

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 381**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2011 E 11799623 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2016 EP 2665928**

54 Título: **Procedimiento y aparato para proteger turbinas eólicas de eventos extremos**

30 Prioridad:

18.01.2011 GB 201100856
18.01.2011 US 201161433707 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.05.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (50.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK y
CREABY, JUSTIN (50.0%)

72 Inventor/es:

CREABY, JUSTIN;
BOWYER, ROBERT y
SPRUCE, CHRIS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 571 381 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para proteger turbinas eólicas de eventos extremos

5 **Campo de la invención**

Esta invención se refiere a turbinas eólicas, y, en particular, a la detección anticipada de condiciones extremas de viento ascendente y el control de turbinas eólicas en respuesta a las condiciones detectadas.

10 **Antecedentes de la invención**

Es importante para una turbina eólica que tenga conocimiento previo de la condición del viento que en breve llegará a la turbina. Este conocimiento le da al controlador de la turbina tiempo suficiente para ajustar los parámetros de funcionamiento, tales como ángulo de paso de las palas o la velocidad del rotor, para que coincida con las condiciones que se aproximan. Esto se puede hacer por una variedad de razones. A velocidades de viento bajas es importante maximizar la energía que puede ser extraída por el viento mediante el establecimiento de parámetros tales como el ángulo de paso de las palas a una posición óptima. A velocidades de viento mayores, es importante ajustar los parámetros de la turbina para evitar el funcionamiento en condiciones que pudieran conducir a daños. Las turbinas eólicas tienen una potencia nominal y cuando se supera esta salida de potencia, el ángulo de paso de las palas y otros parámetros de funcionamiento se pueden ajustar para reducir la cantidad de energía que se extrae del viento. Las turbinas eólicas también deben diseñarse para soportar condiciones extremas de funcionamiento. Típicamente, estas condiciones extremas son eventos individuales raros o un pequeño número de eventos acumulados que causan grandes cargas, a menudo desequilibradas, en la turbina eólica y dañarán la turbina o reducirán el tiempo de vida global de los componentes de la turbina, tales como las palas o la caja de engranajes, en una cantidad significativa.

Las turbinas eólicas están obligadas a cumplir con las condiciones extremas como se establece en la norma internacional IEC 61400-1 3ª Edición de 2005. La Sección 6.3.2 define una serie de condiciones de viento extremas, tales como la velocidad extrema del viento, la turbulencia extrema, y el cambio de dirección extremo. Con el fin de cumplir con estos requisitos, se requiere que las turbinas eólicas estén considerablemente diseñadas en exceso para respecto al uso normal, lo que aumenta considerablemente la cantidad de material utilizado en componentes de la turbina, tales como las palas, la caja de engranajes, y la torre. Esto a su vez aumenta el coste de instalación de la turbina eólica y el coste de la generación de energía.

Muchas propuestas se han hecho para determinar las condiciones del viento anticipadas. En general, estas incluyen sensores colocados en la turbina que observan el viento aguas arriba.

Un ejemplo se divulga en el documento EP-A-0970308, que describe el uso de un Lidar o aparato de detección a distancia similar, montado sobre la góndola de la turbina eólica, y que detecta las condiciones de varios diámetros del rotor aguas arriba de la turbina. Sobre la base de las condiciones detectadas del controlador, que puede estar en la turbina o puede ser un controlador de energía eólica separado, se puede instruir a una turbina individual o a un grupo de turbinas para cambiar sus parámetros de funcionamiento antes de que las condiciones del viento detectadas lleguen a la turbina. Otro ejemplo se divulga en el documento US-A-20060140764, en el que el Lidar está montado en el buje del rotor y tiene una pluralidad de direcciones de observación que se inclinan lejos del eje de rotación del buje, de manera que la rotación del buje asegura la exploración. Las múltiples direcciones de observación se pueden lograr mediante el uso de una serie de sistemas Lidar dedicados y/o mediante el uso de Lidares multiplexados o un divisor de haz.

El documento EP2112373A2 divulga un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica, que determina un valor de carga total sobre la base de un valor de flujo incidente oblicuo y un valor de carga que representa el estado de carga de la instalación de energía eólica. Si el valor de la carga total es superior a un primer valor límite, se reduce la velocidad de rotación del rotor.

El documento US 2006/0033338 divulga un procedimiento mediante el cual un modelo de flujo de viento que incluye la aceleración del viento se utiliza mediante el sistema de control de turbina.

La técnica conocida proporciona una serie de ejemplos de la detección anticipada de las condiciones del viento en una turbina eólica. Sin embargo, ninguno de la técnica permite la detección de un cambio extremo en la dirección del viento y, por lo tanto, ninguno es capaz de proteger la turbina de las consecuencias de un cambio de dirección extremo de este tipo. La presente invención pretende abordar esta deficiencia en la técnica anterior.

De acuerdo con ello, la invención proporciona un sistema de control para una turbina eólica, que comprende; un dispositivo montado en la turbina eólica para detectar una propiedad de las condiciones del viento en una posición contra el viento de la turbina eólica; un controlador para recibir y procesar señales desde el dispositivo de detección para detectar un cambio extremo en la dirección del viento contra el viento de la turbina eólica, y para generar una o más señales de control para variar un parámetro de funcionamiento de la turbina eólica en respuesta al cambio

extremo detectado en la dirección del viento, en el que el controlador comprende un diferenciador para la medición de la velocidad de cambio de un parámetro del viento.

