

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 689**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2017** **PCT/EP2017/080438**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.08.2018** **WO18153518**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2017** **E 17816509 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 3568589**

54 Título: **Método para la reducción de la carga sobre los cojinetes de paso de las palas de las turbinas eólicas**

30 Prioridad:

22.02.2017 DE 102017202886

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

10.10.2024

73 Titular/es:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)

Borupvej 16
7330 Brande, DK

72 Inventor/es:

EISENBERG, DREW;
ENEVOLDSEN, PEDER BAY;
GILLING, LASSE;
GONZALEZ, ALEJANDRO GOMEZ;
EHLERS, JULIAN y
HIND, MICHAEL

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 981 689 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para la reducción de la carga sobre los cojinetes de paso de las palas de las turbinas eólicas

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y a una disposición para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor de una turbina eólica y, además, se refiere a una turbina eólica que comprende la disposición.

10 **Antecedentes de la técnica**

Una turbina eólica comprende un rotor en el que se conectan varias palas del rotor y que accionan un generador para generar energía eléctrica. Las palas del rotor pueden ajustarse con respecto a su orientación en relación al viento, en donde las palas del rotor pueden girar alrededor de un eje longitudinal de las palas del rotor, lo que comúnmente se denomina regular el paso de la pala del rotor. Las turbinas eólicas modernas pueden diseñarse para la regulación del paso utilizando sistemas de paso neumáticos, hidráulicos o eléctricos. De este modo, convencionalmente, un sistema de paso puede consistir en un actuador que puede transformar una señal procedente del controlador en una señal de movimiento para el motor de paso/actuador de paso que, a su vez, hace girar la pala alrededor de su eje de paso (es decir, el eje longitudinal de la pala del rotor).

La pala y el sistema de paso se pueden acoplar a través de un cojinete de paso. Durante la operación, el cojinete de paso puede estar sujeto a altas cargas de flexión debido a la flexión de las palas con el viento. El mayor empuje de la pala puede producirse a las velocidades del viento de justo antes de alcanzar la potencia nominal y justo después de alcanzar la potencia nominal. En este momento de alta carga, también hay un movimiento de paso significativo para limitar esas cargas y también para regular la potencia.

La flexión de la pala del rotor puede provocar una deformación elástica interna en el cojinete de paso, lo que, a su vez, puede provocar una alta presión en la pared entre las bolas del propio cojinete y la pista (una muesca a lo largo de la cual pueden rodar las bolas o los cilindros del cojinete). Cuando se acciona el sistema de paso, estas altas presiones de contacto dentro del cojinete pueden provocar daños por fatiga. Con el tiempo, esto puede provocar daños en los componentes. Puede resultar particularmente peligrosa la combinación de una actividad de paso y cargas de flexión muy elevadas que, aunque raras veces (en términos de incidencia relativa), pueden provocar la denominada fatiga de bajo ciclo. La fatiga del cojinete de la pala puede ser el producto del momento de flexión de la pala llevado a una potencia exponencial y del movimiento de paso de la pala. La fatiga de los cojinetes de las palas puede depender de forma no lineal de la carga, específicamente, puede ser proporcional a la carga elevada a la potencia de 3 multiplicada por el movimiento de paso. El cojinete de paso de las palas puede ser un factor limitante en el diseño de turbinas eólicas más grandes.

Se han aplicado varios métodos para reducir la presión de contacto en la pista de rodadura o pista del cojinete de paso: Convencionalmente, se puede reducir la carga sobre la turbina. Esto se puede lograr mediante lo que a veces se denomina “reducción de picos”. La reducción de los picos puede ser un cambio que se introduzca en el comportamiento del controlador, de modo que las palas regulen el paso antes en dirección al viento, reduciendo de este modo la carga en todo el rotor. El inconveniente de esta metodología es que también puede afectar al rendimiento energético y, por lo tanto, reducir la producción de energía.

Otra metodología para reducir la carga del cojinete puede ser aumentar el tamaño del cojinete. El aumento del diámetro del cojinete puede reducir las tensiones locales inducidas en el material. Sin embargo, esta solución puede no ser muy práctica, una vez que ya se hayan diseñado el cubo y las palas. Un mayor cojinete de paso también puede resultar más caro, lo que aumenta el coste de la energía generada.

Otros métodos que se han utilizado convencionalmente pueden incluir, por ejemplo, el paso parcial, en donde el sistema de paso se mueve hacia fuera a lo largo de las palas mientras se mantiene una sección de paso fija hacia el interior, o el paso cíclico, que reduce las cargas extremas, pero aumenta la actividad de paso. Esta puede ser una interacción compleja. Además, más hacia fuera, el cojinete debería ser más pequeño y tener un límite de fatiga más bajo.

El documento US-2011/0305568 A1 describe un sistema de control de turbina eólica adecuado para minimizar el accionamiento de los actuadores de paso, en donde se utiliza una planificación de ganancia de errores en el control de plena carga para reducir el accionamiento de paso cuando la diferencia entre la velocidad del rotor y la velocidad del rotor de referencia no sea crítica para la carga de los componentes de la turbina eólica. El uso de la planificación de ganancia de errores puede reducir el desgaste de los actuadores de paso y puede mejorar la reducción de las oscilaciones estructurales, ya que el enfoque se elimina del seguimiento de la referencia de velocidad del rotor cuando el error de velocidad es bajo.

El documento DE 10 2010 035 055 A1 describe un método y una disposición para ajustar un ángulo de paso de una pala del rotor de una turbina eólica a un valor establecido. Un valor de accionamiento proporcionado por un controlador

se compensa utilizando un valor de compensación para compensar un momento de cojinete que influya en el ajuste del ángulo de paso.

5 El documento US-2016/0258416 A1 describe un método para controlar una turbina eólica durante una operación de seguridad, en donde las palas regulan el paso hacia una posición de mínima sustentación, en donde la velocidad de paso se cambia entre una primera velocidad de paso y una segunda velocidad de paso, según una función de la posición acimutal de cada pala.

10 Sin embargo, se ha observado que los métodos y disposiciones convencionales no son capaces, en todas las situaciones y en todas las circunstancias, de reducir de manera fiable y eficaz la carga de paso o los daños al cojinete de paso, mientras que, al mismo tiempo, otros componentes no se ven afectados negativamente o el rendimiento de la turbina eólica no se ve afectado negativamente.

15 Por lo tanto, puede ser necesario un método y una disposición para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor, en donde se reduzca la carga sobre el cojinete de paso y, al mismo tiempo, otros componentes no se vean afectados negativamente y el rendimiento de la turbina eólica no se vea afectado negativamente.

Resumen de la invención

20 Esta necesidad puede ser satisfecha por el objeto según las reivindicaciones independientes. Las realizaciones ventajosas de la presente invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

25 Según una realización de la presente invención, se proporciona, según la reivindicación 1, un método para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor conectada a un rotor de una turbina eólica, comprendiendo el método regular el paso de la pala del rotor hacia un ángulo de paso de la pala objetivo, con una rotación de paso que depende de la carga en un cojinete de paso, en donde la velocidad de rotación de paso se ajuste para que sea inferior en un rango de posiciones acimutales en las que la carga sobre el cojinete de paso se ajuste para que sea inferior en un rango de posiciones acimutales en las que la carga sobre el cojinete de paso debido a la aerodinámica y debido a la gravitación es mayor que para otras posiciones acimutales, en donde la velocidad de rotación de paso depende de la posición acimutal, si una cantidad indicadora de una carga de paso indica que la carga sobre el cojinete de paso supera un umbral.

