Además, detectores de vibraciones pueden percibir vibraciones en diferentes partes de la turbina, por ejemplo vibraciones de torre, vibraciones de árbol de rotor o similares. También, los detectores de vibraciones pueden percibir vibraciones en diferentes direcciones espaciales, por ejemplo en dos o tres direcciones mutuamente ortogonales. Las mediciones anteriores permiten la recogida de datos y establecer relaciones empíricas que pueden aplicarse para controlar las turbinas en situaciones de incapacidad de guiñada.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el rotor eólico puede estacionarse en una posición en la que ninguna de las palas de rotor se posiciona en la proximidad de la torre 110 de la turbina 100 eólica. Esto incluye posiciones en las que la pala está en frente de la torre o detrás de la torre o cerca de la torre. En particular, la formación de vórtices también puede suceder con la pala estando delante o detrás de la torre con respecto una dirección del viento. En el contexto de la presente realización, los términos "estacionar" o "estacionado" se refieren a bloquear el rotor eólico en tal posición en contraste con permitir el reposo del rotor eólico. Por ejemplo, el rotor eólico puede bloquearse en la posición deseada mediante la aplicación de un freno. La razón para estacionar el rotor eólico en la posición descrita es que las oscilaciones inducidas por vórtices pueden ampliarse cuando el rotor se estaciona con una pala en la proximidad de la torre, es decir con una pala apuntando hacia abajo. Esta amplificación de las oscilaciones puede deberse a una baja amortiguación de la pala de rotor que está en la proximidad de la torre y/o un efecto aerodinámico de los vórtices en esta pala. En este contexto, una pala de rotor habitualmente se considerará que se estaciona en la proximidad de la torre si su eje de paso apunta hacia abajo y se desvía del eje de torre dentro de un intervalo angular de -15 grados a +15 grados. En este contexto, hacia arriba y hacia abajo puede entenderse relativo al horizonte o, indicado de otra manera, la dirección hacia arriba es a lo largo del eje de torre desde la base de torre a la barquilla mientras que la dirección hacia abajo es desde la barquilla a la base de torre. Para evitar la amplificación de las oscilaciones anteriormente mencionada, el rotor eólico se estaciona en una posición de modo que ninguna de las palas se posiciona en frente, detrás o cerca de la torre. En particular, tras la detección de la situación donde la guiñada del rotor eólico no es posible, el rotor eólico se gira sobre el eje del rotor en una posición en la que ninguna de las palas de rotor se posiciona en la proximidad de una torre de la turbina eólica. Por lo tanto, se puede evitar la amplificación. En una realización, un rotor eólico con tres palas de rotor se estaciona en una posición en la que una pala de rotor apunta hacia arriba y un eje de paso de la pala de rotor forma un ángulo en el intervalo de +15 grados a -15 grados, particularmente de +10 grados a -10 grados, más particularmente de +5 grados a -5 grados, con un eje longitudinal de la torre de turbina eólica. Por ejemplo, una situación tal se muestra en la Figura 1 donde la pala 140 de rotor apunta hacia arriba y se alinea con el eje 115 de torre, es decir el ángulo entre el eje 146 de paso de pala de rotor y el eje de torre es aproximadamente de cero grados. Adicionalmente a lo anterior, cuando el rotor eólico se bloquea, el ángulo de paso de la pala de rotor más cercana a la torre puede ajustarse en una manera que es menos propensa a recoger excitación de formación de vórtice. Por ejemplo, el ángulo de paso de la pala de rotor más cercana a la torre puede ajustarse de tal forma que el lado ancho de la pala de rotor es sustancialmente perpendicular a la dirección del viento real y/o anticipada.

Además, en situaciones donde el ajuste del ángulo de paso ya no se permite, todavía puede ser posible posicionar el rotor eólico de tal forma que ninguna de las palas de rotor se posiciona en la proximidad de la torre. Por lo tanto, el posicionamiento descrito del rotor eólico pueden aplicarse independiente de la configuración de ángulo de paso y todavía proporcionara alguna reducción de las vibraciones inducidas por la formación de vórtices.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento 500 de acuerdo con una realización adicional del procedimiento descrito anteriormente. De forma similar a la Figura 4, la capacidad de guiñada de la turbina eólica se supervisa continuamente en el bloque 505 de decisión. En el caso de que se detecte la pérdida de red o cualquier otra decisión que afecta la capacidad de guiñada, el procedimiento procede a estacionar el rotor eólico en una posición en la que una de las palas de rotor apunta hacia arriba con respecto al árbol de rotor para evitar la amplificación de las vibraciones inducidas en el bloque 510. Posteriormente, el primer ángulo de paso se establece a -90 grados, el segundo ángulo de paso se establece a 30 grados y el tercer ángulo de paso se establece a 150 grados en el bloque 515 para reducir adicionalmente las vibraciones. Como se ha descrito anteriormente, el ajuste de los ángulos de paso pueden afectarse por el suministro de potencia de emergencia. Habitualmente, los ángulos de paso se ajustarán solo una vez para ahorrar energía del suministro de potencia de emergencia. En un bucle 520, se supervisa si todavía existe la condición. Siempre que exista la incapacidad de suministrar potencia al

accionamiento de guiñada, se mantienen la posición de estacionamiento del rotor eólico y la configuración de los ángulos de paso. Cuando la turbina detecta que la red está disponible de nuevo o la turbina eólica es de otra manera capaz de guiñar de nuevo, la operación normal de la turbina se reanuda en el bloque 525. Habitualmente, traer de vuelta la turbina eólica a operación normal implica procedimientos específicos de activación que pueden ejecutarse.