5 La invención también proporciona un procedimiento para controlar una turbina eólica, que comprende; detectar una propiedad de las condiciones del viento en una posición contra el viento de la turbina eólica mediante un dispositivo de detección a distancia montado en la turbina; recibir y procesar señales procedentes del dispositivo de detección a un controlador para detectar un cambio extremo en la dirección del viento contra el viento de la turbina eólica, que comprende el procesamiento de la diferenciación de un parámetro del viento medido para determinar la velocidad de cambio de dicho parámetro; y generar una o más señales de control para variar un parámetro de funcionamiento de la turbina eólica en respuesta al cambio extremo detectado en la dirección del viento.

15 Las realizaciones de la invención tienen la ventaja de que mediante la diferenciación de un parámetro de viento adecuado, puede determinarse la velocidad de cambio de dicho parámetro y determinarse la gravedad de un cambio de dirección del viento. Esto permite que el controlador del sistema determine si hay un cambio de dirección extremo como se define mediante la norma IEC 61400-1 descrita a continuación y, por lo tanto, si es necesario tomar una acción evasiva.

20 En una realización preferida de la invención, el diferenciador diferencia la dirección del viento. Un filtro puede determinar si la velocidad de cambio de la dirección del viento supera un valor predeterminado durante un período predeterminado de tiempo. Esto tiene la ventaja de que los cambios instantáneos en la dirección, que pueden ser causados por turbulencias, no se marquen como eventos extremos, y un evento extremo solamente se señala cuando el cambio detectado se mantiene durante un período de tiempo.

25 El valor predeterminado de la velocidad de cambio de la dirección del viento puede ser dependiente de la magnitud de la velocidad del viento medida. Esto es ventajoso, ya que cuanto mayor es la velocidad del viento, menor es el cambio en la dirección requerida para causar un exceso de carga y daños.

30 En una realización preferida, el valor predeterminado o la velocidad de cambio de la dirección del viento es de 5°/s. El período de tiempo predeterminado puede ser al menos de 3 segundos.

35 En otra realización preferida de la invención, el parámetro del viento detectado es la velocidad del viento, y las señales de velocidad del viento se resuelven en componentes axiales y laterales. El diferenciador actúa sobre el componente lateral para determinar la velocidad de cambio de la velocidad del viento lateral del viento. Este enfoque es ventajoso, ya que puede ser más preciso que la determinación de un cambio en la dirección del viento observando el ángulo del viento respecto al eje de rotación del rotor de la turbina eólica.

40 Preferiblemente, el dispositivo de detección detecta el parámetro del viento en una pluralidad de distancias contra el viento de la turbina eólica. Esto tiene la ventaja de que los cambios en el viento frontal en sentido contrario pueden detectarse, de manera que no se toma una acción evasiva innecesaria cuando un cambio brusco de dirección detectada a una distancia lejana se degrada en un evento que no está clasificado como medida extrema que se acerca a la turbina.

Preferiblemente, el dispositivo de detección es un Lidar de haz múltiple que tiene una puerta de rango múltiple.

45 La señal de control generada por el controlador en respuesta a un cambio de dirección extremo detectado puede comprender un comando de parada de la turbina, o un comando de guiñada de la turbina.

50 En el caso de una orden de guiñada, el controlador puede ordenar adicionalmente que la turbina se ralentice hasta que la acción de guiñada se completa.

La invención también reside en una turbina eólica que tiene un sistema de control como se define anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

55 A continuación se describirán realizaciones de la invención, a modo de ejemplo solamente, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

60 La figura 1 es un gráfico de la dirección del viento en contra de la velocidad del viento que muestra un cambio de dirección brusco;

La figura 2 es un gráfico similar a la figura 1 de la dirección del viento contra el tiempo a una velocidad del viento de 6 m/s;

65 La figura 3 es un gráfico similar a la figura 2 a una velocidad del viento de 10 m/s;

La figura 4 es un gráfico similar a la figura 3 a una velocidad del viento de 25 m/s;

La figura 5 es una visión esquemática de una turbina eólica que tiene un Lidar que realiza la invención y que muestra un viento frontal que viene con un cambio brusco de la dirección del viento;

5 La figura 6 muestra un diagrama esquemático de una primera realización de la invención que mide el ángulo de dirección del viento; y

La figura 7 muestra un diagrama esquemático de una segunda realización de la invención en la que se determina un cambio de dirección para la aceleración de un componente de la velocidad lateral.

10

Descripción de una realización preferida

La norma internacional IEC 61400-1 3ª Edición, establece los requisitos de diseño para las turbinas eólicas. El Capítulo 6.3.2 antes mencionado establece y define las condiciones de viento extremas, incluyendo eventos de viento escarpado, velocidad del viento pico debido a tormentas y rápidos cambios en la velocidad y en la dirección del viento. La magnitud de un cambio de dirección extrema está dada por:

15

$$\theta_e = \pm 4 \arctan \left(\frac{\sigma_1}{V_{buje} \left(1 + 0.1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right) \right)} \right)$$

20 Donde θ_e es la magnitud del cambio de dirección extremo
 σ_1 está dada por $\sigma_1 = I_{ref} (0,75 V_{buje} + b)$; $b = 5,6$ m/s
 I_{ref} es el valor esperado de la intensidad de la turbulencia a la altura del buje a una velocidad del viento media de 10 minutos de 15 m/s
 V_{buje} es la velocidad del viento a la altura del buje
 25 D es el diámetro del rotor
 Λ_1 es el parámetro de escala de turbulencia, de acuerdo con

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0,7z & z \leq 60 \text{ m} \\ 42 \text{ m} & z \geq 60 \text{ m} \end{cases}$$

30 El transitorio de cambio de dirección extremo, $\theta(t)$, vendrá dado por la

$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & \text{para } t < 0 \\ \pm 0,5\theta_e (1 - \cos(\pi / T)) & \text{para } 0 \leq t \leq T \\ \theta_e & \text{para } t > T \end{cases}$$

35 Donde $T = 6$ s es la duración del cambio de dirección extremo. El signo debe elegirse de manera que se produzca la peor carga transitoria. Al final del transitorio de cambio de dirección, la dirección se asume que se mantiene sin cambios. La velocidad del viento se ajustará al modelo del perfil del viento normal.