35 La carga sobre el cojinete de paso puede medirse, o simularse, o estimarse, o calcularse teóricamente. La velocidad de rotación de paso depende en particular de la posición acimutal del rotor.

40 La carga sobre el cojinete de paso puede variar o correlacionarse con la posición acimutal del rotor. La carga sobre el cojinete de paso puede, además, variar o correlacionarse con factores (como la dirección del movimiento de la pala del rotor, las condiciones externas, etc.) distintos de la posición acimutal del rotor. Estas fuentes de entrada adicionales podrían incluir, pero no se limitan a, las mediciones de la velocidad del viento, la deformación y la torsión de la torre, la medición de la potencia, la deformación del actuador de paso, la vibración de la pala, el sensor de deflexión de la punta, las mediciones de Lidar (acrónimo del inglés "laser illuminated detection and ranging" [detección y alcance con iluminación láser]), las mediciones de cizallamiento, o cualquier otra medición que pueda correlacionarse con la carga sobre el cojinete de paso.

45 El método puede realizarse mediante un controlador y/o un sistema de ajuste de paso de una turbina eólica. El método se puede aplicar de forma independiente y por separado para cada una de las múltiples palas del rotor conectadas al rotor. Por lo tanto, a las diferentes palas del rotor se les puede regular el paso de manera independiente unas de otras y, en particular, de una manera diferente. De este modo, el ángulo de paso objetivo de todas las palas del rotor puede ser el mismo, pero la manera o la forma en que a las diferentes palas del rotor se les regula el paso hacia el ángulo de paso objetivo, puede ser diferente. La manera de decidir si regular el paso o cómo regular el paso (con qué velocidad de paso) de las palas del rotor, puede depender de la posición acimutal del rotor y, por lo tanto, también de la posición acimutal de la respectiva pala del rotor o de la orientación de la pala del rotor.

55 Para cada una de las múltiples palas del rotor, la posición acimutal del rotor puede definirse, por ejemplo, en relación con una posición vertical de la respectiva pala del rotor en la que la parte superior de la pala del rotor apunta hacia arriba. Dependiendo de la posición acimutal del rotor, el paso puede habilitarse, deshabilitarse o realizarse con una velocidad de rotación de paso particular, que puede variar para diferentes posiciones acimutales. En particular, cuando la pala del rotor se orienta en un rango acimutal que esté sometido a cargas relativamente altas, el paso puede deshabilitarse en esta región o la velocidad de paso puede reducirse en relación con otras posiciones acimutales. Otros factores pueden regir la manera en que se realiza el paso. Por ejemplo, los factores ambientales, como la velocidad del viento, las turbulencias del viento y/o una carga real medida o estimada sobre la pala del rotor y/o sobre el cojinete de paso, pueden tenerse en cuenta para afectar a la manera en que se realice el paso.

65 El ángulo de paso de la pala objetivo puede ser el ángulo de paso de la pala óptimo para la velocidad de rotación real del rotor, y óptimo para la velocidad y la dirección del viento actuales, con el fin de extraer la máxima energía eléctrica del viento. Durante una revolución completa de la pala del rotor, la manera en la que se regula el paso de la pala del

rotor puede depender de la posición acimutal. El daño en el cojinete de paso puede calcularse o estimarse, p. ej., a medida que el producto entre el recorrido de paso y el momento del cojinete se eleve a un exponente de potencia dado. En particular, cuando el momento del cojinete sea relativamente alto, se puede reducir el recorrido de paso, con el fin de reducir el daño en el cojinete de paso. El recorrido de paso puede reducirse, por ejemplo, deshabilitando el paso de la pala del rotor en un rango en donde el momento del cojinete sea relativamente alto o, en particular, superior a un umbral, o reduciendo la velocidad de rotación del paso en esta región.

En particular, el paso de la pala del rotor se puede realizar de manera que el daño en el cojinete de paso sea sustancialmente igual durante toda una revolución de la pala del rotor. Son posibles otros esquemas. De este modo, el daño en el cojinete de paso puede reducirse de manera efectiva, al tiempo que se garantiza un alto rendimiento de la turbina eólica y sin dañar otros componentes de la turbina eólica.

Según una realización de la presente invención, el paso de la pala del rotor comprende deshabilitar el paso de la pala del rotor en un rango de posiciones acimutales del rotor, en particular cuando una carga en el cojinete de paso de la pala del rotor se encuentre por encima del umbral, lo que permite regular el paso de la pala del rotor en otro rango de posiciones acimutales del rotor, en particular cuando la carga en el cojinete de paso de la pala del rotor se encuentre en o por debajo del umbral.

Cuando se deshabilita el paso en un rango de posiciones acimutales, el recorrido del paso es cero en esta región, por lo que, en este rango, el daño del paso también puede ser muy bajo o incluso nulo. Cuando se habilita el paso de la pala del rotor en otro rango de posición acimutal donde la carga sea relativamente baja y, en particular, por debajo del umbral, se puede garantizar que el daño en el cojinete de paso esté dentro de un rango aceptable. El paso de la pala del rotor puede deshabilitarse, en particular, en un rango de posición acimutal en el que la pala del rotor apunte hacia arriba (o realice un movimiento descendente) o esté en un rango de entre $\pm 60^\circ$ o $\pm 40^\circ$, desviándose de una orientación entre 30° y 50° en la dirección del movimiento descendente. Son posibles otros rangos. En este rango, cabe esperar que el momento de flexión de la pala del rotor o el momento de flexión del cojinete sean los más altos, ya que en este rango la pala del rotor está dispuesta a la máxima altitud, donde se espera la mayor velocidad del viento y/o donde la mayor gravitación o brazo de palanca actúa sobre la pala y/o el cojinete de paso.

El mayor daño al cojinete de paso puede producirse en el movimiento descendente. Aquí es cuando la gravedad, las fuerzas de torsión y las fuerzas de empuje pueden causar el mayor daño en el punto más débil del cojinete. Con un cizallamiento promedio, puede tener un ángulo acimutal de aproximadamente 80° a 100° . El paso puede limitarse a realizarse más allá de la posición de movimiento descendente y antes de la posición vertical.

Según una realización de la presente invención, regular el paso de la pala del rotor comprende regular el paso de la pala del rotor con una velocidad de rotación de paso que depende de la posición acimutal del rotor, en donde, en particular, la velocidad de rotación del paso se ajusta para que sea menor para una posición acimutal en la que el eje longitudinal de la pala del rotor se oriente verticalmente, mientras que la punta de la pala del rotor apunta hacia arriba, que para otras posiciones acimutales.