5 En algunas realizaciones del procedimiento, los ángulos de paso de la primera, segunda y tercera palas de rotor difieren en al menos 45 grados, respectivamente. En otras realizaciones, las vibraciones no solo se reducen en una dirección espacial, por ejemplo la dirección en sentido longitudinal, sino que también se reducen en al menos una dirección ortogonal adicional a la dirección axial del árbol de rotor. En realizaciones más adicionales, los ángulos de paso de las palas de rotor se ajustan a valores de modo que sucede la amortiguación de vibración en tres  
10 direcciones espaciales mutuamente ortogonales. Sin embargo, los tipos de vibraciones anteriores son únicamente ejemplos no limitativos y las realizaciones de la presente invención se refieren en general a la reducción de vibración durante sucesos de incapacidad de guiñada. Por consiguiente, las realizaciones de la presente invención pueden aplicarse para reducir vibraciones de componentes de turbina eólica en general.

15 Tales componentes de turbina eólica incluyen, pero sin limitación, torre 110, barquilla 120, buje 130 de rotor, palas 140, 150, 160 de rotor, árbol 170 de rotor, caja 230 de engranajes o generador 240. La reducción de vibración se consigue ajustando los ángulos de paso de las palas de rotor como se describe en el presente documento en conexión con las diversas realizaciones de la presente invención. Habitualmente, las configuraciones específicas se obtendrán empíricamente ya que dependen de las condiciones específicas en el emplazamiento de la granja eólica y la localización de la turbina dentro de la granja eólica. Como base de la estrategia de control empírica, al menos se  
20 supervisará una viable. Habitualmente, la variable será una vibración de una torre, una vibración en sentido longitudinal del rotor eólico, una dirección del viento, una velocidad del viento, una desviación de ángulo de guiñada, una posición de rotor o cualquier combinación de las mismas. Por supuesto, otros parámetros ambientales o de turbina también pueden supervisarse y correlacionarse con el estado vibratorio de la turbina. Habitualmente, la configuración de ángulo de paso de la primera, segunda y tercera palas de rotor serán a base de la(s) variable(s)  
25 determinada(s) para reducir la vibración.

Debería apreciarse además que se permite el giro del rotor eólico sobre el eje del rotor en cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, con la única excepción de las realizaciones en las que se bloquea el rotor eólico. En particular, la configuración de los ángulos de paso no se restringe a tales combinaciones en las que se  
30 elimina el giro del rotor eólico. Al contrario, el giro lento del rotor eólico puede incluso desearse para evitar el endurecimiento u otro daño inducido por vibración a la maquinaria de giro. Se entenderá que los conceptos básicos subyacentes de la presente solicitud son aplicables tanto a rotores eólicos bloqueados como a rotores eólicos en reposo.

La Figura 6 es una vista lateral de una turbina 100 eólica de acuerdo con una realización de la presente invención. La turbina 100 eólica tiene primera, segunda y tercera palas 140, 150, 160 de rotor que se montan en el buje 130 de  
35 rotor. Como se indica en la Figura 6, cada una de las palas de rotor es giratoria sobre un eje de paso, por ejemplo, el eje 146 para la pala 140 de rotor, para el ajuste de su respectivo ángulo de paso. La turbina eólica adicionalmente incluye un sistema 180 de accionamiento de paso que se adapta para ajustar los ángulos de paso de cada pala 140, 150, 160 de rotor. Por ejemplo, sistema 180 de accionamiento de paso pueden incluir servomotores eléctricos situados en cada una de las palas de rotor de modo que se permite un ajuste independiente del ángulo de paso de  
40 cada pala de rotor. Además, un suministro 185 de potencia de emergencia, por ejemplo un paquete de batería, acumuladores o condensadores, se sitúan dentro del buje 130. El suministro 185 de potencia de emergencia se conecta con el sistema 180 de accionamiento de paso y se adapta para suministrar potencia al sistema de accionamiento de paso en el caso de que el suministro de potencia de la red no esté disponible. Además, la turbina 100 eólica incluye un controlador 190 de turbina eólica. Habitualmente, el controlador 190 de turbina eólica es un sistema informático adaptado específicamente que se conecta a uno o más sensores. Por lo tanto, el controlador 190 de turbina eólica puede supervisar continuamente la condición ambiental en la proximidad de la turbina eólica y la condición de la turbina eólica. En base a estos datos, el controlador 190 de turbina eólica a continuación determina si debe ajustarse cualquier parámetro de turbina, por ejemplo ángulos de paso, ángulo de guiñada, par  
45 motor de generador. Si los parámetros de turbina han de ajustarse, el controlador de turbina eólica envía señales de control a accionadores que a continuación ajustan los parámetros de turbina como corresponde. En la realización mostrada en la Figura 6, el controlador 190 de turbina eólica se conecta a un primer detector 200 de vibraciones que se adapta para detectar vibraciones en una dirección en sentido longitudinal de la barquilla 120. Adicionalmente o como alternativa, el primer detector 200 de vibraciones puede adaptarse para detectar vibraciones laterales de la barquilla 120. Por ejemplo, el detector 200 de vibraciones puede montarse directamente a un bastidor principal o  
50 pared de la barquilla 120. En otras realizaciones, el detector 200 de vibraciones puede montarse en el buje 130 de rotor. También, el detector 200 de vibraciones puede adaptarse para detectar vibraciones en otras direcciones espaciales, por ejemplo en la dirección del eje de torre. En otras realizaciones, pueden detectarse momentos de flexión que actúan sobre el árbol 170 de rotor, las palas 140, 150, 160, el buje 130, el bastidor principal o las paredes de torre mediante el uso de medidores de tensión. Además, el controlador 190 de turbina eólica se conecta a un  
55 sensor 210 de vibración adicional situado en la torre 110. El sensor 210 de vibración se adapta para detectar vibraciones de torre en direcciones espaciales mutuamente ortogonales, habitualmente vibraciones en direcciones ortogonales al eje de torre, y para informar al controlador 190 de las vibraciones detectadas. En general, el controlador 190 de turbina eólica se conecta a al menos un detector de vibraciones adaptado para percibir las  
60