40 La transición en un cambio de dirección extremo se muestra para turbinas eólicas Vestas V90 1,8MW en las figuras 1 a 4. La figura 1 es un gráfico de la velocidad del viento en contra de la dirección del viento, con la línea gruesa 10 mostrando la transición a un cambio de dirección extremo en base a la fórmula expresada en la ecuación anterior. Por lo tanto, un cambio de alrededor de +/- 60° se considera que es extremo a una baja velocidad del viento de 5 m/s, pero a velocidades de viento mayores, un cambio de viento mucho menor durante el periodo designado $t = 6$ s se considera extremo. A 25 m/s, un cambio de aproximadamente 30° se trata como extremo.

45 Las figuras 2 a 4 muestran estos datos como cambios en la velocidad del viento a través del tiempo a velocidades de viento fijas de 6 m/s (figura 2); 10 m/s (figura 3); y 25 m/s (figura 4). Las figuras muestran que la velocidad de cambio es más importante que la magnitud real del cambio, ya que la velocidad de cambio determina la capacidad de la turbina para actuar. Una dirección del viento que cambia lentamente con el tiempo es menos probable que cause un problema al controlador de la turbina, ya que el controlador tendrá tiempo para ajustar los parámetros de funcionamiento de la turbina de acuerdo con el cambio, mientras que un cambio rápido puede no dar tiempo suficiente al controlador de la turbina para reaccionar. A medida que aumentan las velocidades del viento, la
 50 velocidad de cambio de dirección en la que el controlador puede gestionar adecuadamente disminuye a medida que

se refleja en los gráficos que muestran la transición extrema que se produce en un ángulo mucho menor para una mayor velocidad del viento que para velocidades de viento más bajas. En los tres ejemplos que se muestran en las figuras 2 a 4, la transición extrema es una curva en forma de S suave, que es esencialmente una línea recta sobre su porción media entre aproximadamente 2 y 4 s.

5 La figura 5 ilustra una realización de la invención en la que un Lidar o aparato de detección a distancia 20 similar está montado en una turbina eólica 30. Actualmente se prefiere montar el Lidar en la superficie superior de la góndola de la turbina detrás de las palas del rotor con una dirección de observación que se extiende generalmente frente a las palas. Se pueden utilizar ubicaciones alternativas para el Lidar, por ejemplo, puede montarse en el buje para girar con el buje para proporcionar una exploración cónica.

15 Se prefiere, pero no es esencial, que el Lidar sea un Lidar de rango de puerta múltiple. Esto significa que el Lidar es capaz de detectar las condiciones del viento en una pluralidad de distancias de la turbina eólica. Esto hace que sea posible controlar el progreso de un evento extremo detectado que puede reducirse en intensidad a medida que se acerca a la turbina eólica. Esto es importante, ya que evita realizar una acción evasiva que sea innecesaria si la severidad del evento disminuye a medida que se acerca a la turbina. La reacción a un evento extremo no es deseable, a menos que sea absolutamente necesario, y causará una pérdida temporal de la producción de energía. La detección de las condiciones del viento relativamente lejos de la turbina, sin embargo, es deseable, ya que da más tiempo para que la turbina reaccione.

20 El Lidar es un Lidar de haz múltiple que tiene al menos dos haces, que le permiten detectar la dirección del movimiento. Aunque no es esencial, el Lidar tiene preferentemente entre tres y cinco haces. Estos haces se pueden producir mediante cualquier procedimiento adecuado, por ejemplo, usando un único dispositivo Lidar con un divisor de haz o un multiplexor o mediante el uso de una pluralidad de dispositivos.

25 En la figura 5, el Lidar 20 detecta las condiciones del viento en dos rangos: 50 m y 100 m. Esto es a modo de ejemplo solamente, y pueden elegirse diferentes distancias y un número diferente de distancias dependiendo del sitio y del número de rangos que el Lidar elegido puede medir. Un frente de viento 40 se muestra avanzando sobre la turbina. Este frente cambia de dirección en un punto entre los dos rangos, mostrándose el cambio de dirección del frente mediante la línea de puntos 50. En el rango de 50 m, el Lidar detecta la dirección del viento cero, es decir, la dirección del viento es paralela al eje de rotación de la turbina. A 100 m, el Lidar y el procesador asociado detectan un ángulo de aproximadamente 30° durante un segundo período de 6 o 5° por segundo. Dependiendo de la velocidad del viento, este cambio en el ángulo podría representar un cambio extremo. Para determinarlo, el controlador diferencia la señal proporcionada por el Lidar para determinar la velocidad de cambio de dirección. En la práctica, las señales de dirección del viento con frecuencia cambian instantáneamente esta cantidad. Sin embargo, en la determinación de si el cambio se puede tratar como un evento extremo, es importante determinar si esta velocidad de cambio se mantiene durante un período de tiempo, por ejemplo entre aproximadamente 2 a 5 segundos, preferiblemente durante al menos tres segundos, y más preferiblemente al menos cuatro segundos. Esto se puede conseguir mediante el filtrado de la señal diferenciada. Si la señal alcanza el umbral de 5° por segundo, entonces el controlador puede ordenar una acción evasiva.