La velocidad de rotación del paso puede ser la velocidad de rotación con la que la pala del rotor gire alrededor de su eje longitudinal. Cuando la velocidad de rotación del paso sea baja, el recorrido del paso (en un intervalo de tiempo particular) es bajo, cuando la velocidad de rotación del paso sea alta, el recorrido del paso (en este intervalo de tiempo particular) es alto. Por lo tanto, por ejemplo, al reducir la velocidad de rotación del paso en un rango particular de posiciones acimutales, se reduce el recorrido del paso en esta región. En particular, la velocidad de rotación del paso puede ser menor en un rango de ángulos acimutales en el que la pala del rotor esté entre $\pm 60^\circ$ o $\pm 40^\circ$, desviándose de una orientación entre 30° y 50° en la dirección del movimiento descendente, que en otras posiciones acimutales o en otro rango de ángulos acimutales. En particular, la velocidad de rotación del paso puede ser inversamente proporcional a un exponente del momento del cojinete (medido o estimado) según realizaciones particulares.

Según una realización de la presente invención, la velocidad de rotación del paso depende de la posición acimutal según una curva predefinida y/o la velocidad de rotación del paso es inversamente proporcional a una carga sobre el cojinete de paso de la pala o sobre la pala del rotor.

La curva predefinida puede haberse establecido realizando simulaciones o cálculos, por ejemplo, con el fin de mantener el daño en el cojinete de paso o la carga del cojinete de paso por debajo de un umbral durante toda una revolución de la pala del rotor. La curva predefinida puede ser diferente de una constante. La curva predefinida puede comprender al menos un mínimo y al menos un máximo que sean diferentes entre sí.

El deshabilitar el paso en un rango particular, la habilitación del paso en otro rango de posición acimutal, y el paso de la pala del rotor con una velocidad de rotación del paso que depende de la posición acimutal en el rotor, pueden combinarse.

Según una realización de la presente invención, la velocidad de rotación del paso es diferente para los casos en donde el ángulo de paso objetivo se ajuste desde un ángulo de paso inicial hasta el ángulo de paso objetivo en una dirección hacia y lejos de la entrada en pérdida. La simulación o el modelado físico pueden permitir definir si la velocidad de

rotación es mayor o menor cuando el ángulo de paso inicial se ajusta en una dirección que se acerca o se aleja de la entrada en pérdida. La definición de la velocidad de rotación del paso puede depender de otros factores, tales como la velocidad del viento, las turbulencias del viento, la velocidad de rotación del rotor, y similares.

5 Según una realización de la presente invención, la regulación del paso de la pala del rotor comprende regular el paso de la pala del rotor en función del momento en la raíz de pala medido y/o de la carga sobre el cojinete de paso o la cantidad indicadora del daño esperado en el cojinete de paso.

10 La carga sobre el cojinete de paso puede estimarse a partir de parámetros operativos de la turbina eólica o del entorno, tales como la velocidad del viento, la geometría y el material de la pala del rotor y/o el ángulo de paso real, etc., o puede medirse utilizando uno o más sensores, tales como sensores de deformación. El momento en la raíz de la pala medido y/o la carga sobre el cojinete de paso puede resultar que dependan también de la posición acimutal del rotor. De este modo, se puede lograr una reducción efectiva de la carga del cojinete. Según una realización de la presente invención, regular el paso de la pala del rotor comprende regular aún más el paso de la pala del rotor en función de la
15 la carga sobre el cojinete de paso acumulada a lo largo del tiempo. Cuando la carga sobre el cojinete de paso acumulada a lo largo del tiempo sea relativamente baja, el cojinete de paso puede sufrir y soportar cargas futuras relativamente altas. Cuando la carga sobre el cojinete de paso acumulada a lo largo del tiempo sea relativamente alta, las futuras cargas sobre el cojinete pueden reducirse, por ejemplo, deshabilitando el paso en un rango de posición acimutal particular, o al menos reduciendo la velocidad de rotación del paso en este rango o estos rangos.

20 Según una realización que no forma parte de la presente invención, la posición acimutal se define en grados con respecto al eje longitudinal orientado verticalmente de la pala del rotor, mientras que la punta de la pala del rotor apunta hacia arriba, en donde la velocidad de rotación del paso tiene un primer valor promedio en un rango de posición acimutal de entre 80° y 350°, en particular de entre 110° y 330°, en donde la velocidad de rotación del paso tiene un
25 segundo valor promedio en un rango de posición acimutal de entre 300° y 140°, en particular de entre 330° y 110°, en donde el primer valor promedio es entre dos y 100 veces mayor que el segundo valor promedio. No se puede realizar ningún paso entre 0° y 90°.

30 La posición acimutal puede definirse individualmente para cada pala del rotor de múltiples palas del rotor conectadas al rotor. La curva según la cual se puede establecer la velocidad de rotación del paso puede ser simétrica o no simétrica con respecto a la posición a 0° o a 180°. Se pueden realizar simulaciones y modelización física o datos excrementales para definir la curva que define la velocidad de rotación del paso en función de la posición acimutal de la pala del rotor, tal como, p. ej., para llegar a un curso deseado de carga sobre el cojinete a lo largo de toda una revolución de la pala del rotor.

35 Según una realización de la presente invención, la velocidad de rotación del paso depende de la posición acimutal, si la cantidad que indica la carga sobre el cojinete de paso indica que la carga sobre el cojinete de paso, en promedio o cuando se orienta verticalmente, supera un umbral. Si resulta que la carga sobre el cojinete de paso, incluso cuando la pala del rotor se oriente verticalmente y apuntando hacia arriba, es relativamente baja, tal como por debajo de un
40 umbral, puede que no sea necesario deshabilitar el paso de la pala del rotor, o puede que no sea necesario reducir la velocidad de rotación del paso en un rango de posición acimutal particular. De este modo, a la pala del rotor se le puede regular el paso más rápido hacia el ángulo de paso de la pala objetivo.

45 Según una realización de la presente invención, la cantidad que indica la carga sobre el cojinete de paso se estima y/o mide y/o calcula a partir de al menos un parámetro operativo de la turbina eólica o del entorno. La carga sobre el cojinete de paso puede estimarse o calcularse, por ejemplo, a partir de la velocidad del viento, la geometría y el material de la pala del rotor, el ángulo de paso real de la pala y/o las características del cojinete de paso, tales como la geometría, el material, el diseño, etc. De este modo, el paso de la pala del rotor también se puede realizar directamente en función de la carga sobre el cojinete de paso (tal como se estime, calcule o mida).

50 La velocidad de rotación del paso puede depender de la carga promedio sobre el cojinete de paso de cada pala, en donde, en particular, la velocidad de cambio del paso es una función de la carga sobre el cojinete de cada pala en comparación con la carga sobre el cojinete promedio de todas las palas. Las cargas $M_{PitBearFluctA}$, $M_{PitBearFluctB}$, $M_{PitBearFluctC}$ sobre el cojinete de paso de las palas A, B y C, respectivamente (en función de qué paso pueda realizarse),
55 pueden determinarse, p. ej., basándose en las siguientes ecuaciones (1) a (4), en donde $M_{PitBearMean}$ es la carga promedio sobre todas las palas.

$$M_{PitBearMean} = (M_{PitBearA} + M_{PitBearB} + M_{PitBearC}) / 3 \text{ [kNm]} \quad (1)$$

$$60 \quad M_{PitBearFluctA} = M_{PitBearA} - M_{PitBearMean} \text{ [kNm]} \quad (2)$$

$$M_{PitBearFluctB} = M_{PitBearB} - M_{PitBearMean} \text{ [kNm]} \quad (3)$$

$$65 \quad M_{PitBearFluctC} = M_{PitBearC} - M_{PitBearMean} \text{ [kNm]} \quad (4)$$

Por lo tanto, las cargas sobre el cojinete de paso individuales (como se utilizan en las realizaciones de la presente invención) de las palas, pueden calcularse como una diferencia entre la carga promedio sobre el cojinete de paso y la carga $M_{PitBearB}$, $M_{PitBearB}$, $M_{PitBearB}$ sobre el cojinete de paso medida o estimada de la pala individual.