- vibraciones de al menos un componente de turbina eólica. Los componentes de turbina eólica incluyen, pero sin limitación, torre 110, barquilla 120, buje 130 de rotor, palas 140, 150, 160 de rotor, árbol 170 de rotor, caja 230 de engranajes o generador 240. Por lo tanto, el controlador 190 tiene una visión general del estado vibratorio de la turbina eólica y puede determinar las vibraciones perjudiciales tales como vibraciones en sentido longitudinal que pueden dañar los componentes de turbina tales como árbol 170 de rotor, caja 230 de engranajes y generador 240. Además, el controlador 190 se conecta a un sensor 220 de viento que se adapta para detectar la dirección del viento y velocidad del viento. Por ejemplo, el sensor 220 de viento pueden incluir un anemómetro y una veleta. Por lo tanto, el estado vibratorio de la turbina puede correlacionarse con los datos de viento recogidos por el controlador 190 bien mediante el propio controlador 190 o en un centro de control al que se informan los datos. Además, la posición del rotor eólico, es decir la orientación de las palas 140, 150, 160 de rotor con respecto al eje 6 del rotor, puede usarse como un parámetro de entrada para la estrategia de control del controlador 190 de turbina eólica. Basándose en estos datos, puede determinarse e implementarse una estrategia de control empírica, es decir configuraciones de ángulo de paso específicas para condiciones del viento específicas, en el controlador 190 de turbina eólica. Por lo tanto, el controlador 190 puede ajustar los ángulos de paso de las palas de rotor de acuerdo con la estrategia de control empírica dependiendo de las condiciones del viento detectadas por el sensor 220 de viento. Además, pueden implementarse algoritmos de autoaprendizaje en el controlador 190 de modo que se optimizan las configuraciones de ángulo de paso para las condiciones del viento actuales durante situaciones en las que la guiñada no es posible al menos temporalmente pero el ajuste de ángulo de paso es todavía posible, por ejemplo cuando el sistema de guiñada no funciona pero la red está disponible.
- La Figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento 700 como puede realizarse por una turbina eólica como se muestra en la Figura 6. En el mismo, la guiñada de la turbina eólica se supervisa continuamente en el bloque 705 de decisión. Posteriormente, se determina si la red está todavía disponible como un suministro de potencia para el accionamiento de paso en el bloque 710 de decisión. En el caso de que la red esté todavía disponible, el procedimiento procede para determinar la velocidad del viento, dirección del viento y desviación del ángulo de guiñada, es decir la desalineación entre la dirección del viento y el plano de pala de rotor. Basándose en los valores de las variables determinadas, los ángulos de paso se establecen en valores que reducen las vibraciones en al menos dos direcciones espaciales mutuamente ortogonales en el bloque 720. Por lo tanto, la amortiguación de vibración se mejora para las condiciones ambientales reales. En algunas realizaciones, los ángulos de paso se ajustan para reducir las vibraciones no solo en dos sino también en tres direcciones espaciales mutuamente ortogonales. Por lo tanto, se mejora la amortiguación de vibración. Como se muestra en la Figura 7, un procedimiento alternativo se aplica si se determina en el bloque 710 de decisión que la red no está disponible. En este caso, el procedimiento procede con el ajuste de los ángulos de paso de las palas a una configuración segura en el bloque 730. Una configuración segura sería una combinación de ángulos de paso que se adaptan para amortiguar vibraciones independientemente de la dirección del viento. Tal configuración, por ejemplo, podría ser la configuración mostrada en la Figura 3. Ya que la red no está disponible durante esta operación, el ajuste de ángulo de paso habitualmente se hace mediante el suministro de potencia de emergencia. Para evitar el agotamiento del suministro de potencia de emergencia, los ángulos de paso se ajustan solo una vez, a saber a la configuración segura, y a continuación no se alteran durante la pérdida de red. Posteriormente, se supervisa la capacidad de guiñada de la turbina eólica para determinar si la incapacidad de guiñada de la turbina todavía existe en el bloque 730 de decisión en cualquier caso. Si la guiñada todavía no es posible, el procedimiento vuelve al bloque 710 de decisión y procede desde ahí en adelante como se ha descrito anteriormente. Si en el bloque 730 de decisión se detecta que la turbina es de nuevo capaz de guiñar, la turbina eólica reanuda una operación normal de acuerdo con el bloque 735, que habitualmente implica la ejecución de procedimientos específicos de activación como se ha descrito anteriormente.
- Algunas de las realizaciones descritas en el presente documento se ejemplificaron mediante referencia a turbinas eólicas de tres palas. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención pueden practicarse e implementarse también en turbinas eólicas que tienen un número diferente de palas, en particular en turbinas eólicas que tienen solo dos palas así como en turbinas eólicas que tienen cuatro o más palas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de reducción de vibraciones de una turbina (100) eólica que comprende un rotor de turbina eólica y una torre que define un eje de torre, que incluye:
- 5           supervisar la turbina eólica para determinar dónde no es posible al menos temporalmente la guiñada de un rotor eólico de dicha turbina eólica debido a pérdida de red o cualquier otra situación que afecte la capacidad de guiar la turbina eólica, la guiñada al menos temporalmente imposible del rotor eólico de dicha turbina eólica no permite al menos temporalmente girar el rotor de turbina eólica alrededor del eje de torre,
- 10           si no es posible al menos temporalmente la guiñada del rotor eólico de dicha turbina eólica debido a pérdida de red o cualquier otra situación que afecte la capacidad de guiar la turbina eólica, ajustar y establecer un primer ángulo (Pa) de paso de una primera pala (120) de rotor y un segundo ángulo (Pb) de paso de una segunda pala (140) de rotor, de tal forma que el primer y segundo ángulos de paso difieran en al menos 30 grados;
- mantener dicha configuración del primer y el segundo ángulos de paso siempre que no sea posible la guiñada del rotor eólico de dicha turbina eólica debido a pérdida de red o cualquier otra situación que afecte la capacidad de guiar la turbina eólica.
- 15           2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el rotor eólico tiene además una tercera pala (160) de rotor y el procedimiento comprende además ajustar un tercer ángulo (Pc) de paso de dicha tercera pala de rotor de tal forma que el tercer ángulo de paso difiera del primer y segundo ángulos de paso en al menos 30 grados, respectivamente.
- 20           3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el primer y segundo ángulos (Pa, Pb) de paso difieren entre sí en al menos 45 grados y/o el tercer ángulo (Pc) de paso difiere del primer y segundo ángulos (Pa, Pb) de paso en al menos 45 grados, respectivamente.
- 25           4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 o reivindicación 3, en el que la diferencia en dirección horaria entre el primer y segundo ángulo (Pa, Pb) de paso está en el intervalo de 30 a 150 grados, la diferencia en dirección horaria entre el segundo y tercer ángulo (Pb, Pc) de paso está en el intervalo de 30 a 120 grados y la diferencia en dirección horaria entre el primer y tercer ángulo (Pa, Pc) de paso está en el intervalo de 60 a 270 grados.
- 30           5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que, tras la detección de la situación donde la guiñada del rotor eólico no es posible al menos temporalmente, el rotor eólico se estaciona en una posición en la que ninguna de las palas (120, 140, 160) de rotor se posiciona en la proximidad de una torre de la turbina (100) eólica.
- 35           6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que una pala (120, 140, 160) de rotor apunta hacia abajo y un eje de paso de dicha pala de rotor forma un ángulo en el intervalo de más de 15 grados con un eje longitudinal de la torre de turbina eólica.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-6, que comprende además usar detectores de vibraciones para detectar vibraciones en la turbina y recoger datos de esas mediciones para controlar la turbina en situaciones de incapacidad de guiñada.
- 40           8. Una turbina (100) eólica, que comprende
- al menos dos palas (140, 150, 160) de rotor montadas en un buje (130) de rotor, siendo cada una de las palas de rotor giratoria alrededor de un eje (146) de paso para el ajuste de su respectivo ángulo (Pa, Pb, Pc) de paso,
- un sistema (180) de accionamiento de paso adaptado para ajustar los ángulos de paso de cada pala de rotor, y
- 45           un controlador (190) de turbina eólica configurado para realizar un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. La turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además un detector (200, 210) de vibraciones adaptado para detectar vibraciones de al menos un componente de turbina eólica, en el que el controlador (190) de turbina eólica está además adaptado para ajustar el primer y segundo ángulos (Pa, Pb, Pc) de paso basándose en las vibraciones detectadas, de tal forma que se reducen las vibraciones.



