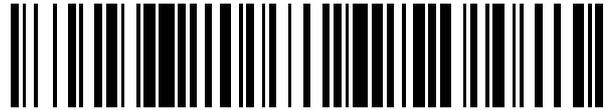


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 324**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2005 E 05014283 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015 EP 1612412**

54 Título: **Control de tempestad para turbina eólica de eje horizontal**

30 Prioridad:

**30.06.2004 JP 2004193271**

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

**22.05.2015**

73 Titular/es:

**HITACHI, LTD. (100.0%)  
6-6, Marunouchi 1-chome  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8280, JP**

72 Inventor/es:

**YOSHIDA, SHIGEO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 536 324 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**

Control de tempestad para turbina eólica de eje horizontal

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a una turbina eólica de eje horizontal y un método de control de marcha lenta de la misma y, en particular, se refiere a una turbina eólica de eje horizontal a favor del viento o con viento de cola y a un método de control de marcha lenta de la misma en caso de vendaval.

10 Descripción de la técnica relacionada

Aunque hasta ahora se han puesto en uso práctico varios tipos de turbinas eólicas para la generación de energía del viento, un ejemplo representativo de turbinas eólicas generales, que se ha puesto en uso práctico comercialmente, es una turbina eólica de eje horizontal que comprende: un rotor en el que están unidas radialmente a un cubo al menos dos o más palas formadas de tal manera que la sección transversal de las palas es como un ala; una góndola que está conectada al cubo y que soporta de manera pivotante el rotor por medio de un árbol rotativo que se extiende en la dirección esencialmente horizontal; y una torre que está instalada en la dirección esencialmente vertical y que soporta la góndola de manera rotativa. La turbina eólica general de eje horizontal comprende además: una unidad de accionamiento de guiñada capaz del control total de accionamiento del movimiento de guiñada, que es el movimiento rotativo de la góndola; un freno de guiñada para frenar el movimiento de guiñada; y un freno del árbol rotativo para frenar la rotación del rotor.

El documento GB 2123488 da a conocer un rotor a favor de viento con inclinación estática de la palas y inclinación adicional para posibilidad de oposición normal al viento en caso de fuertes vientos.

25 Como para una turbina eólica de eje horizontal a favor del viento, que es una de dichas turbinas eólicas de eje horizontal, un rotor está configurado de manera que se sitúa en el lado a favor del viento de una torre y es hecho girar por la fuerza del viento capturado por las palas, y la fuerza de rotación es transmitida al árbol rotativo para activar un generador conectado al árbol rotativo y generar electricidad. Una turbina eólica de eje horizontal configurada de manera que sea capaz de generar electricidad por la rotación de un rotor situado en lado de cara al viento o contra-viento de una torre se denomina de un tipo de cara el viento, y se ha puesto en uso práctico como una turbina eólica comercial.

35 Aquí, la producción de electricidad por debajo de la potencia nominal es aproximadamente proporcional al cuadrado del radio del rotor (longitud de pala) de una turbina eólica de eje horizontal. Por ejemplo, aunque una turbina eólica de eje horizontal que tiene palas de una longitud de "20 m" tiene una potencia nominal de "500 kW", una turbina eólica de eje horizontal que tiene palas de una longitud de "40 m" tiene una potencia nominal de "2000 kW" y puede responder a una fuerte demanda de potencia eléctrica. Por lo tanto, está siendo aumentado actualmente el tamaño de una turbina eólica de eje horizontal.

40 Junto con tal aumento del tamaño de una turbina eólica, tiende a actuar una fuerza mayor sobre la raíz de la pala y la parte superior de la torre. Aunque resultan estrictas las condiciones de carga en el diseño de una turbina eólica, es importante intentar mejorar la fiabilidad, el peso de la guarnición y reducir los costes. Se desea la reducción de las cargas aerodinámicas mediante en método racional.

45 La resistencia de diseño de una tal turbina eólica es afectado en gran medida, por ejemplo, por una captura de carga en circunstancias en las que la turbina eólica es expuesta a un vendaval, tal como un tifón.

50 Se han puesto en uso práctico las turbinas eólicas de eje horizontal en las que el ángulo de inclinación formado por el plano del rotor y la cuerda seccional de la pala puede ser controlado independientemente para cada pala. El método de control de marcha lenta adoptado para las turbina eólica de eje horizontal es ponerse en marcha lenta mientras se reduce la carga de vendaval sobre la torre y evitar que la velocidad del rotor aumente excesivamente mediante el control del accionamiento de la dirección de la góndola en el plano horizontal (al que se hace referencia en lo que sigue como control de guiñada) para disponer el plano de rotación del rotor de modo que resulte vertical a la dirección del viento y manteniendo la posición de mínima oposición al viento o de pérdida aerodinámica (full feather position), en la que las palas son paralelas a la dirección del viento, por medio de motores o actuadores hidráulicos en caso de vendaval.

60 Sin embargo, el control de la dirección del rotor o de un ángulo de inclinación según sea necesario en respuesta al cambio de la dirección del viento mediante el control de la guiñada, el control de ángulo de inclinación o similares hasta que se calme el vendaval, no es necesariamente seguro bajo una situación en la que se corta la potencia eléctrica que se ha de suministrar para respectivos sistemas de control, debido a que se esperan los casos en los que es cortado el suministro de potencia eléctrica para la zona a causa del cese temporal del vendaval. Por lo tanto, esta turbina eólica de eje horizontal requiere resistencia de diseño teniendo en consideración la peor situación en la que ocurra vendaval y cese temporal.

65

En general, una turbina eólica de eje horizontal a favor del viento tiene una característica de turbina eólica de que el rotor es dispuesto pasivamente en el lado a favor del viento por medio de momento de guiñada generado en el rotor por un viento de costado o viento variable sin ningún controlador especial. Por lo tanto, en una turbina eólica de eje horizontal anterior a favor del viento, ese movimiento de guiñada de la góndola es liberado sin ningún freno de guiñada de inhibición o debilitamiento, el rotor es siempre barrido a favor del viento y la carga que actúa sobre las raíces de las palas y la torre es liberada cuando la turbina eólica captura un viento de costado o un viento oblicuo.