- 5 Según una realización de la presente invención, la velocidad de rotación del paso depende de la carga sobre el cojinete de paso y/o de la posición acimutal, si: el nivel de carga sobre el cojinete de paso supera un umbral, y/o el nivel de turbulencias del viento es superior a un umbral, y/o una desviación de la velocidad de rotación del tren motriz con respecto a una referencia supera el umbral y/o la velocidad del viento es superior a un umbral.
- 10 En esas situaciones o en esas condiciones, la carga sobre el cojinete de paso puede correr el riesgo de estar por encima de un umbral en uno o más rangos de ángulos acimutales. En estos rangos de ángulos acimutales, la velocidad de rotación del paso puede entonces reducirse para satisfacer un criterio, tal como que el daño sobre el cojinete de paso o la carga sobre el cojinete de paso estén por debajo de un umbral.
- 15 El paso de la pala del rotor puede comprender la rotación de la pala del rotor alrededor de un eje longitudinal de la pala del rotor. Según una realización de la presente invención, se proporciona, según la reivindicación 13, un método para ajustar los ángulos de paso de una primera pala del rotor y una segunda pala del rotor, ambas conectadas a un rotor de una turbina eólica.
- 20 El paso de cada una de la primera pala del rotor y la segunda pala del rotor, se realiza de forma independiente una de la otra según una de las realizaciones de un método para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor, tal como se describió anteriormente.
- 25 Debe entenderse que las características, de manera individual o en cualquier combinación, divulgadas, descritas o proporcionadas para un método para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor, también pueden aplicarse, de manera individual o en cualquier combinación, a un método para ajustar los ángulos de paso de una primera pala del rotor y una segunda pala del rotor, ambas conectadas a un rotor de una turbina eólica, y también pueden aplicarse a una disposición para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor conectada a un rotor de una turbina eólica, según una realización de la presente invención, y viceversa.
- 30 Según una realización de la presente invención, se proporciona, según la reivindicación 14, una disposición para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor conectada a un rotor de una turbina eólica, comprendiendo la disposición: un sistema de paso adaptado para regular el paso de la pala del rotor hacia un ángulo de paso de la pala objetivo con una velocidad de rotación del paso que depende de la carga en un cojinete de paso, en donde la velocidad de rotación del paso se ajusta para que sea más baja en un rango de posiciones acimutales en las que la carga sobre el cojinete de paso debida a la aerodinámica y debida a la gravitación es superior que para otras posiciones acimutales, en donde la velocidad de rotación del paso depende de la posición acimutal, si una cantidad indicadora de la carga sobre el cojinete de paso indica que la carga sobre el cojinete de paso supera un umbral.
- 35 El sistema de paso puede comprender un actuador habilitado para girar la pala del rotor alrededor de su eje longitudinal. El sistema de paso puede recibir (el ángulo de paso objetivo y) la posición acimutal del rotor o la posición acimutal de la pala del rotor conectada al rotor, y puede regular el paso de la pala del rotor en función de la posición acimutal del rotor o la posición acimutal de la pala del rotor o la orientación de la pala del rotor hacia el ángulo de paso objetivo.
- 40 Además, se proporciona una turbina eólica que comprende un rotor, al menos una pala del rotor conectada al rotor, y una disposición para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor según una realización como la descrita anteriormente.
- 45 Hay que señalar que las realizaciones de la invención se han descrito con referencia a diferentes materias objeto. En particular, algunas realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de método mientras que otras realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de aparato. Sin embargo, un experto en la técnica deducirá a partir de lo anterior y de la siguiente descripción, que, a menos que se indique lo contrario, además de cualquier combinación de características que pertenezcan a un tipo de materia objeto, también se considera descrita con esta solicitud cualquier combinación entre características relativas a diferentes materias objeto, en concreto, entre características de las reivindicaciones de tipo aparato y características de las reivindicaciones de tipo método.
- 50 Los aspectos definidos anteriormente y otros aspectos de la presente invención se infieren de los ejemplos de realización que se describirán a continuación y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá con más detalle a continuación en la memoria haciendo referencia a ejemplos de realización, no estando la invención limitada a los mismos.
- 55
- 60
- 65

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la presente invención se describen ahora con referencia a los dibujos adjuntos. La invención no está limitada a las realizaciones ilustradas o descritas.

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una turbina eólica según una realización de la presente invención;

la Figura 2 ilustra un gráfico que muestra la velocidad del viento experimentada por varias palas del rotor.

La Figura 3 ilustra un gráfico del momento de flexión de la raíz de la pala en función del ángulo acimutal;

la Figura 4 ilustra una gráfica del daño acumulado en el cojinete de paso en función del ángulo acimutal y del momento de flexión;

la Figura 5 ilustra un gráfico que muestra el daño acumulado a alta carga en función de la posición acimutal del rotor;

la Figura 6 ilustra un ejemplo de un factor de escalado de la velocidad de paso en función de la posición acimutal;

la Figura 7 ilustra un gráfico que muestra el daño en el paso acumulado en función del momento de flexión para diferentes turbulencias de viento; y

la Figura 8 ilustra gráficos del momento del cojinete y la posición de paso en función del tiempo.

Descripción detallada

La ilustración en los dibujos está en forma esquemática.

La turbina eólica 1 ilustrada en la **Figura 1** comprende un rotor 3 al que se conectan múltiples palas 5 del rotor. El rotor 3 acciona un generador 14 que genera, al girar el rotor 3, energía eléctrica (por ejemplo, potencia trifásica) que puede suministrarse a un convertidor CA-CC (opcional) desde allí a un enlace de CC (opcional), y desde allí a un convertidor CC-CA (opcional) que convierte el flujo de energía en un flujo de potencia de frecuencia fija que se suministra a un transformador 13 que transforma el flujo de potencia en una tensión más alta, y que está conectado a un punto de acoplamiento común 15 al que se conectan turbinas eólicas adicionales. El punto de acoplamiento común es, opcionalmente, a través de un transformador 17 de parque eólico conectado a una red eléctrica 19.