45 El controlador puede determinar el ángulo de la dirección del viento con respecto al eje de rotación del rotor de la turbina eólica. Alternativamente, puede observar la velocidad del viento detectada y resolver que la velocidad en los componentes laterales y axiales con el componente lateral representa la velocidad de desplazamiento en una dirección paralela al plano de rotación del rotor de la turbina eólica, o normal a su eje de rotación. Una vez que el componente lateral se ha determinado, se diferencia para dar la aceleración o la velocidad de cambio del componente lateral. Si la aceleración supera el umbral indicado a continuación, se toman medidas. El umbral puede excederse durante un período de tiempo como se ha mencionado anteriormente para tratar el cambio en la dirección como un cambio extremo. El período de tiempo puede depender de la magnitud de la aceleración, de forma que un frente de viento más rápidamente cambiante puede necesitar ser detectado durante un tiempo más corto que una que apenas supera el umbral de evento extremo para tomar una acción evasiva

50 Una vez que el controlador detecta que el umbral ha sido sobrepasado durante el tiempo predeterminado, ordena a la turbina a tomar una acción evasiva. Esto puede requerir un cierre controlado o un cierre de emergencia de la turbina o alguna otra acción, tal como variar el ángulo de paso de las palas para la potencia de salida. Alternativamente, o adicionalmente, el controlador puede anular la guiñada de la turbina para iniciar un procedimiento de guiñada inmediato.

60 La turbina puede ralentizarse hasta que la acción de guiñada sea completa. La elección de una acción evasiva dependerá de la severidad del evento extremo.

65 Las figuras 6 y 7 ilustran los dos modos de realización descritos. En la figura 6, un Lidar 20 montado en una turbina eólica emite una pluralidad de haces 48 para detectar un parámetro del frente del viento contra el viento 40. En esta realización, el Lidar es un Lidar de múltiples haces que tiene una pluralidad de haces o direcciones de observación, mostrándose tres en la figura, y que detectan la dirección del viento, que puede ser expresada como un ángulo Θ con respecto a una dirección conocida, tal como el eje de rotación del rotor de la turbina eólica. Un diferenciador 55

diferencia el ángulo medido con respecto al tiempo para dar un valor $d\theta/dt$ y un filtro 60 filtra la señal durante un período de tiempo predeterminado, aquí 4 segundos como se describió anteriormente. Un detector de umbral 65 recibe la salida del filtro y una indicación de la velocidad del viento y determina si se han superado los umbrales. El detector de umbral incluye una tabla de consulta de los umbrales a diferentes velocidades del viento. En 70, donde
 5 la salida del detector de umbral indica un evento extremo, el controlador ordena una acción evasiva y hace que un parámetro de la turbina eólica se ajustarse en consecuencia. Este parámetro puede ser un comando de apagado total o un comando de guiñada de la góndola.

La realización de la figura 7 es similar a la de la figura 6, a excepción de que el controlador actúa sobre la salida del Lidar 20 en 80 para determinar la velocidad del viento y resuelve la velocidad en dos componentes: una velocidad axial en la dirección del eje de rotación del rotor de la turbina eólica, y una velocidad lateral que es la velocidad en el plano del rotor o normal al eje de rotación. El diferenciador 55A actúa sobre la velocidad lateral para proporcionar una salida al filtro 60 $dV_{lateral}/dt$, que es la aceleración lateral del viento y, por lo tanto, indicativa de un cambio en la dirección.
 10
 15

Por lo tanto, las realizaciones de la invención permiten detectar cambios de dirección extremos y tomar acciones evasivas antes de que los eventos lleguen a la turbina eólica. Esto permite cambiar las restricciones de diseño en la turbina, de manera que no tienen que soportar la carga causada por cambios extremos en la dirección del viento. Esto a su vez permite a los diseñadores de turbinas eólicas utilizar componentes más ligeros, reduciendo el coste de las turbinas eólicas y, de este modo, el coste de la producción de energía. Alternativamente, permite que los componentes existentes operen a potencias de salida con una calificación superior, impulsando así la energía que puede ser extraída por una turbina dada.
 20

Muchas modificaciones a las realizaciones descritas anteriormente son posibles y se les ocurrirán a los expertos en la técnica sin apartarse de la invención.
 25

Por ejemplo, el controlador puede montarse en, y ser parte de, una turbina individual, o puede ser un controlador remoto que controla múltiples turbinas que forman un parque eólico o una parte de un parque eólico. El alcance de la misma se define mediante las siguientes reivindicaciones.
 30