Así mismo, una turbina eólica de eje horizontal anterior con viento de cara está configurada de manera que la carga máxima sobre las palas y la parte superior de la torre puede ser reducida fijando la dirección del rotor mediante el freno de guiñada, y además, en caso de una turbina eólica capaz de mínima oposición al viento, haciendo girar libremente el rotor. En caso de una turbina eólica incapaz de mínima oposición al viento, la turbina eólica está configurada de manera que funciona en marcha lenta con el árbol rotativo fijado por el freno.

Además, ha sido desarrollada una turbina eólica de eje horizontal de cara al viento. La turbina de cara al viento está configurada de manera que el rotor es barrido a favor del viento y la carga sobre la torre puede ser reducida en caso de vendaval mediante el giro de la góndola y mantenimiento por medio del freno de guiñada después de asegurar la mínima oposición al viento. Por ejemplo, véase Masaaki Shibata y Yoshiyuki Hayashi "Nuevo concepto para la reducción de carga de diseño (Sekkei kajuu teigen no tame no shinkonseputo)", Simposio de Utilización de Energía del Viento, 20 de nov. de 2003, páginas 225-227).

Sin embargo, existe el problema de que no se puede obtener un efecto significativo para reducir las cargas sobre las palas mientras la carga sobre la parte superior de la torre puede ser reducida en una turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con el desarrollo anterior de más arriba, en comparación con la turbina eólica de eje horizontal anterior de cara al viento, en caso de vendaval.

Igualmente, en la turbina eólica de eje horizontal de cara al viento, mostrada en el documento anteriormente citado, la carga sobre las palas resulta mínima con el plano de rotación del rotor vuelto de cara al viento (0/360 grados). En el curso del giro de la góndola a favor del viento (180 grados) donde la carga es segundo mínimo, la carga máxima actúa alrededor de  $\pm 30$  grados, por lo que se requiere fuerte resistencia de diseño. Por lo tanto, a la vista de la rentabilidad y los costes, el desarrollo no es necesariamente suficiente.

#### COMPENDIO DE LA INVENCION

Un problema de la presente invención es proporcionar una turbina eólica de eje horizontal capaz de reducir la carga de diseño de las palas en situación de vendaval.

Con el fin de resolver el problema anteriormente descrito, de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, una turbina eólica de eje horizontal comprende:

- un rotor que tiene un cubo y al menos dos o más palas;
- una góndola para soportar de manera pivotante el rotor por medio de un árbol rotativo conectado al cubo;
- una torre que soporta la góndola; y
- una unidad de control de inclinación independiente, capaz de controlar de manera independiente los ángulos de inclinación de las palas, respectivamente, en la que la unidad de control de inclinación independiente controla los ángulos de inclinación de manera que todas las palas son llevadas a una posición de mínima oposición al viento en caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado, y controla seguidamente los ángulos de inclinación de las respectivas palas de manera que sean secuencialmente invertidas una a una, y además, seguidamente, realiza el control de manera que la turbina eólica funciona en marcha lenta en una posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas (en lo que sigue denominada como de oposición al viento negativa) en la que los ángulos de inclinación de todas las palas están invertidos.

De acuerdo con el primer aspecto de la invención, en una turbina eólica de eje horizontal que comprende: un rotor que tiene un cubo y al menos dos o más pala; una góndola para soportar de manera pivotante el rotor por medio de un árbol rotativo conectado al cubo; una torre para soportar la góndola; y una unidad independiente de control de inclinación, capaz de controlar independientemente los ángulos de inclinación de las palas, respectivamente, todas las palas son controladas por la unidad independiente de control de inclinación de manera que sean llevadas a la posición de mínima oposición al viento en caso de un vendaval tal como un tifón. Como consecuencia de esto, es reducida la acción de arrastre sobre las palas debida al viento y es reducida además la carga que actúa sobre la torre.

Acto seguido, las respectivas palas son controladas por la unidad independiente de control de inclinación de manera que sean invertidas secuencialmente una a una. En caso de que todas las palas sean invertidas a la vez, existe una zona en la que se genera un gran par de rotación en el curso de la inversión. Mientras que, invirtiendo las palas una a una, es posible desplazar la condición que tienen todas las palas invertidas mientras se suprimen las cargas que actúan sobre las palas y la torre.

5 A continuación, la turbina eólica funciona en marcha lenta en la posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que los bordes traseros están dirigidos frente al viento, y con ello se reduce significativamente la elevación debida al viento en comparación con el caso en que el borde delantero esté dirigido cara al viento. En consecuencia, se crea una actitud que hace posible que la turbina eólica reduzca la marcha con la carga más baja como una posición de marcha lenta en caso de vendaval.

10 De acuerdo con esta invención, en una turbina eólica de eje horizontal que comprende: un rotor que tiene un cubo y al menos dos o más palas; una góndola para soportar de manera pivotante el rotor por medio de un árbol rotativo conectado al cubo; una torre para soportar la góndola; y una unidad de control de inclinación independiente, capaz de controlar independientemente los ángulos de inclinación de las palas, respectivamente, en primer lugar los ángulos de inclinación de todas las palas son llevados a la posición de mínima oposición al viento, en la que las palas están paralelas a la dirección del viento, por ejemplo en caso de un vendaval tal como un tifón. Por ello se pueden reducir las cargas aerodinámicas sobre las respectivas palas. Como consecuencia de esto, se puede reducir la carga que actúa sobre la torre y las palas.

15 Además, los ángulos de inclinación de las respectivas palas son invertidos secuencialmente uno a uno por la unidad independiente de control de inclinación, por lo que es posible minimizar el aumento de carga que actúa sobre las palas y la torre en comparación con el caso en que todas las palas sean invertidas a la vez. Como consecuencia de esto, es posible evitar la generación de carga excesiva sobre la pala y evitar de manera efectiva el exceso de velocidad de rotor.

20 Además, es posible invertir la palas mientras se mantiene siempre el plano de rotación del rotor sensiblemente perpendicular a la dirección del viento sin movimiento de guiñada. Por lo tanto, en la realización del movimiento de guiñada en situación de vendaval, es posible evitar el aumento de carga que se genera en caso de que el plano del rotor esté situado con un ángulo no perpendicular a la dirección del viento. Con el fin de reducir mucho más la carga del viento, las palas pueden ser invertidas de tal modo que el lado del borde trasero esté dirigido de cara al viento. De ese modo se puede evitar el incremento de carga que actúa sobre las palas y la torre debida a un viento oblicuo o a un viento de costado.