La turbina eólica 1 comprende, además, una disposición 21 para ajustar un ángulo α de paso de la pala 5 del rotor según una realización de la presente invención. La disposición 21 comprende un sistema de paso adaptado para regular el paso de la pala del rotor hacia un ángulo de paso de la pala objetivo en función de la posición acimutal β del rotor 3. En este caso, la posición acimutal β del rotor 3 se define con respecto a una rotación alrededor del eje 4 de rotación del rotor, tal como lo indica la flecha 6. Por lo tanto, el sistema 21 de paso regula el paso de la pala del rotor, es decir, hace girar la pala 5 del rotor alrededor de su eje longitudinal 8 a lo largo de la dirección de paso, como se indica por la flecha 10, cuyo paso depende de la orientación o posición acimutal β de la rotación del rotor 3 alrededor del eje 4.

Los inventores observaron que la combinación de actividad de paso y cargas de flexión muy elevadas puede provocar daños en el cojinete de paso y, en particular, puede provocar la denominada fatiga de bajo ciclo. Las realizaciones de la presente invención reducen la carga sobre el cojinete 12 de paso que soporta la pala 5 del rotor de manera rotacional, lo que permite regular el paso de la pala 5 del rotor alrededor del eje longitudinal 8 de la pala 5 del rotor. Algunas realizaciones de la presente invención utilizan el hecho de que el daño en el cojinete 12 de paso no se acumula de manera uniforme a lo largo del acimut (es decir, a lo largo de una revolución del rotor 3), sino que se acumula más daño cuando las palas 5 apuntan hacia arriba y/o en un rango de posición acimutal en donde la pala está en movimiento descendente. Las palas 5 del rotor tienen una raíz 16 a la que las palas 5 del rotor están conectadas o montadas en el rotor 3, en particular montadas en un cubo del rotor 3. El cojinete puede estar ubicado cerca de la raíz 14.

Una explicación sencilla de esta observación es la distribución de las cargas de las palas en función del acimut. Normalmente, la velocidad del viento en la parte superior del rotor se espera que sea, y de hecho es, mayor que en la parte inferior. La **Figura 2** ilustra un ejemplo de mediciones de la velocidad del viento, en donde el eje 23 indica una posición horizontal y el eje 25 indica una posición vertical, mientras que la velocidad del viento medida se representa como un mapa de calor. Se muestran tres palas 5a, 5b, 5c del rotor que están en diferentes orientaciones y en las que dos (5a, 5c) de ellas experimentan una mayor velocidad del viento y, por lo tanto, cargas más altas que la tercera pala 5b del rotor. El mapa de calor muestra la tendencia de una mayor velocidad del viento hacia la parte superior. Esto, a su vez, provoca una mayor carga en la interfaz pala-cubo, como se muestra en la siguiente **Figura 3**, en la que la abscisa 27 indica el ángulo acimutal (es decir, un ángulo β a lo largo de la flecha 6, que define una posición acimutal del rotor 3) y en donde la ordenada 29 indica el momento de flexión de la raíz de la pala. La curva 31 del momento de flexión de la raíz de la pala indica que la carga es la más alta cuando el acimut es de alrededor de 0° (o 360°), lo que corresponde a la posición de la pala apuntando hacia arriba.

Al combinar el rango completo de operación que abarca las velocidades del viento desde la velocidad de arranque hasta la de parada, teniendo en cuenta los diferentes niveles de carga y calculando el daño acumulado, se obtiene una gráfica de superficie como se ilustra en la **Figura 4**. En este caso, el eje 33 indica el momento de flexión, el eje 35 indica la posición acimutal, y el eje vertical 37 indica el daño acumulado en el cojinete de paso. La gráfica 39 de superficie muestra el daño distribuido en intervalos de momento de flexión e intervalos de acimut. El daño se acumula en forma de cargas de duración, donde el daño solo se produce cuando el sistema de paso está activo.

Si se realiza un corte a niveles altos de carga a lo largo de la superficie de la Figura 4, entonces se obtiene una distribución del daño acumulado, como la que se muestra en la Figura 5, en donde la abscisa 41 indica la posición acimutal del rotor, mientras que la ordenada 43 indica el daño acumulado a alta carga. La curva 45 que ilustra el daño acumulado a alta carga muestra que la mayor parte del daño se acumula cuando las palas están entre la parte superior (verticalmente alta) del plano de rotación, y continúan hasta pasado el movimiento descendente. El daño se muestra principalmente entre 0° y 130°.

Según una realización de la presente invención, el daño de paso acumulado se reduce al reducir la actividad de paso cuando las palas están en la sección superior del plano del rotor. La reducción de la actividad de paso se puede realizar de varias maneras, como se explica a continuación.

En una realización de la presente invención, la velocidad de paso de cada pala se escala de manera independiente según la posición acimutal local, según una función prescrita similar a la que se muestra en la **Figura 6**, en donde la abscisa 41 indica la posición acimutal, mientras que la ordenada 44 indica el factor multiplicativo de la velocidad de paso, es decir, un factor de escala según el cual se adapta la velocidad de rotación del paso. La forma de la función 47 prescrita que muestra el factor multiplicativo de la velocidad de paso, puede ser diferente para el movimiento de paso hacia y desde la posición de entrada en pérdida, por lo tanto, cuando el borde superior de la pala se aleja de la torre de modo que la pala esté en el viento, o de manera que el borde superior de la pala del rotor encare el viento.

Según otra realización, las cargas sobre el cojinete de paso pueden o estimarse a partir de señales convenientes o medirse mediante un sensor, tal como un sensor de galga extensométrica o un sensor de fibra óptica, situado en la raíz 14 de la pala 5 (véase la Figura 1). El sensor también puede montarse en una sección exterior de la pala. Cuando el nivel de carga supere un umbral determinado, puede comenzar el escalado de la velocidad de paso. Por lo tanto, la definición de la velocidad de paso puede ser según la curva 47 ilustrada en la Figura 6, dependiendo del momento de flexión real o de la carga del cojinete.

La **Figura 7** ilustra las curvas 32, 34, 36 del daño acumulado en el paso a intensidades de turbulencias del viento de 0,08, 0,1, 0,12, respectivamente, en función del momento de flexión indicado en la abscisa 30, mientras que la ordenada 28 indica el daño acumulado en el paso. Como puede observarse en las curvas 32, 34, 36 de la Figura 7, el daño acumulado en el paso aumenta con el aumento de las intensidades de las turbulencias del viento. Las realizaciones de la presente invención ayudan a reducir los daños en el cojinete de paso.

En otra realización más de la presente invención, las características de la distribución temporal y/o espacial del flujo turbulento entrante pueden estimarse utilizando señales convenientes, y la velocidad de paso puede adaptarse en consecuencia (es decir, menos accionamiento de paso en la parte superior del rotor a niveles de alta intensidad de turbulencias que al nivel bajo, más accionamiento de paso o mayor velocidad de paso en cualquier área del rotor en la que la velocidad del viento axial sea menor o la menor).

En otra realización más de la presente invención, el factor de escalado de la velocidad de paso puede ajustarse en respuesta a una señal derivada de la diferencia entre la velocidad de rotación del tren motriz y una referencia, de modo que todo el paso de las palas, independientemente del acimut, en los casos en donde la velocidad del tren motriz se desvíe considerablemente de la velocidad de referencia.

En otra realización más de la presente invención, el factor de escalado de la velocidad de paso puede ajustarse en respuesta a una medición o estimación de la velocidad del viento, un conjunto de mediciones de la velocidad del viento, o una medición o estimación de la cizalladura del viento aguas arriba de la turbina eólica.