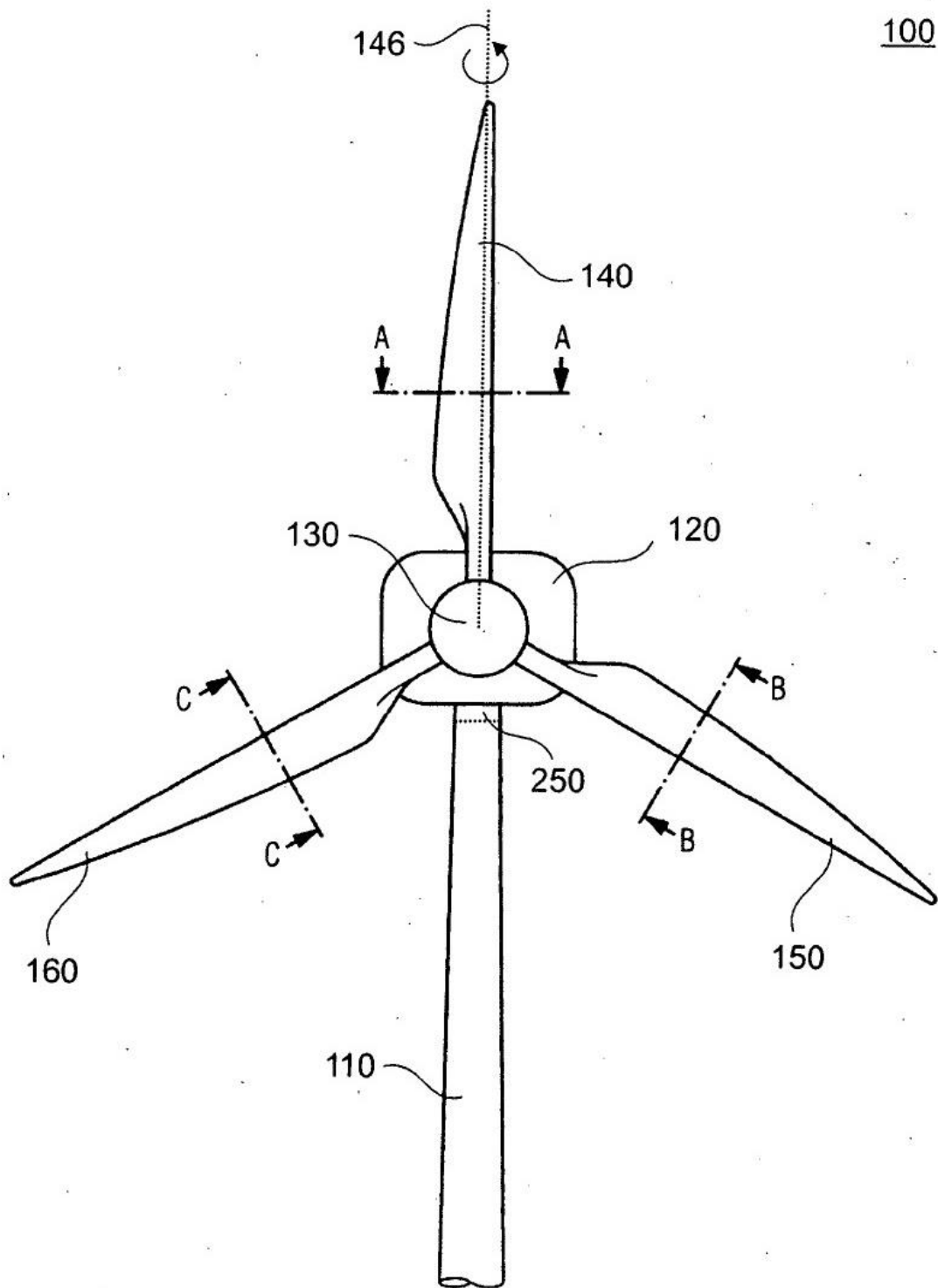


Fig. 1

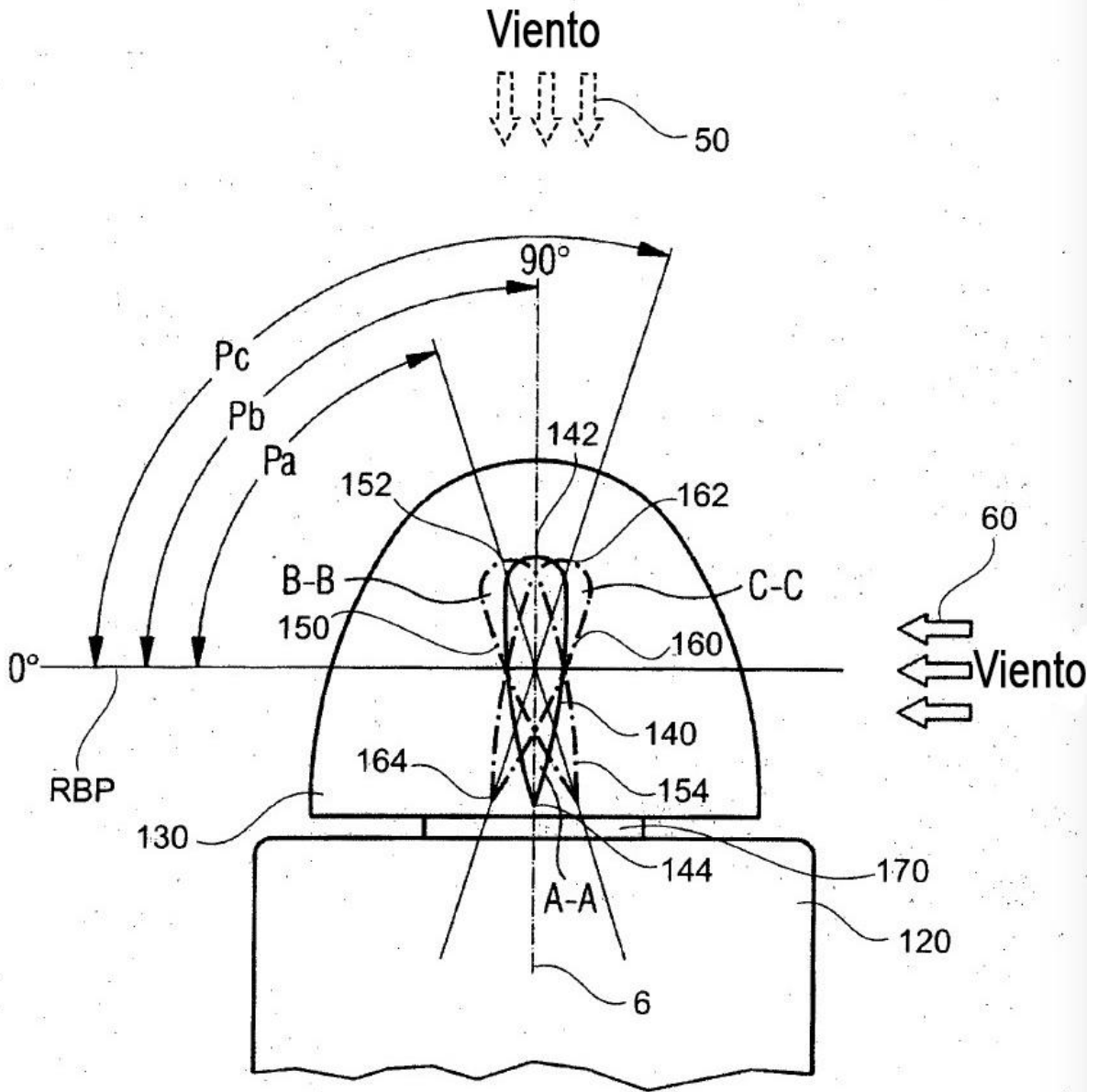