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control para una turbina eólica, que comprende:
 un dispositivo de detección (20) montado en la turbina eólica (30) para detectar una propiedad de las condiciones de viento en una posición contra el viento de la turbina eólica;
 un controlador para recibir y procesar señales procedentes del dispositivo de detección;
caracterizado por que el controlador basado en el procesamiento de las señales detecta un cambio extremo en la dirección del viento contra el viento de la turbina eólica, y genera una o más señales de control para variar un parámetro de funcionamiento de la turbina eólica en respuesta al cambio extremo detectado en la dirección del viento, en el que el controlador comprende un diferenciador (55) para diferenciar una dirección del viento para medir una tasa de cambio de la dirección del viento, y un filtro (60) para determinar si la tasa de cambio de la dirección del viento supera un valor predeterminado durante un período predeterminado de tiempo, y en el que el cambio extremo en la dirección del viento se detecta cuando la tasa de cambio de dirección del viento supera el valor predeterminado durante el periodo de tiempo predeterminado.
2. Un sistema de control según la reivindicación 1, en el que el valor predeterminado de la tasa de cambio de dirección del viento depende de la magnitud de la velocidad del viento medida.
3. Un sistema de control según la reivindicación 1, en el que el controlador comprende un divisor para la resolución de las señales de la velocidad del viento desde el dispositivo de detección en componentes axiales y laterales, y en el que el diferenciador actúa sobre el componente lateral para determinar la tasa de cambio de la velocidad lateral del viento.
4. Un sistema de control según cualquier reivindicación anterior, en el que el dispositivo de detección es un Lidar de haz múltiple y/o un Lidar de puerta de alcance múltiple.
5. Un sistema de control según cualquier reivindicación anterior, en el que la señal de control generada por el controlador en respuesta a un cambio de dirección extremo detectado comprende un comando de apagado de la turbina.
6. Un sistema de control según las reivindicaciones 1 a 4, en el que la señal de control generada por el controlador en respuesta a un cambio de dirección extremo detectado comprende un comando de guiñada de la turbina.
7. Un sistema de control según la reivindicación 6, en el que la señal de control comprende un comando de desaceleración de la turbina hasta que la acción de guiñada se completa.
8. Una turbina eólica que incluye un sistema de control según cualquier reivindicación anterior.
9. Un procedimiento para controlar una turbina eólica, que comprende:
 detectar una propiedad de las condiciones de viento en una posición contra el viento de la turbina eólica mediante un dispositivo de detección a distancia (20) montado en la turbina;
 recibir y procesar señales desde el dispositivo de detección a un controlador;
caracterizado por que el controlador detecta un cambio extremo de la dirección del viento contra el viento de la turbina eólica; y genera una o más señales de control para variar un parámetro de funcionamiento de la turbina eólica en respuesta al cambio extremo detectado en la dirección del viento, en el que el procesamiento comprende la diferenciación (55) de una dirección del viento para determinar una tasa de cambio de la dirección del viento, y un filtrado (60) para determinar si la tasa de cambio de la dirección del viento supera un valor predeterminado durante un período predeterminado de tiempo, y en el que el cambio extremo en la dirección del viento se detecta cuando la tasa de cambio de la dirección del viento es superior al valor predeterminado durante el período de tiempo predeterminado.
10. Un procedimiento según la reivindicación 9, en el que el valor predeterminado de la tasa de cambio de la dirección del viento depende de la magnitud de la velocidad del viento medida.
11. Un procedimiento según la reivindicación 10, en el que el parámetro del viento detectado es la velocidad del viento, que comprende la resolución de las señales de la velocidad del viento en componentes axiales y laterales, y en el que el diferenciador actúa sobre el componente lateral para determinar la tasa de cambio de la velocidad del viento lateral del viento.
12. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el dispositivo de detección detecta el parámetro del viento en una pluralidad de distancias contra el viento de la turbina eólica.
13. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que la señal de control generada por el controlador en respuesta a un cambio de dirección extremo detectado comprende un comando de apagado de la turbina.

14. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que la señal de control generada por el controlador en respuesta a un cambio de dirección extremo detectado comprende un comando de guiñada de la turbina.
- 5 15. Un procedimiento según la reivindicación 14, en el que la señal de control comprende un comando para ralentización de la turbina hasta que la acción de guiñada se completa.