25 A continuación, la turbina eólica funciona en marcha lenta en la condición de guiñada libre, en la que la guiñada desliza sin inhibición alguna con el borde trasero de las palas dirigido de cara al viento, y por ello que se hace girar la góndola de tal manera que el rotor esté siempre situado a favor del viento incluso si cambia la dirección del viento. Por lo tanto se puede reducir la carga que actúa sobre la pala y la torre mientras está siendo aliviada. Por lo tanto, el rotor puede estar siempre situado en el lado a favor del viento de la torre y la carga capturada debido al viento puede ser reducida al mínimo sin un controlador especial para el mantenimiento de la postura de una turbina eólica por ejemplo, incluso en caso de vendaval tal como un tifón. Además, se puede reducir la resistencia de diseño de una turbina eólica y se pueden reducir los costes.

30 La torre puede soportar la góndola en el lado de cara al viento del rotor.

35 De acuerdo con esta invención, en la turbina eólica en la que la torre soporta la góndola en un lado de cara al viento del rotor, todas las palas son controladas por la unidad de control de inclinación independiente de manera que son llevadas a la posición de mínima oposición al viento en situación de vendaval tal como un tifón. Como consecuencia de esto, se reduce la carga que actúa sobre las palas debida al viento y se reduce además la carga que actúa sobre la torre.

40 A continuación son controladas las respectivas palas por la unidad independiente de control de inclinación de manera que sean invertidas secuencialmente una a una. Como consecuencia de esto, se reduce en gran medida la carga que actúa sobre las palas y la torre en comparación con el caso de que todas las palas sean invertidas a la vez.

45 A continuación, la turbina eólica funciona en marcha lenta en la posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que los bordes traseros están vueltos de cara al viento, y con ello se reduce significativamente la elevación aerodinámica en comparación con el caso en que el borde delantero esté dirigido de cara al viento. En consecuencia, se crea una actitud que permite que la turbina eólica funcione en marcha lenta con la carga más baja, como una posición de marcha lenta en situación de vendaval.

50 De acuerdo con esta invención, se puede obtener el efecto similar con el primer aspecto de la invención. Además, particularmente, el momento de guiñada, que es una característica de las turbinas eólicas, generado por un viento oblicuo o un viento de costado, puede ser efectivamente utilizado para controlar la posición de marcha lenta en caso de vendaval, debido a que la torre está configurada de manera que soporta la góndola con el rotor de cara al viento. Como consecuencia de esto, la turbina eólica puede funcionar en marcha lenta en la actitud de turbina eólica que minimiza la carga que actúa sobre las palas y la torre en situación de vendaval.

65

De acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención, un método de marcha lenta de una turbina eólica de eje horizontal comprende:

- 5 mantener los ángulos de inclinación de todas las palas en una posición de mínima oposición al viento, en la que las palas son paralelas a la dirección del viento en caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado;
- invertir secuencialmente los ángulos de inclinación de las respectivas palas uno a uno después del mantenimiento; y
- 10 mantener los ángulos de inclinación de todas las palas en una posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que los ángulos de inclinación están invertidos después de la inversión.

De acuerdo con el segundo aspecto de la invención, al rotor se le impide efectivamente alcanzar exceso de velocidad y también se reduce en gran medida la carga que actúa sobre la parte superior de la torre controlando la turbina eólica de eje horizontal de manera que se produzca: el mantenimiento de los ángulos de inclinación de todas las palas en una posición de mínima oposición al viento, en la que las palas son paralelas a la dirección del viento en el caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado; la inversión secuencial de los ángulos de inclinación de las respectivas palas uno a uno después del mantenimiento; y el mantenimiento de los ángulos de inclinación de todas las palas en una posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que los ángulos de inclinación están invertidos después de la inversión, en este orden.

De acuerdo con el segundo aspecto de la invención, es posible reducir en gran medida la fuerza de rotación que actúa sobre el rotor en comparación, por ejemplo, con el caso de que todas las palas sean invertidas a la vez desde la posición de mínima oposición al viento en caso de vendaval, tal como un tifón, debido a la realización en el orden anteriormente descrito: del mantenimiento de los ángulos de inclinación de todas las palas en una posición de mínima oposición al viento en la que las palas son paralelas a una dirección del viento en el caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado; de la inversión secuencial de los ángulos de inclinación de las respectivas palas uno a uno después del mantenimiento; y del mantenimiento de los ángulos de inclinación de todas las palas en una posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que los ángulos de inclinación están invertidos después de la inversión. Por lo tanto, se impide efectivamente al rotor alcanzar exceso de velocidad en este proceso y también se reduce en gran medida la carga que actúa sobre la parte superior de la torre. De ese modo se reduce considerablemente la carga de diseño de una turbina eólica de eje horizontal.

De acuerdo con el tercer aspecto de la invención, una turbina eólica de eje horizontal comprende: al menos dos o más palas; y una unidad independiente de control de inclinación capaz de controlar independientemente los ángulos de inclinación de las palas, respectivamente, en la que la unidad independiente de control de inclinación controla los ángulos de inclinación de manera que todas las palas sean llevadas a una posición de mínima oposición al viento en el caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado, y a continuación controla los ángulos de inclinación de las respectivas palas de manera que sean secuencialmente invertidos uno a uno, y además, a continuación, realiza el control de manera que la turbina eólica funciona en marcha lenta en una posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que están invertidos los ángulos de inclinación de todas las palas.

La turbina eólica puede ser de un tipo de funcionamiento a favor del viento.

45 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se comprenderá más completamente a partir de la descripción detallada dada en lo que sigue y de los dibujos que se acompañan, que se dan sólo a modo de ilustración, y por lo tanto no se pretende que sean una definición de los límites de la presente invención, y en los cuales:

- 50 La figura 1 es una vista esquemática que muestra la configuración completa de una turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;
- La figura 2 es un diagrama de bloques de control de una unidad de control de inclinación independiente de la presente realización;
- 55 La figura 3 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de funcionamiento de la presente realización;
- La figura 4 es un modelo de dirección del viento/velocidad del viento aplicado al análisis de un método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;
- La figura 5 es una historia de un ángulo de azimut en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;
- 60 La figura 6 es una historia en el tiempo de la velocidad del rotor en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;
- La figura 7 es un gráfico que muestra una historia en el tiempo de una carga de la raíz de la pala (pala 6-#1) en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;
- 65 La figura 8 es un gráfico que muestra una historia en el tiempo de una carga de la raíz de la pala (pala 6-#2)

en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;

La figura 9 es un gráfico que muestra una historia en el tiempo de una carga de la raíz de la pala (pala 6-#3) en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización;

La figura 10 es un gráfico que muestra una historia en el tiempo de un momento de flexión de un cubo en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización; y

La figura 11 es un gráfico que muestra una historia en el tiempo de una fuerza lateral del centro de la torre en el análisis del método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

En lo que sigue se describirá con más detalle una realización de la presente invención con referencia a los dibujos.