Las diferentes características de diferentes realizaciones pueden combinarse con las de otras realizaciones de la presente invención que se describen a continuación.

La velocidad de paso puede depender de la posición acimutal del rotor o pala del rotor, y también puede potencialmente depender del nivel de intensidad de las turbulencias del viento.

Según las realizaciones de la presente invención, se aprovecha el hecho de que el daño en el cojinete de paso no se acumula de manera uniforme en todos los ángulos acimutales (es decir, a lo largo de una rotación del rotor).

Las realizaciones de la presente invención también proponen regular el paso de diferentes palas de forma independiente entre sí para reducir los daños en el cojinete de paso. Cuando una pala en particular se somete a una carga significativamente mayor que las otras palas, tales como dos palas, es posible que a la pala con mayor carga

no se le regule el paso. Dado que las cargas sobre las palas son generalmente cíclicas alrededor del acimut, esto normalmente significa que a la pala puede que no se le regule el paso durante aproximadamente el 33 % de cada rotación o revolución (o durante aproximadamente 1 a 2 s cada revolución). El ángulo de paso de la pala que no tenga el paso regulado (cuyo ángulo de paso se ha mantenido para reducir la carga sobre el cojinete de paso), puede entonces alcanzar a las otras palas una vez que la carga sea menor.

Las realizaciones de la presente invención pueden implementarse como controladores que sirven para reducir la carga sobre el cojinete de paso.

Según una realización de la presente invención, la tasa de paso (es decir, la velocidad de paso) se reduce para las palas con mayores cargas en relación con las otras palas, como se ilustra en la **Figura 8**. En la Figura 8, las abscisas 49 de los gráficos 48 y 50 indican el tiempo, mientras que la ordenada 51 indica el momento del cojinete, y la ordenada 53 indica la posición del paso. En el gráfico 48 de la Figura 8, la curva 52 indica el momento del cojinete de una primera pala, la curva 54 indica el momento del cojinete de una segunda pala, y la curva 56 indica el momento del cojinete de una tercera pala. Como se puede observar, los momentos de los cojinetes varían con el tiempo, ya que las palas giran alrededor del eje del rotor. Por lo tanto, los momentos de los cojinetes dependen de la posición acimutal. La tasa de paso o la velocidad de paso de las palas del rotor que están en posiciones acimutales que muestran un momento del cojinete elevado, puede reducirse en relación con las palas del rotor que están sometidas a momentos de cojinete más bajos, es decir, que se encuentran en otras posiciones acimutales.

Según otra realización de la presente invención, las tasas de paso o velocidades de paso individuales de las palas se pueden establecer de manera inversamente proporcional a la carga en cada pala, en donde la carga se toma, por ejemplo, a partir de los momentos del cojinete medidos, tal como se ilustra en el gráfico 48 de la Figura 8.

Cuando el momento del cojinete es relativamente alto, la tasa del paso o la velocidad del paso en la pala del rotor respectiva puede limitarse o puede reducirse en relación con otras palas del rotor. El gráfico 50 de la Figura 8 ilustra las curvas 58, 60, 62 de la posición del paso de las palas del rotor primera, segunda y tercera, respectivamente, en función del tiempo. Del intervalo de tiempo entre 14 y 20 s de la simulación se desprende claramente que cuando el momento del cojinete es alto, la velocidad de paso de esa pala es limitada. La pendiente de la línea en el gráfico 50 es la velocidad del paso. Cuando no hay pendiente (la pendiente es cero), a las palas no se les regula el paso. No se les regula el paso cuando la carga en el gráfico 48 es alta.

Según otra realización más de la presente invención, el movimiento del paso puede deshabilitarse en función del ángulo acimutal. Por ejemplo, una pala del rotor que esté sometida a un alto cizallamiento puede que se le deshabilite la regulación del paso cuando, por ejemplo, apunte hacia arriba.

Según otra realización más de la presente invención, se puede utilizar una detección de viento mediante sensor, para cambiar las tasas del paso o las velocidades del paso en función del ángulo acimutal.

Además, según otra realización más de la presente invención, el daño en el paso se acumula a lo largo de la vida útil, y se ajusta en consecuencia utilizando uno de los métodos anteriormente mencionados.

Según una realización de la presente invención, las palas de las turbinas eólicas se controlan de forma independiente para reducir los daños en el cojinete de paso. Las realizaciones de la presente invención se dirigen a una pala a la vez y puede que sean capaces de reducir el daño en el cojinete de paso con menos pérdida de potencia o ganancia de carga. Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que el daño en el cojinete puede reducirse significativamente sin reducir la producción de energía.

Las realizaciones de la presente invención pueden utilizar sensores del momento en la raíz de las palas que pueden proporcionar una señal de control para regular el paso de las palas de forma individual para reducir el daño en el cojinete de paso.

Las ventajas de la presente invención pueden proporcionar una mayor producción de energía a partir de turbinas que, convencionalmente, tengan un pico muy reducido, a fin de reducir el daño en el cojinete de paso. También puede reducir los costos de garantía debido a fallas en los cojinetes de paso. Además, los costes de los cojinetes de paso pueden reducirse cuando se aplican las realizaciones de la presente invención.