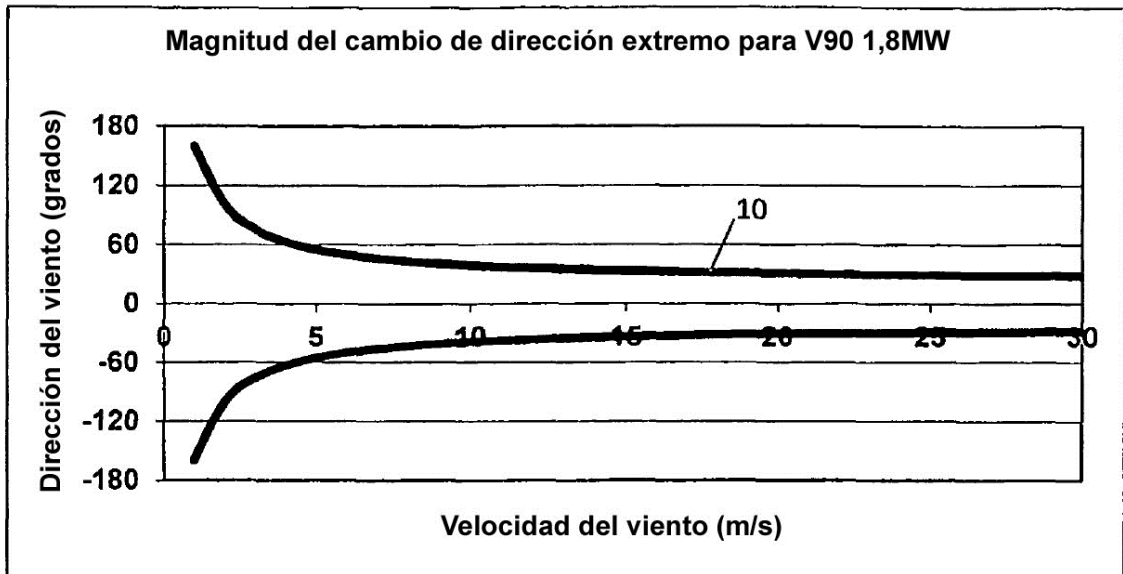


Figura 1

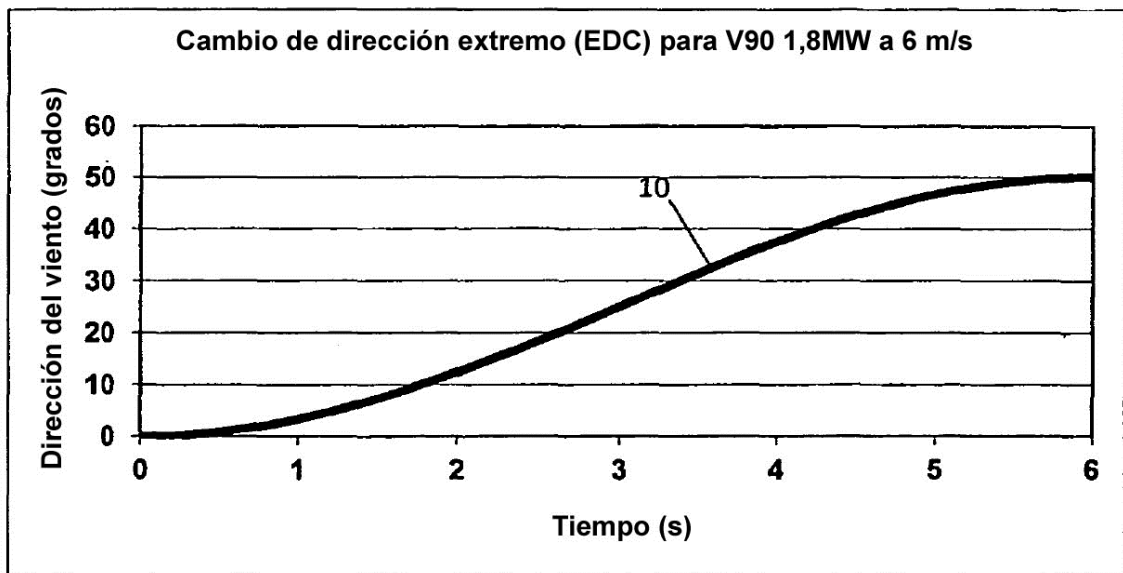


Figura 2