En primer lugar, se describe, usando la figura 1, la configuración de una turbina eólica de eje horizontal 1 de acuerdo con la presente realización.

Como se muestra en la figura 1, la turbina eólica de eje horizontal 1 de acuerdo con la presente realización es una turbina eólica de eje horizontal denominada de funcionamiento a favor del viento o con viento de cola y comprende una torre 2 que es aproximadamente cilíndrica y está instalada en un lugar predeterminado. Una góndola 3 está soportada en la parte superior de la torre 2 de tal manera que la góndola 3 puede girar en el plano horizontal.

Un anemómetro 13 está dispuesto al exterior de la góndola 3. La conexión de la góndola 3 y la torre 2 está provista de: un dispositivo 14 de accionamiento de guiñada capaz de detectar e impulsar el movimiento de guiñada, que es el movimiento de rotación de la góndola 3 en el plano horizontal, y que comprende un freno de guiñada, no mostrado, para frenar el movimiento de guiñada; y un dispositivo 15 de control de guiñada para controlar el dispositivo 14 de accionamiento de guiñada (véase la figura 2).

Trenes de potencia, que incluyen una caja de engranajes, no mostrada, un generador, un freno del árbol rotativo y similares, están contenidos dentro de la góndola 3. Un árbol rotativo 4 que se extiende en la dirección aproximadamente horizontal está conectado a los respectivos dispositivos de transmisión de potencia de tal manera que el árbol rotativo 4 es capaz de girar y puede ser frenado por medio del freno del árbol rotativo.

Un extremo del árbol rotativo 4 sobresale fuera de la góndola 3. Un rotor 5 está unido al extremo del árbol rotativo 4 de manera que gira junto con el árbol rotativo 4. La góndola 3 gira cuando captura un viento oblicuo o un viento de costado, y con ello el rotor 5 se sitúa siempre a favor del viento de la torre 2 con respecto a la dirección del viento.

El rotor 5 tiene un cubo 7 en la parte central del rotor 5 y el cubo 7 está conectado con el árbol rotativo 4. Tres palas 6 están unidas radialmente en la superficie periférica de la dirección de rotación del cubo 7. Las palas 6 montadas en la turbina eólica de eje horizontal 1 son palas muy largas que tienen una longitud de "aproximadamente 40 m". El diámetro del plano de rotación del rotor que tiene las palas 6 es de "80 m". La forma de la sección de las palas 6 está formada por una sección de superficie aerodinámica. En funcionamiento normales, los bordes delanteros de las alas están dispuestos de manera que están dirigidos de cara al viento.

La turbina eólica de eje horizontal 1 comprende además, en la presente realización, una unidad 12 de control de inclinación independiente, capaz de controlar los ángulos de inclinación formados por el plano de rotación del rotor 5 y una cuerda de sección de pala para cada pala 6 independientemente. Cada pala 6 puede ser controlada independientemente por cada controlador dentro del intervalo de al menos 180°.

Aquí se describe con detalle la configuración del controlador C en la presente realización que comprende la unidad 12 de control de inclinación independiente.

La figura 2 es un diagrama de bloques de control de una unidad de control de inclinación independiente montada en la turbina eólica de eje horizontal 1 de la presente realización. Como se muestra en la figura 2, una sección de control 16 que es el controlador C es proporcionada para la turbina eólica de eje horizontal 1 de la presente realización. La sección de control 16 comprende la unidad 12 de control de inclinación independiente anteriormente descrita del dispositivo 15 de control de guiñada.

Cuando la velocidad del viento, medida por el anemómetro 13, excede de una velocidad de corte del viento, que es el límite superior del intervalo funcional de velocidades del viento, la unidad 12 de control de inclinación independiente puede controlar todas las palas 6 para ser llevadas a la posición de mínima oposición al viento de todas las palas, en la que todas las palas son paralelas a la dirección del viento, controlando un dispositivo 11 de accionamiento de inclinación que está dispuesto de manera que realiza el accionamiento de rotación independientemente para cada pala 6.

5 La unidad 12 de control de inclinación independiente puede controlar todas las palas 6 para ser llevadas a la posición de mínima oposición al viento de inversión de todas las palas, en la que los bordes delanteros de las palas 6 son dirigidos contra el viento invirtiendo secuencialmente los ángulos de inclinación de las respectivas palas 6 uno a uno después de que se asegura la anteriormente descrita posición de mínima oposición al viento de todas las palas.

10 La unidad 12 de control de inclinación independiente está configurada de manera que se mantienen los ángulos de inclinación de todas las palas 6 en la posición anteriormente descrita de mínima oposición al viento en inversión mientras las velocidad del viento, medida por el anemómetro 13, no sea menor que la velocidad de corte del viento.

15 El dispositivo 15 de control de guiñada espera en el estado en el que se produce un frenado de guiñada débil para actuar sobre el movimiento de guiñada de la góndola 3 controlando el dispositivo 14 de accionamiento de guiñada después de que todas las palas 6 están en la posición de mínima oposición al viento en inversión por medio de la unidad de control de inclinación independiente.

20 A continuación se describe la turbina eólica de eje horizontal y su método de marcha lenta de acuerdo con la presente realización, haciendo referencia al diagrama de flujo mostrado en la figura 3, relativo a un método de marcha lenta mediante la anteriormente descrita unidad 12 de control de inclinación independiente en caso de vendaval.

25 En primer lugar, como se muestra en la figura 1, la turbina eólica de eje horizontal 1 de funcionamiento a favor del viento de acuerdo con la presente realización, captura el viento y gira en el estado en que el rotor 5 está siempre situado a favor del viento de la torre 2 debido al momento de guiñada que es una característica de las turbinas eólicas, causado por la captura de un viento oblicuo o un viento de costado.