Cabe señalar que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y los artículos “un” o “una” no excluyen una pluralidad. También pueden combinarse elementos descritos asociados a distintas realizaciones. También hay que señalar que los signos de referencia de las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Método para ajustar un ángulo (α) de paso de una pala (5) del rotor conectada a un rotor (3) de una turbina eólica (1), comprendiendo el método:
5
regular el paso de la pala (5) del rotor hacia un ángulo de paso de la pala objetivo con una velocidad (47) de rotación del paso que depende de la carga sobre un cojinete de paso, en donde la velocidad (47) de rotación del paso se ajusta para que sea inferior en un rango de posiciones acimutales en las que la carga sobre el cojinete de paso debida a la aerodinámica y a la gravitación, es mayor que en otras posiciones acimutales, en donde la velocidad (47) de rotación del paso depende de la posición acimutal (β , 41), si una cantidad indicadora de la carga sobre el cojinete de paso indica que la carga sobre el cojinete de paso supera un umbral.
10
2. Método según la reivindicación 1, en donde el paso de la pala del rotor comprende:
15
disminuir la velocidad del paso de la pala (5) del rotor en un rango de posiciones acimutales (β , 41) del rotor (3), en particular cuando la carga sobre el cojinete (12) de paso de la pala del rotor o el momento (51) de flexión de la pala (5) del rotor, esté por encima del umbral;
20
aumentar la velocidad del paso de la pala (5) del rotor en otro rango de posiciones acimutales del rotor (3), en particular cuando la carga sobre el cojinete (12) de paso de la pala del rotor o un momento (51) de flexión de la pala (5) del rotor, esté en o por debajo del umbral.
3. Método según las reivindicaciones 1 o 2, en donde el paso de la pala del rotor comprende:
25
regular el paso de la pala (5) del rotor con la velocidad (47) de rotación del paso que depende además, de la posición acimutal (β , 41) del rotor (3).
4. Método según una de las reivindicaciones anteriores,
30
en donde la velocidad de rotación del paso es menor cuanto mayor sea la carga sobre el cojinete de paso.
5. Método según la reivindicación 3 o 4, en donde la velocidad (47) de rotación del paso
35
tiene un primer valor, cuando el ángulo de paso objetivo se ajusta desde un ángulo de paso inicial al ángulo de paso objetivo, en una dirección hacia la entrada en pérdida,
tiene un segundo valor, cuando el ángulo de paso objetivo se ajusta desde el ángulo de paso inicial al ángulo de paso objetivo en una dirección alejada de la entrada en pérdida,
en donde el primer valor es diferente del segundo valor.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de la pala del rotor comprende:
40
regular el paso de la pala del rotor en función del momento (51) en la raíz de la pala medido y/o de la cantidad que indica la carga sobre el cojinete de paso.
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso de la pala del rotor comprende:
45
regular aún más el paso de la pala del rotor en función de la carga (37, 43) sobre el cojinete de paso acumulada a lo largo del tiempo.
8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la posición acimutal (β , 41) se define en grados con respecto al eje longitudinal (8) orientado verticalmente de la pala (5) del rotor, mientras que la punta (14) de la pala (5) del rotor apunta hacia arriba.
50
9. Método según una de las reivindicaciones anteriores,
en donde la cantidad indicadora de la carga sobre el cojinete de paso se estima y/o mide y/o calcula a partir de al menos un parámetro operativo de la turbina eólica (1) o del entorno.
10. Método según la reivindicación anterior, en donde la velocidad de rotación del paso es menor para las posiciones acimutales en donde la pala del rotor realice un movimiento descendente, que para las posiciones acimutales en donde la pala del rotor realice un movimiento ascendente.
55
11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la velocidad de rotación del paso depende de la carga sobre el cojinete de paso, si:
60
el nivel de carga del cojinete (12) de paso supera un umbral, y/o
un nivel de turbulencias del viento es mayor que el umbral, y/o
una desviación de la velocidad de rotación del tren motriz con respecto a una referencia supera un umbral y/o
65
la velocidad del viento es mayor que un umbral.

12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la velocidad de rotación del paso depende de la carga promedio sobre el cojinete de paso de cada pala,
- 5 en donde, en particular, la tasa de cambio de paso es una función de la carga sobre el cojinete de cada pala en comparación con la carga promedio sobre el cojinete en todas las palas; y/o en donde la manera de regular el paso, en particular la velocidad de rotación del paso, depende de la deformación torsional en la pala del rotor y/o sobre el cojinete de paso.
- 10 13. Método para ajustar los ángulos de paso de una primera pala del rotor y una segunda pala del rotor, conectadas ambas a un rotor de una turbina eólica, comprendiendo el método:
- realizar un método para ajustar un ángulo (α) de paso de la primera pala (5) del rotor según una de las reivindicaciones anteriores;
- 15 realizar un método para ajustar un ángulo (α) de paso de la segunda pala (5) del rotor según una de las reivindicaciones anteriores;
- de tal manera que a la primera pala (5a) del rotor se le regule el paso hacia el ángulo de paso de la pala objetivo de una manera diferente a como a la segunda pala (5b) del rotor se le regula el paso hacia el ángulo de paso de la pala objetivo.
- 20 14. Disposición para ajustar el ángulo de paso de una pala del rotor conectada a un rotor de una turbina eólica, comprendiendo la disposición:
- un sistema (21) de paso adaptado para ajustar el paso de la pala (5) del rotor hacia un ángulo de paso de la pala objetivo con una velocidad (47) de rotación del paso que depende de la carga sobre un cojinete de paso,
- 25 en donde la velocidad (47) de rotación del paso se ajusta para que sea inferior en un rango de posiciones acimutales en las que la carga sobre el cojinete de paso debida a la aerodinámica y a la gravitación, es mayor que en otras posiciones acimutales,
- 30 en donde la velocidad (47) de rotación del paso depende de la posición acimutal (β , 41), si una cantidad indicadora de la carga sobre el cojinete de paso indica que la carga sobre el cojinete de paso supera un umbral.
15. Una turbina eólica (1), que comprende:
- 35 un rotor (3);
al menos una pala (5) del rotor conectada al rotor (3); y
una disposición (21) según la reivindicación anterior.