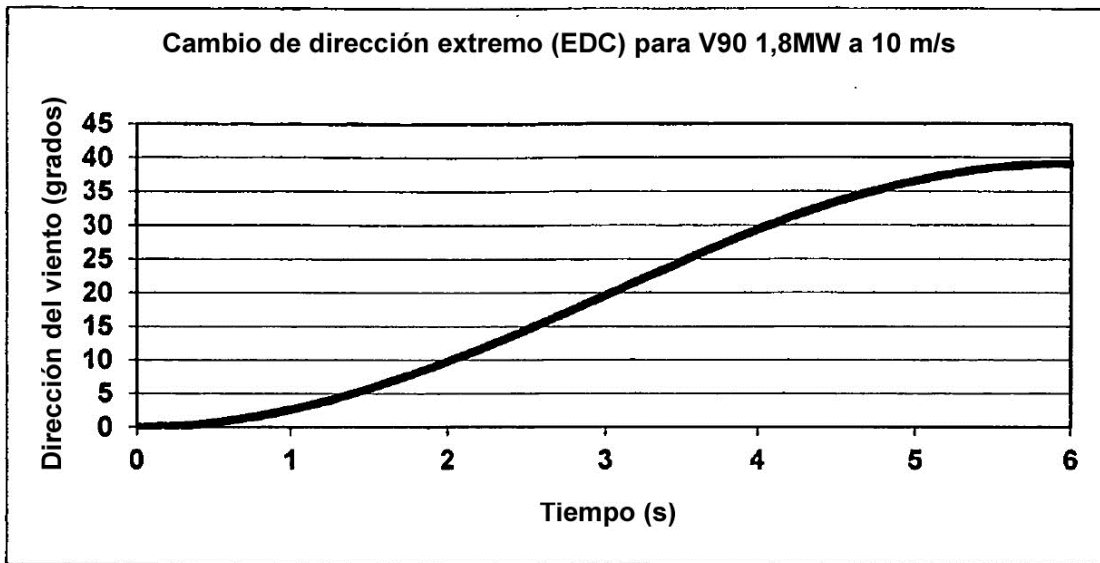


Figura 3

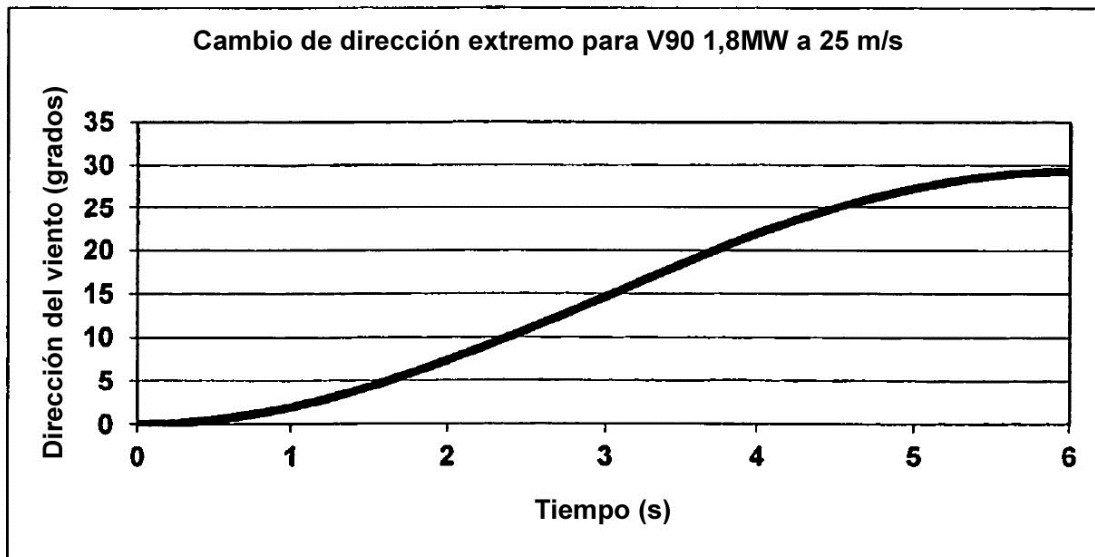


Figura 4

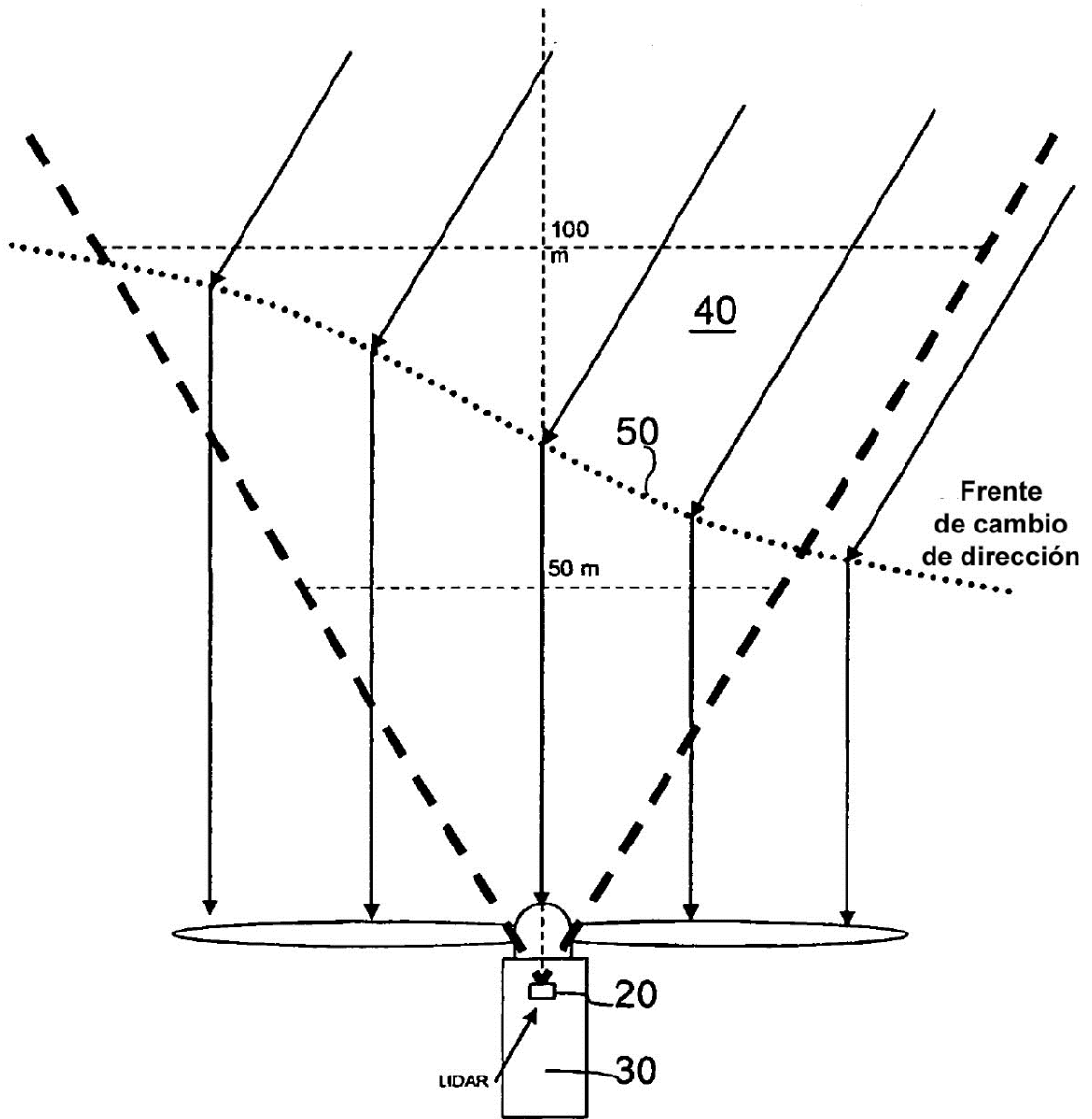