30 El par de rotación del rotor 5 es transmitido al árbol rotativo 4 conectado al cubo 7 a través del cubo 7 dispuesto en el centro del rotor 5, y transmitido al generador no mostrado conectado al árbol rotativo 4 y contenido dentro de la góndola 3. Por ello, la energía cinética del movimiento de rotación es convertida en energía eléctrica.

35 Aquí, usualmente como para la generación comercial del viento, existe un intervalo apropiado para la generación en consideración a los aspectos de resistencia mecánica, eficiencia de generación y seguridad. En el intervalo de velocidades del viento más allá del límite superior del intervalo de vientos (velocidad de corte del viento), la turbina eólica de eje horizontal no realiza la generación y está controlada de manera que funciona en marcha lenta en la posición capaz de reducir la carga del viento tanto como sea posible con el fin de evitar el efecto del vendaval.

40 Como para la turbina eólica de eje horizontal 1 de la presente realización, después de la condición operativa normalizada (Paso 1), la unidad 12 de control de inclinación independiente anteriormente descrita acciona el dispositivo 11 de accionamiento de inclinación para llevar todas las palas 6 a la posición de mínima oposición al viento paralela a la dirección del viento (Paso 3) para reducir la carga del viento que actúa sobre las palas 6 y la torre 2 cuando el anemómetro 13 detecta una velocidad del viento más allá de la velocidad de corte del viento (Paso S2: Si), por ejemplo en situación de vendaval.

45 En este momento, la unidad 12 de control de inclinación independiente controla las palas 6 para mantener el ángulo paralelo a la dirección del viento en el estado en que los bordes delanteros están orientados de cara al viento. El rotor 5 es automáticamente situado a favor del viento de la torre 2 por medio del momento de guiñada, que es la característica de las turbinas eólicas anteriormente descrita, y con ello el plano de rotación del rotor 5 es situado de manera estable en la posición perpendicular a la dirección del viento.

50 A continuación, las tres palas 6 son invertidas secuencialmente una a una por la anteriormente descrita unidad 12 de control de inclinación independiente y controladas para ser llevadas a la posición de mínima oposición al viento en inversión, en la que los bordes delanteros están orientados de cara al viento (Paso S4).

55 Después de que todas las palas 6 son controladas para ser llevadas a la posición de mínima oposición negativa al viento de todas las palas, en la que todas las palas 6 están invertidas, la turbina eólica de eje horizontal 1 marcha lentamente hasta la terminación del vendaval en el estado en que el dispositivo 15 de control de guiñada controla al dispositivo 14 de accionamiento de guiñada para poner un frenado de guiñada débil (Paso S5).

60 Aquí, como se muestra en la figura 6, el rotor 5 tiene la velocidad de rotor de 2 ó 3 rpm y casi se detiene tanto en la posición de mínima oposición al viento, en la que los bordes delanteros están dirigidos de cara al viento, como en la posición de mínima oposición al viento de inversión, en la que los bordes traseros están orientados de cara al viento. Sin embargo, hay algo no deseable en el curso de la inversión que tiene un ángulo intermedio entre estas posiciones debido a que se genera un par grande; por ejemplo, el rotor 5 experimenta una pequeña carga y consigue exceso de velocidad en el curso de la inversión en caso de la inversión de las tres palas a la vez.

65

5 Por lo tanto, la turbina eólica de eje horizontal de acuerdo con la presente realización impide eficazmente que el rotor 5 adquiera exceso de velocidad al invertir secuencialmente las tres palas 6 una a una por medio de la unidad 12 de control de inclinación independiente, como se ha descrito anteriormente. En este caso, mientras es invertida la pala 6, el rotor gira entre aproximadamente 1/3 y 1/2 veces tan rápido como en el funcionamiento normal, pero no produce un gran efecto sobre la resistencia. La carga que actúa particularmente sobre la parte superior de la torre 2 se reduce significativamente, por ejemplo, en comparación con el caso de inversión simultánea de las tres palas.

10 A continuación, la turbina eólica de eje horizontal 1 fu lenta hasta la terminación del vendaval mientras se alivia la carga del viento de manera que el rotor 5 está siempre situado a favor del viento funciona en marcha lenta de acuerdo con el cambio de la dirección del viento mediante el establecimiento del par de frenada de guiñada en 400 kNm en la posición de mínima oposición al viento, en la que todas las palas 6 están invertidas (Paso S5).

15 La mayor parte de las cargas aerodinámicas que actúan sobre las palas 6 durante la marcha lenta en el estado del Paso S5 son debidas a la elevación. La elevación máxima se reduce significativamente en caso de marcha lenta en el estado en que los bordes traseros están orientados de cara al viento como en la presente realización, en comparación con el caso de marcha lenta en el estado en que los bordes delanteros están orientado de cara al viento como en el desarrollo anterior. Por lo tanto, se reduce significativamente la carga de flexión que actúa sobre las palas 6. Como consecuencia de esto, se reduce significativamente la carga de flexión que actúa sobre el cubo 7 y además la fuerza lateral en el centro de la torre, que actúa sobre el cubo 7, es reducida significativamente a un nivel suficientemente bajo.

20 Como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la turbina eólica de eje horizontal 1, en primer lugar los ángulos de inclinación de todas las palas 6 son llevados a la posición de mínima oposición al viento, en la que las palas 6 son paralelas a la dirección del viento, por ejemplo en situación de vendaval tal como un tifón. Por lo tanto, puede ser reducida la acción de arrastre sobre las respectivas palas 6, debida al viento. Como consecuencia de esto, se puede reducir la carga que actúa sobre las palas 6 y la torre 2.

25 Además, los ángulos de inclinación de las respectivas palas 6 son secuencialmente invertidos uno a uno por medido de la unidad 12 de control de inclinación independiente, por lo que es posible minimizar el aumento de carga que actúa sobre las palas 6 y la torre 2 en comparación con el caso en el que todas las palas sean invertidas a la vez. Como consecuencia de esto, es posible evitar la generación de arrastre y elevación excesivos sobre las palas 6 y evitar eficazmente el exceso de velocidad del rotor 5.