Fig. 2

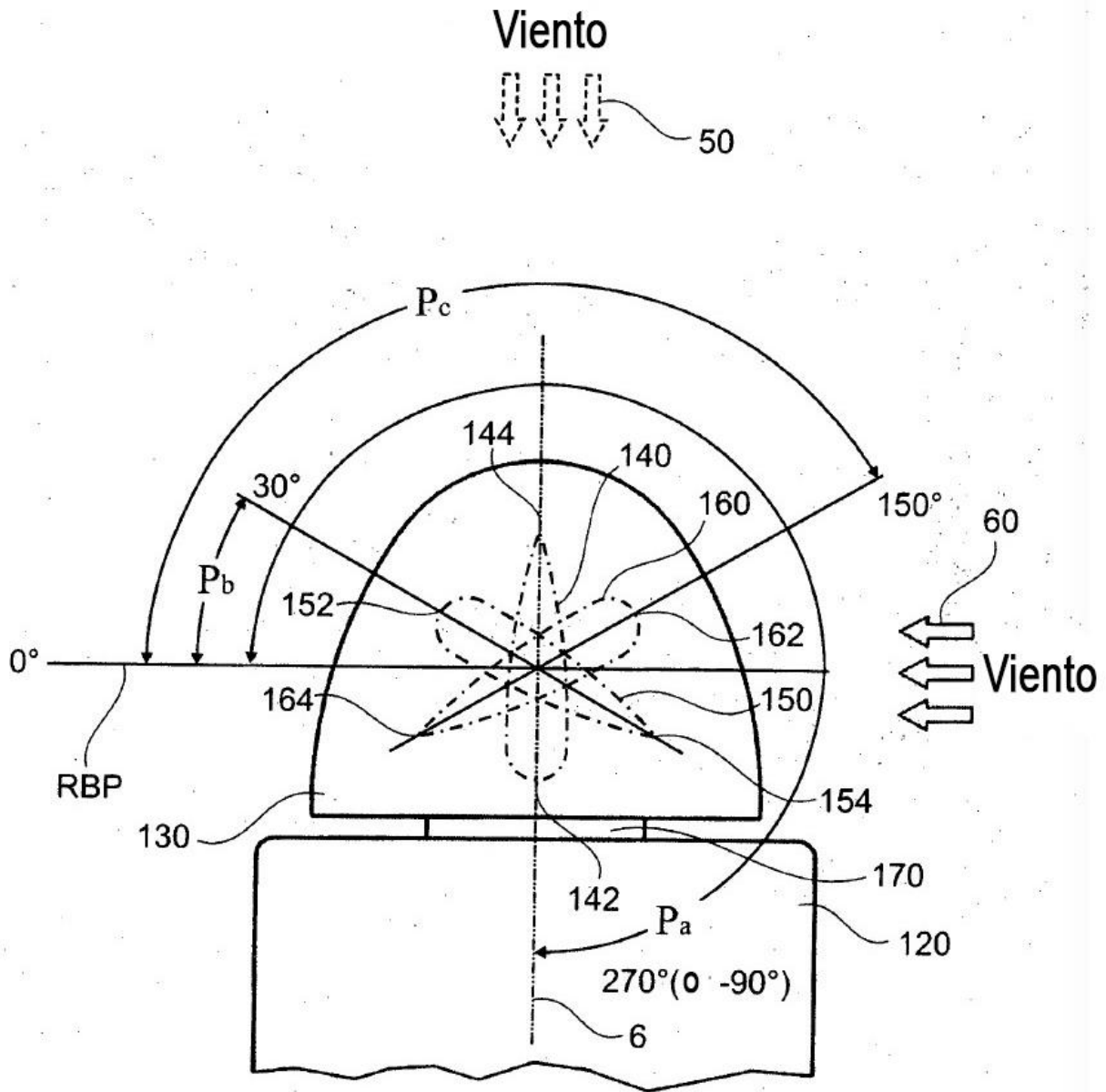