Figura 5

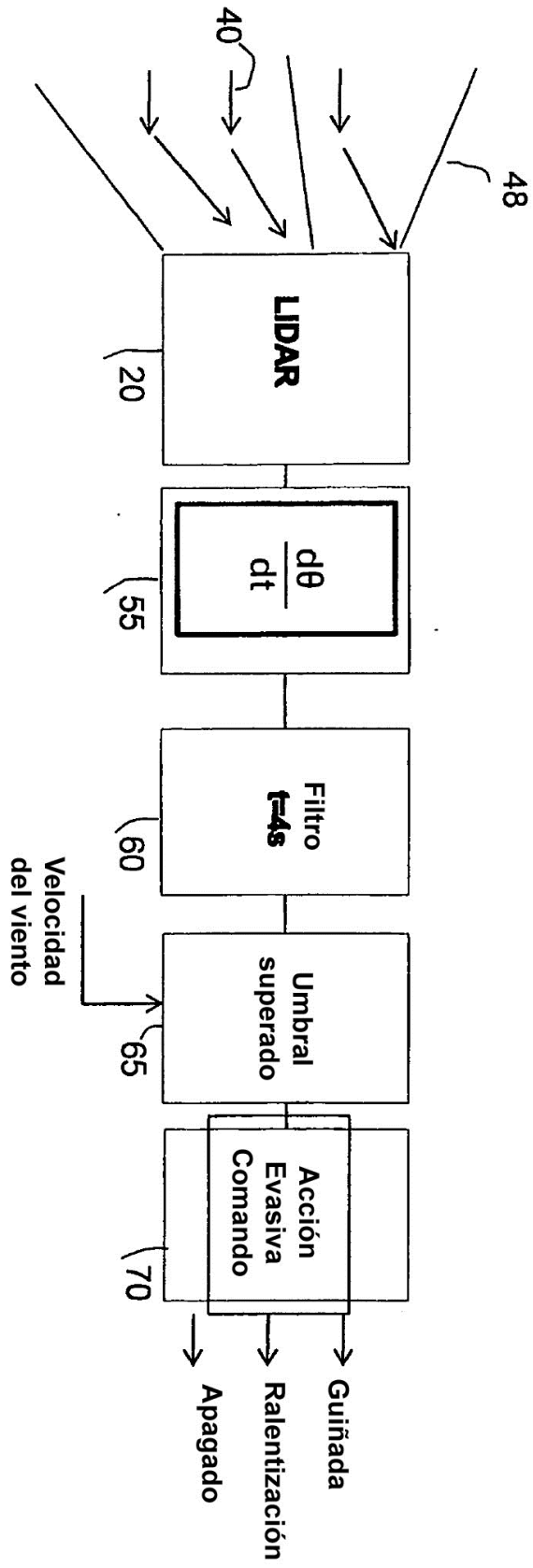


Figura 6

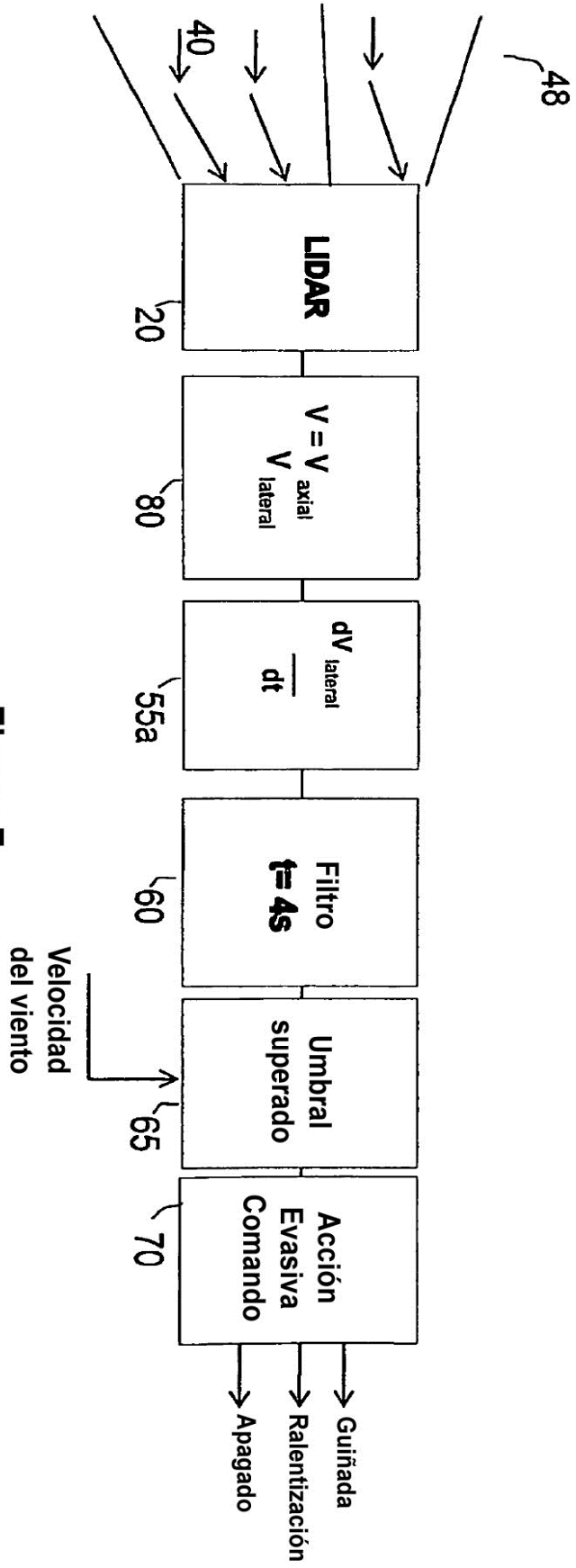


Figura 7