30 Además, es posible invertir las palas 6 mientras se mantiene todavía el plano de rotación del rotor 5 esencialmente perpendicular a la dirección del viento sin movimiento de guiñada. Por lo tanto, en la realización de movimiento de guiñada en situación de vendaval, es posible evitar el aumento de la carga que es generada en caso de que el plano de rotación del rotor 5 esté situado según un ángulo no paralelo a la dirección del viento. Con el fin de reducir mucho más la carga del viento, las palas 6 son invertidas de tal manera que el lado del borde trasero esté dirigido de cara al viento. De ese modo se puede impedir el aumento de la carga que actúa sobre las palas y la torre debida a un viento oblicuo o un viento de costado.

35 Seguidamente, la turbina eólica de eje horizontal 1 funciona en marcha lenta en la posición de guiñada libre, en la que la rotación de la góndola 3 es liberada sin inhibición alguna con el borde trasero de las palas 6 dirigido de cara al viento, y por ello la góndola 3 es hecha girar de tal modo que el rotor 5 está siempre situado a favor del viento, incluso si cambia la dirección del viento. Por lo tanto, se puede reducir la carga que actúa sobre las palas 6 y la torre 2 mientras está siendo aliviada. Por lo tanto, el rotor 5 puede estar siempre situado en el lado a favor del viento de la torre 2 y el efecto de carga debido al viento puede ser minimizado sin un controlador espacial para mantenimiento de la posición de la turbina eólica de eje horizontal 1, por ejemplo, incluso en caso de vendaval tal como un tifón. Además, puede ser relajada la resistencia de diseño de la turbina eólica de eje horizontal 1, se puede mejorar la libertad de diseño y se pueden reducir los costes.

40 Adicionalmente, en este caso, el momento de guiñada, que es una característica de las turbinas eólicas, generado por un viento oblicuo o un viento de costado, puede ser utilizado eficazmente para controlar la posición de marcha lenta en situación de vendaval configurando la torre de manera que soporte la góndola con el rotor de cara al viento. Como consecuencia de esto, la turbina eólica puede funcionar en marcha lenta en la posición de turbina eólica que minimiza la carga que actúa sobre las palas y la torre en situación de vendaval.

45 Además, de acuerdo con el método de marcha lenta de la turbina eólica de eje horizontal 1 de la presente realización, el método de marcha lenta se realiza en los siguientes pasos: el paso de mantener los ángulos de inclinación de todas las palas 6 en una posición de mínima oposición al viento, en la que las palas 6 son paralelas a la dirección del viento en el caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado; el paso de invertir secuencialmente uno a uno los ángulos de inclinación de las respectivas palas 6 después del mantenimiento; el paso de mantener los ángulos de inclinación de todas las palas 6 en una posición de oposición negativa al viento de todas las palas, en la que los ángulos de inclinación están invertidos después de la inversión. Por lo tanto, es posible reducir en gran medida el par que actúa sobre el rotor 5 en comparación, por ejemplo, con el

caso en que todas las palas 6 son invertidas a la vez desde la posición de mínima oposición al viento en situación de vendaval tal como un tifón. En consecuencia, es posible impedir eficazmente que el rotor 5 adquiera exceso de velocidad en este proceso y también reducir en gran medida la carga que actúa sobre la parte superior de la torre 2. De ese modo se puede reducir en gran medida la carga de diseño de la turbina eólica de eje horizontal 1 y se puede mejorar la libertad de diseño.

Ejemplo

A continuación se describen con detalle ejemplos de realización de la presente invención haciendo referencia a los dibujos. El presente ejemplo muestra el resultado de comparar el resultado de la simulación del caso (caso No. (I)) de las siguientes condiciones: (1) la posición del rotor es del tipo de funcionamiento a favor del viento; (2) el par de frenado de guiñada es de 400 kNm; (3) el diámetro del rotor es de 80 m; (4) el número de palas es tres; (5) puede ser realizado el control de inclinación independiente para cada pala; y (6) el ángulo de inclinación de mínima oposición al viento es de 86 grados, y el modelo de dirección/velocidad del viento es el de un viento fluctuante que tiene una velocidad media del viento de 50 m/seg mostrado en la figura 3, con el caso (caso No. (II)) de un tipo ordinario de funcionamiento a favor del viento y que tiene un ángulo de inclinación de -86 grados (posición de oposición al viento negativa) que es el mismo que el de la turbina eólica de eje horizontal que comprende la unidad de control de inclinación independiente, y el caso (caso No. (III)) de una turbina eólica de eje horizontal que es de un tipo ordinario de funcionamiento cara al viento y que comprende una unidad de control de inclinación independiente. El resumen de los resultados del análisis respecto a los métodos de marcha lenta de las turbina eólica de eje horizontal anteriormente descritas se muestra en la Tabla I. En cuanto a las casillas de porcentajes de flexión de la raíz del ala y los porcentajes de flexión del rotor, en la Tabla I se muestran los porcentajes en comparación con el valor máximo registrado para cada casilla.

Tabla I

Caso No.	Nombre del caso	Angulo de inclinación	Freno de guiñada	Flexión de la raíz del ala, %	Flexión del rotor %
(I)	I5090nn4	-86 grados	Deslizamiento	67	74
(II)	I5090nff	86 grados	Deslizamiento	96	86
(III)	I5090nrf	86 grados	Fijación	100	100

Como se muestra en la figura 4, el modelo de dirección/velocidad del viento utilizado para la presente realización es un viento fluctuante que tiene una velocidad media del viento de 50 m/seg y el tiempo de medición es de 60 segundos.

En los resultados del análisis que usa el modelo de dirección/velocidad del viento, la dirección de la góndola no cambia en el caso (caso No. (III)) de un tipo de cara al viento y la marcha lenta con la guiñada fijada como se muestra en la figura 5. En los otros casos, la guiñada desliza y el ángulo de azimut de la góndola cambia de manera que el plano de rotación del rotor 5 se hace perpendicular a la dirección del viento de acuerdo con el cambio de la dirección del viento (véase la figura 4).

El rotor 5 tiene una velocidad de rotor de -3 a 3 rpm y apenas gira en el tipo de cara al viento/de guiñada fija/de posición de mínima oposición al viento (caso No. (III)) mostrado en la figura 6. La velocidad de rotor del rotor 5 es de 1 a 3 rpm en el tipo a favor del viento/guiñada libre/posición de mínima oposición al viento (caso No. (II)). La velocidad del rotor es de -4 a -1 rpm en el tipo a favor del viento/guiñada libre/posición de mínima oposición al viento (caso No. (I)). El rotor 5 gira en el sentido opuesto al del caso (II) debido a que el ángulo de inclinación es invertido en comparación con el caso (II). La velocidad del rotor difícilmente aumenta, debido a que cada caso está en la posición de mínima oposición al viento o posición de oposición negativa al viento, en la que los ángulos de inclinación son controlados de manera que las elevaciones generadas en las palas 6 resultan mínimas.