Fig. 3

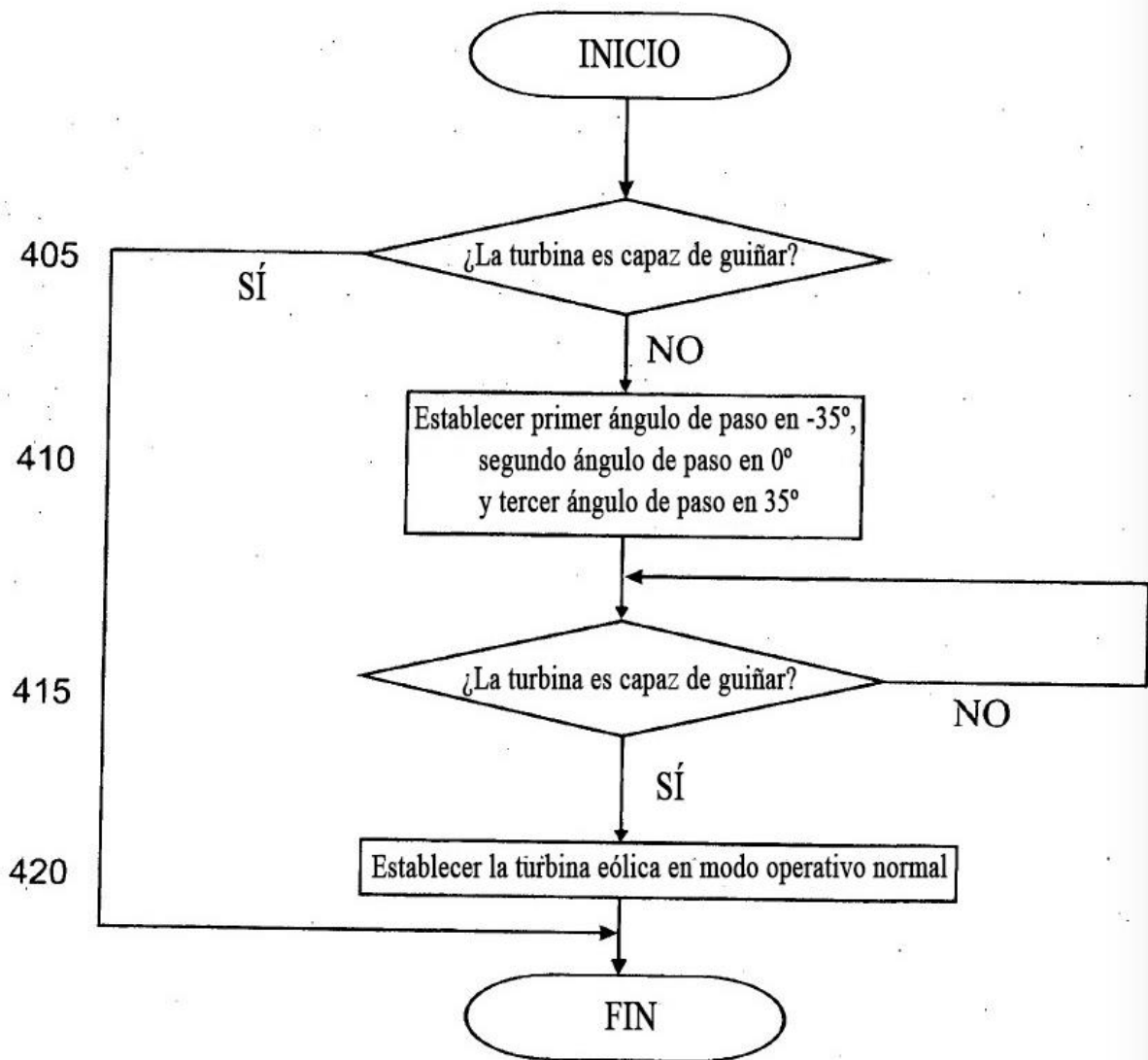


Fig. 4