A continuación se describe con detalle la carga de flexión de la raíz de las palas utilizando las figuras 7 a 9. La turbina eólica de eje horizontal 1 de acuerdo con la presente realización comprende tres palas 6. Las respectivas palas 6 se define como palas 6-#1 a 3 y los momentos de flexión que actúan sobre las respectivas palas 6 se muestran en las figuras 7 a 9.

Aquí, sobre qué pala 6 actúa la mayor carga de flexión en el diseño depende de ciertas condiciones. Por ejemplo, las velocidades del viento en la posición tan alta como el cubo están mostradas como las velocidades del viento. Sin embargo, la velocidad del viento no es constante y no es uniforme en los respectivos puntos en el plano de rotación del rotor 5. Por lo tanto, las cargas de flexión que actúan sobre las respectivas palas 6, debidas al viento, dependen de las situaciones del viento a lo largo del tiempo. Particularmente en caso de una turbina eólica de eje horizontal que funciona a favor del viento, la diferencia es también causada en las cargas que actúan sobre las respectivas palas 6 que dependen de un ángulo de azimut formado por una pala 6 y el eje central de la torre debido al efecto de la sombra de la torre.

- 5 Como se muestra en las figuras 7 a 9, en cuanto a las palas 6 montadas en la turbina eólica de eje horizontal 1 de acuerdo con la presente realización, los valores máximos de las respectivas cargas de flexión son registrados para la pala 6-#2 en el caso del tipo de cara al viento/guiñada fija/posición de mínima oposición al viento, para la pala 6-#1 en el caso del tipo a favor del viento/guiñada libre/posición de mínima oposición al viento, y para la pala 6-#3 en el caso del tipo a favor del viento/guiñada libre/posición de oposición negativa al viento. Como se entenderá por las figuras 7 a 9, las cargas de flexión que actúan sobre las respectivas palas 6 en el caso del tipo a favor del viento/guiñada libre/posición de oposición negativa al viento, que es el caso No. (I), son generalmente bajas, y se ha encontrado que aparece claramente la existencia de un efecto de reducción de cargas.
- 10 Como se muestra en la figura 10, la carga de flexión del cubo que actúa sobre el cubo 7, al que están unidas las palas 6, se reduce cuando la turbina eólica de eje horizontal 1 funciona en marcha lenta funcionamiento a favor del viento/guiñada libre/posición de oposición negativa al viento.
- 15 Además, se ha visto que la fuerza lateral del centro en la dirección horizontal, que actúa sobre la torre 2 en el caso de marcha lenta en funcionamiento a favor del viento/guiñada libre/oposición negativa al viento, es algo inferior a la del caso de marcha lenta en funcionamiento a favor del viento/guiñada libre/posición de mínima oposición al viento, como se muestra en la figura 10.
- 20 Como anteriormente, de acuerdo con la turbina eólica de eje horizontal y el método de marcha lenta de la misma en relación con la presente realización, la marcha lenta en la posición de guiñada libre y de oposición negativa al viento (la condición de (I)), hace posible reducir las cargas que actúan sobre las palas 6 y la torre 2 en caso de vendaval haciendo que sean mínimas.

**REIVINDICACIONES**

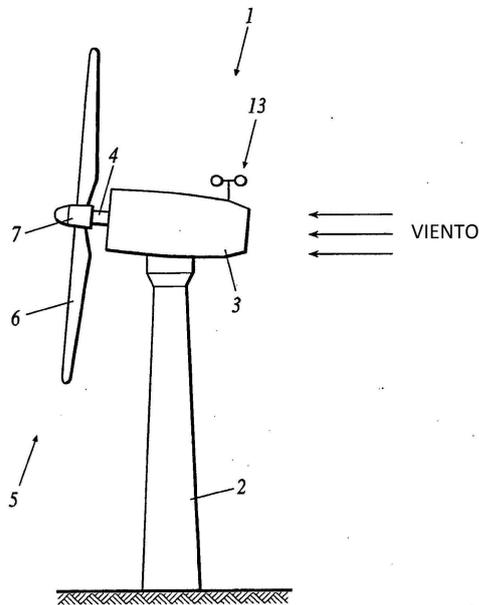
1. Una turbina eólica de eje horizontal (1), que comprende:

- 5
- un rotor (5) que tiene un cubo (7) y al menos dos o más palas (6);
  - una góndola (3) para soportar de manera pivotante el rotor (5) por medio de un árbol rotativo (4)
  - conectado al cubo (7);
  - una torre (2) para soportar la góndola (3), y
  - una unidad (12) de control de inclinación independiente, capaz de controlar de manera independiente los
  - 10 ángulos de inclinación de las palas (6), respectivamente,
  - en la que la unidad (12) de control de inclinación independiente controla los ángulos de inclinación de manera que todas las palas (6) son llevadas a una posición de mínima oposición al viento en caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado, y a continuación controla los ángulos de inclinación de las palas individuales (6) de manera que sean invertidos secuencialmente uno a uno, por lo que
  - 15 todas las palas (6) son llevadas a una posición de mínima oposición al viento invertidas todas las palas, y seguidamente además, realiza el control de manera que la turbina eólica (1) funciona en marcha lenta en la posición de oposición al viento de todas las palas invertidas.

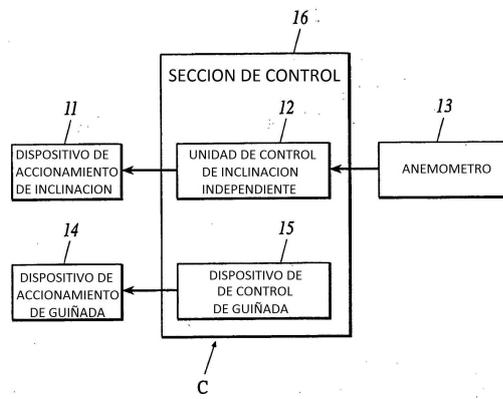
20 2. Un método de funcionamiento en marcha lenta de una turbina eólica de eje horizontal a favor del viento, que comprende los siguientes pasos:

- mantener los ángulos de inclinación de todas las palas (6) en una posición de mínima oposición al viento, en la que las palas (6) son paralelas a una dirección del viento en el caso de una velocidad del viento no menor que un valor predeterminado;
- 25 - invertir secuencialmente los ángulos de inclinación de las palas individuales (6) una a una después del mantenimiento, con lo que todas las palas (6) son llevadas a una posición de mínima oposición al viento en la inversión de todas las palas; y
- mantener los ángulos de inclinación de todas las palas (6) en la posición de mínima oposición al viento en la inversión de todas las palas.
- 30

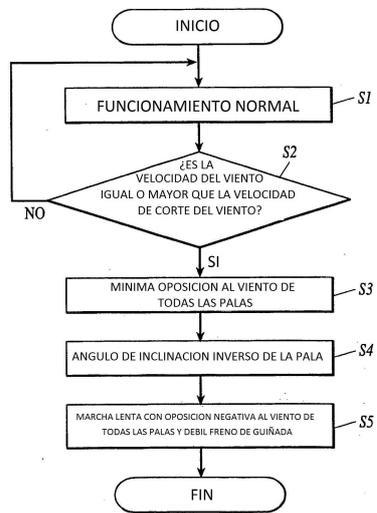
**FIG.1**



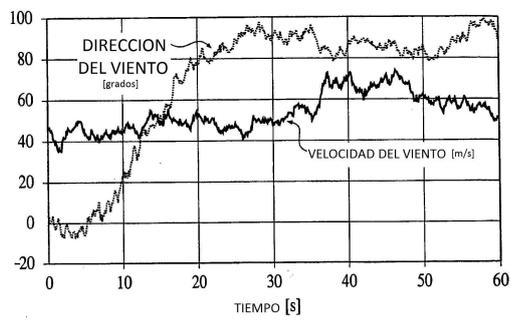
**FIG.2**



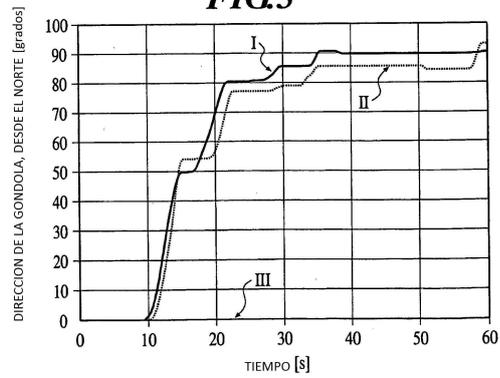
**FIG.3**



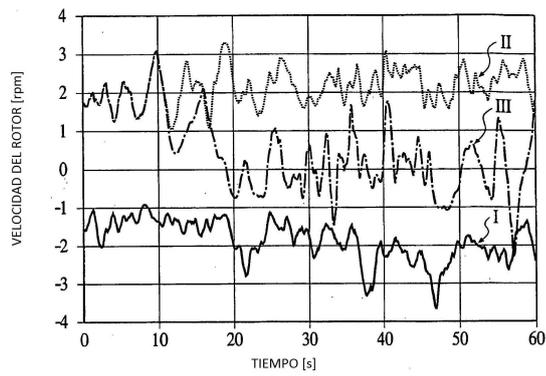
**FIG.4**



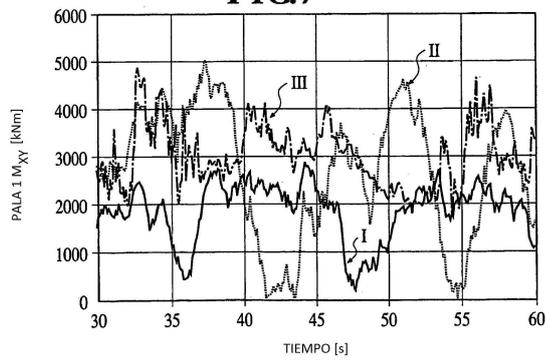
**FIG.5**



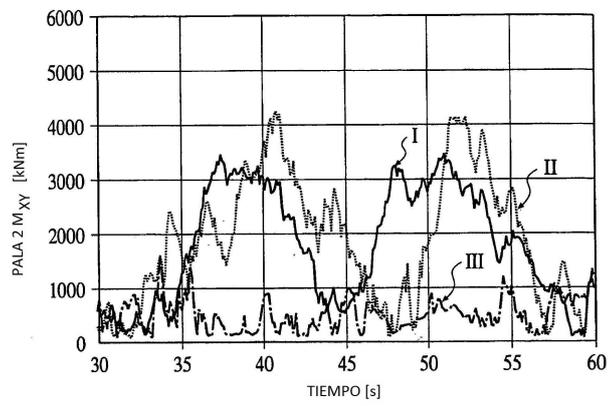
**FIG.6**



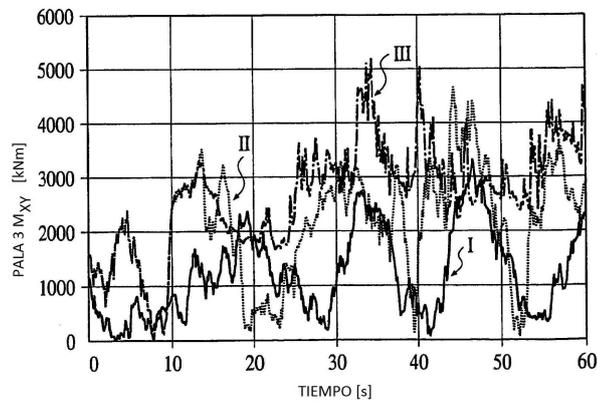
**FIG.7**



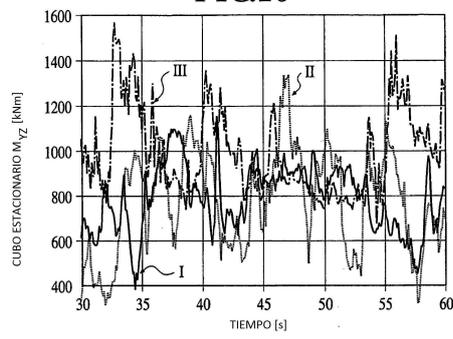
**FIG.8**



**FIG.9**



**FIG.10**



**FIG.11**