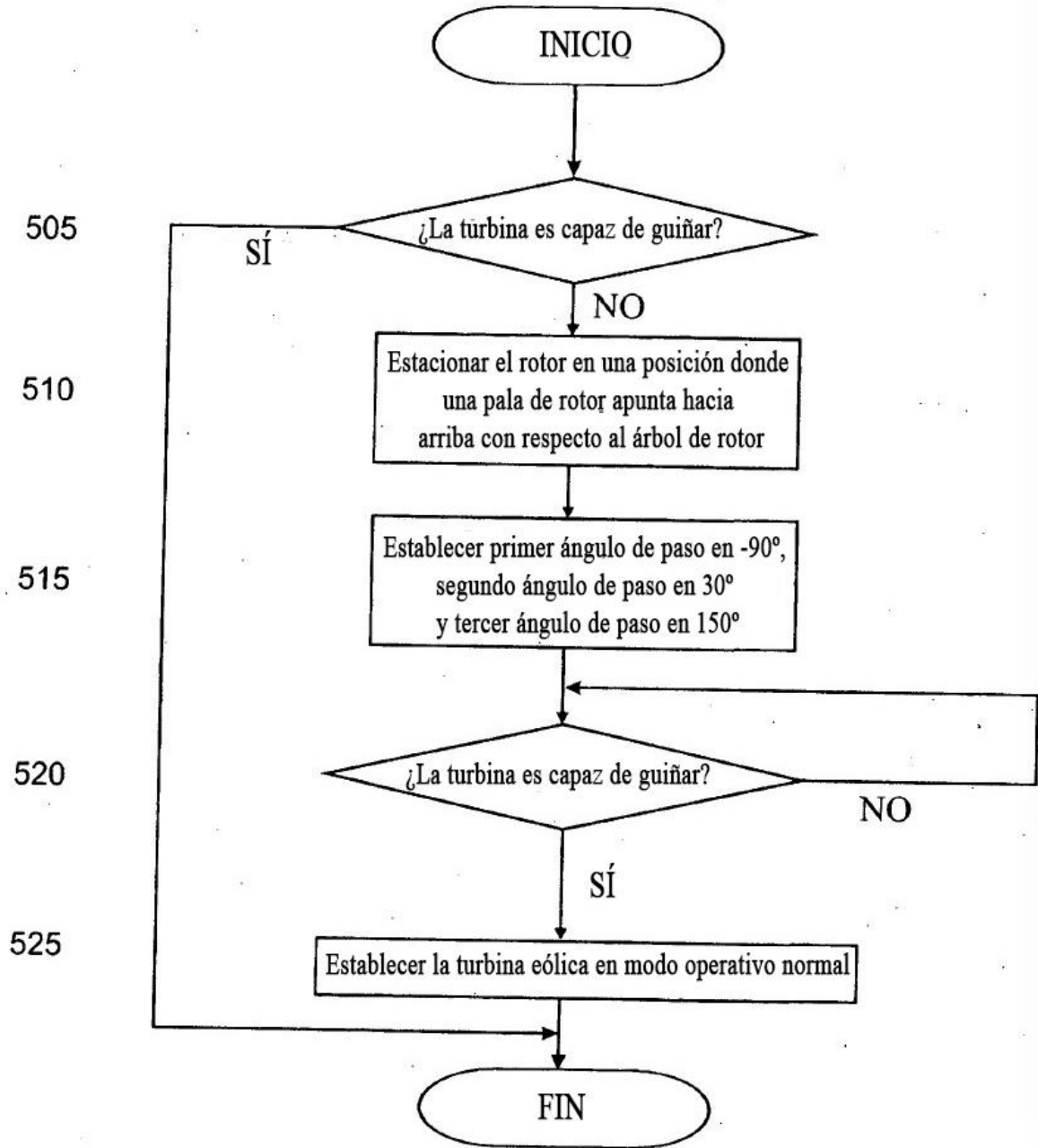


Fig. 5

100

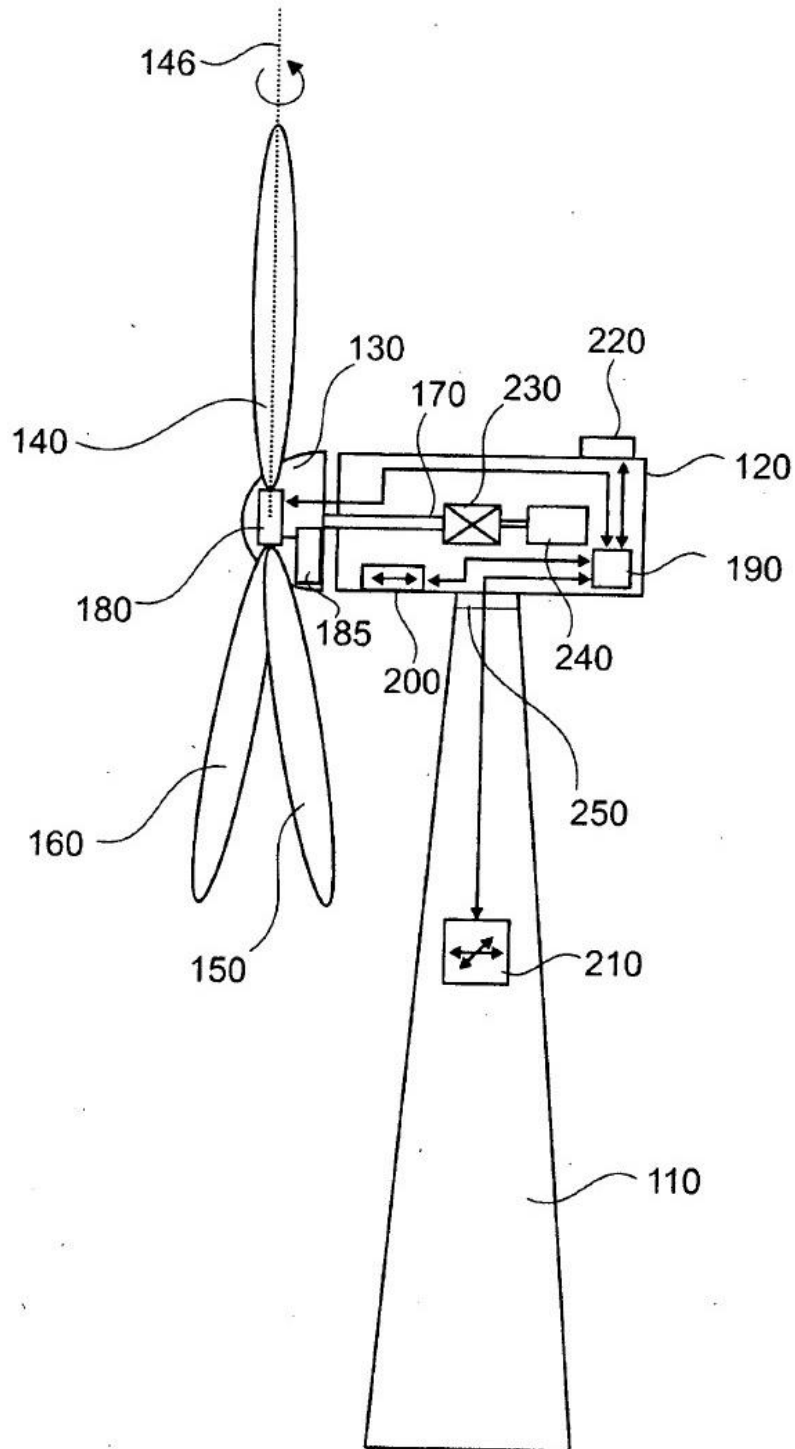


Fig. 6

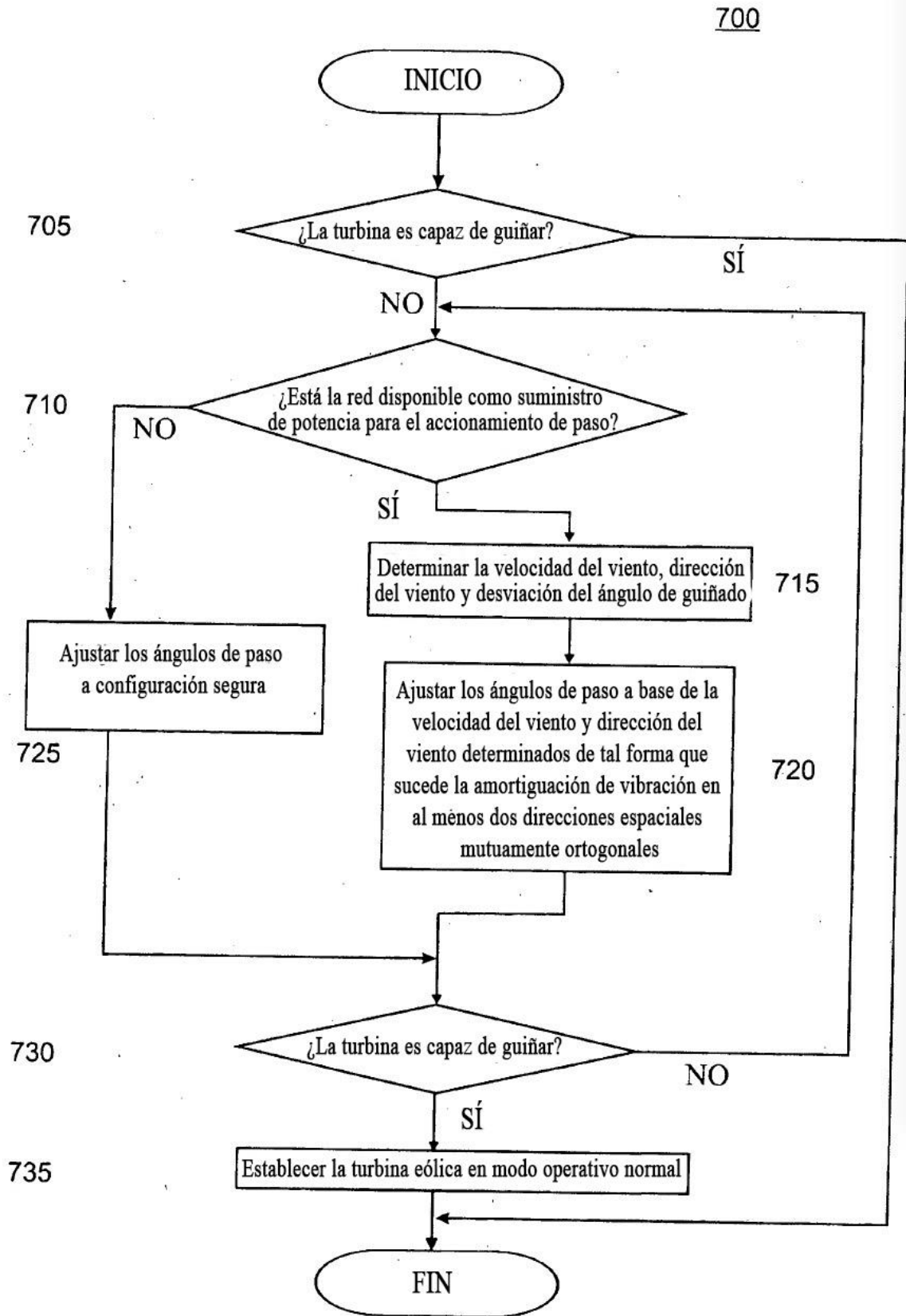


Fig. 7