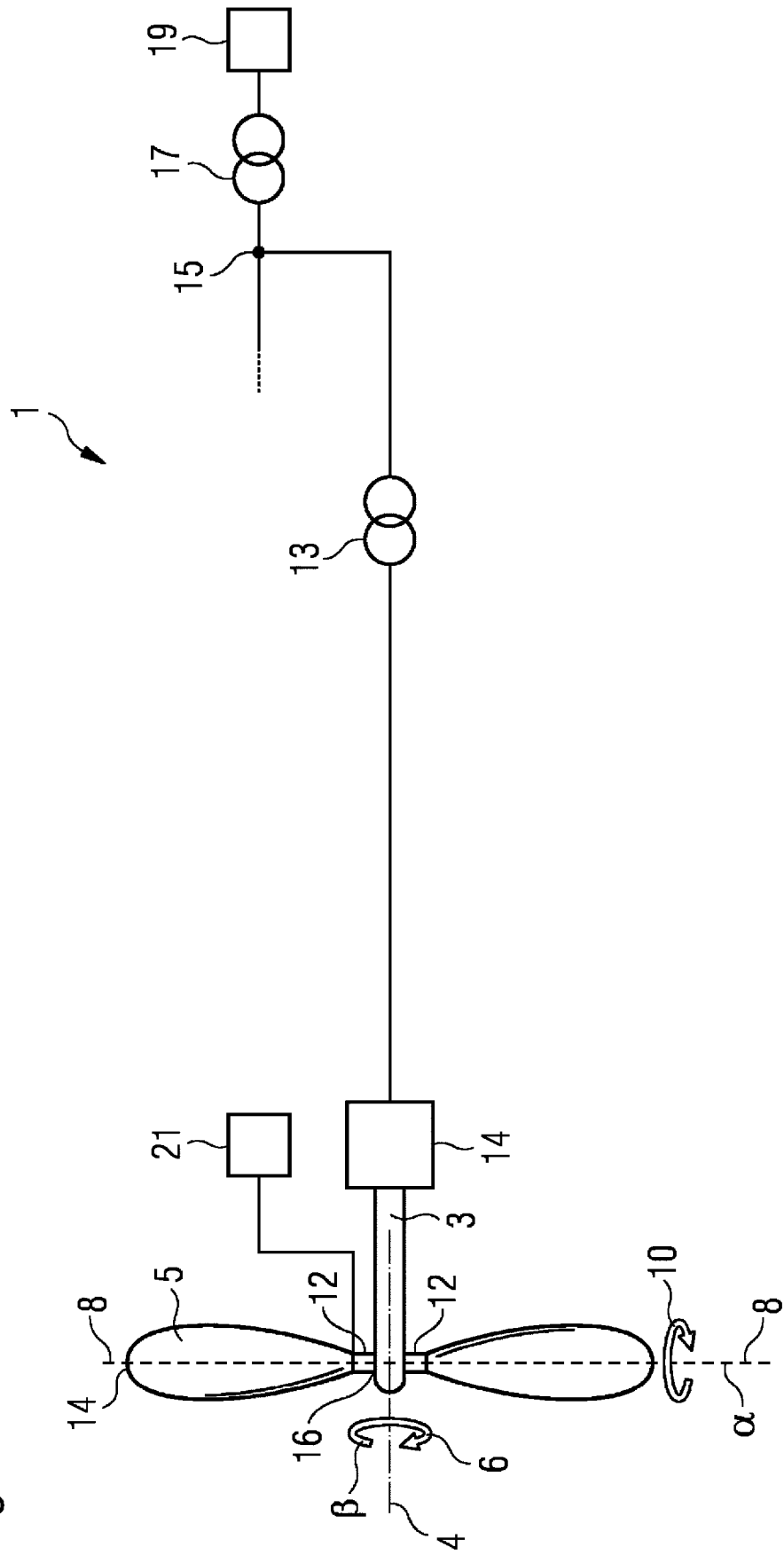


Figura 1

Figura 2

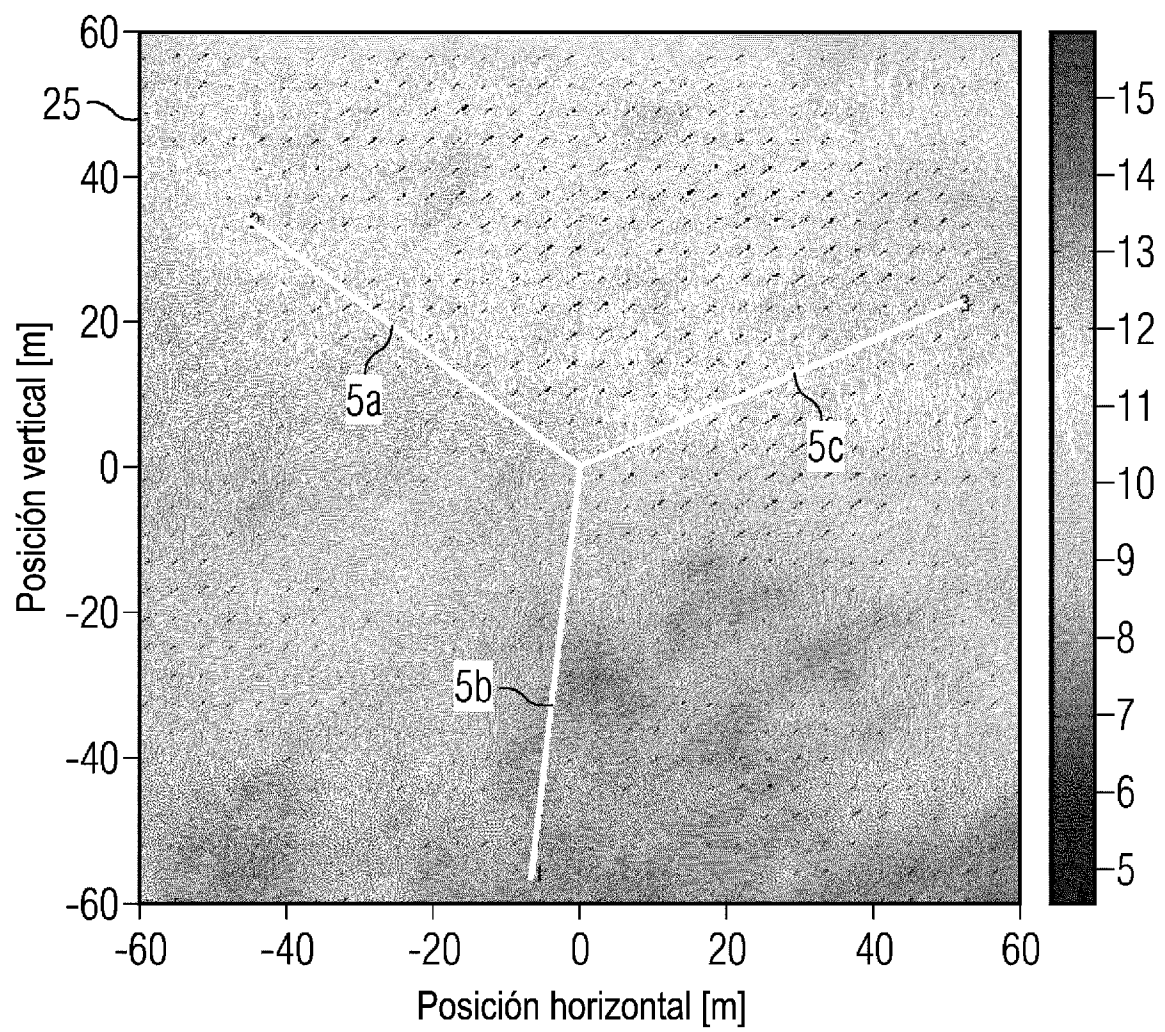


Figura 3

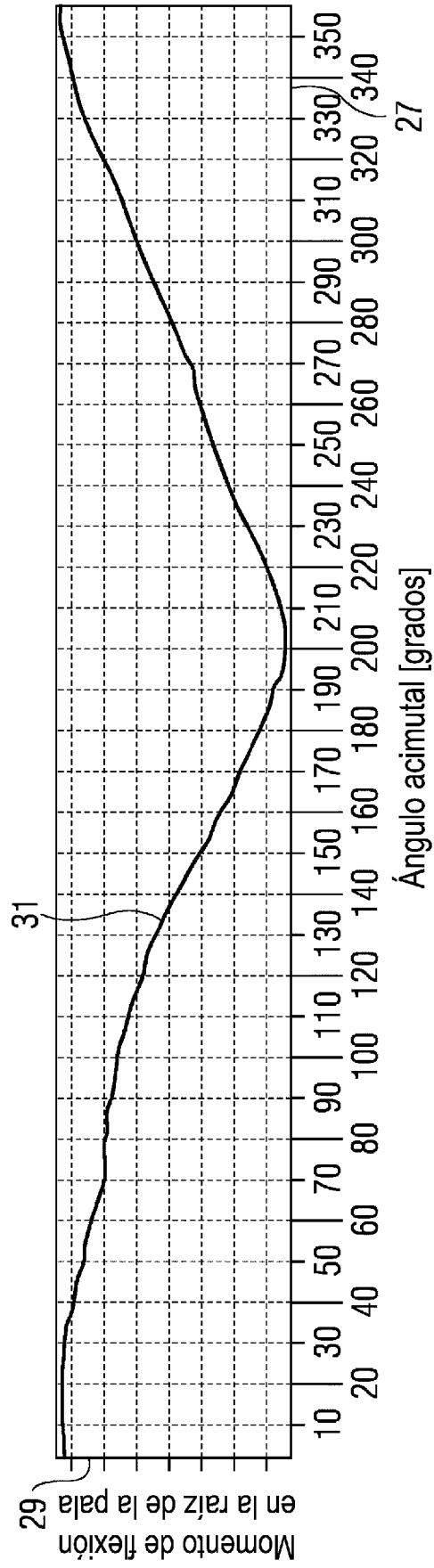


Figura 4

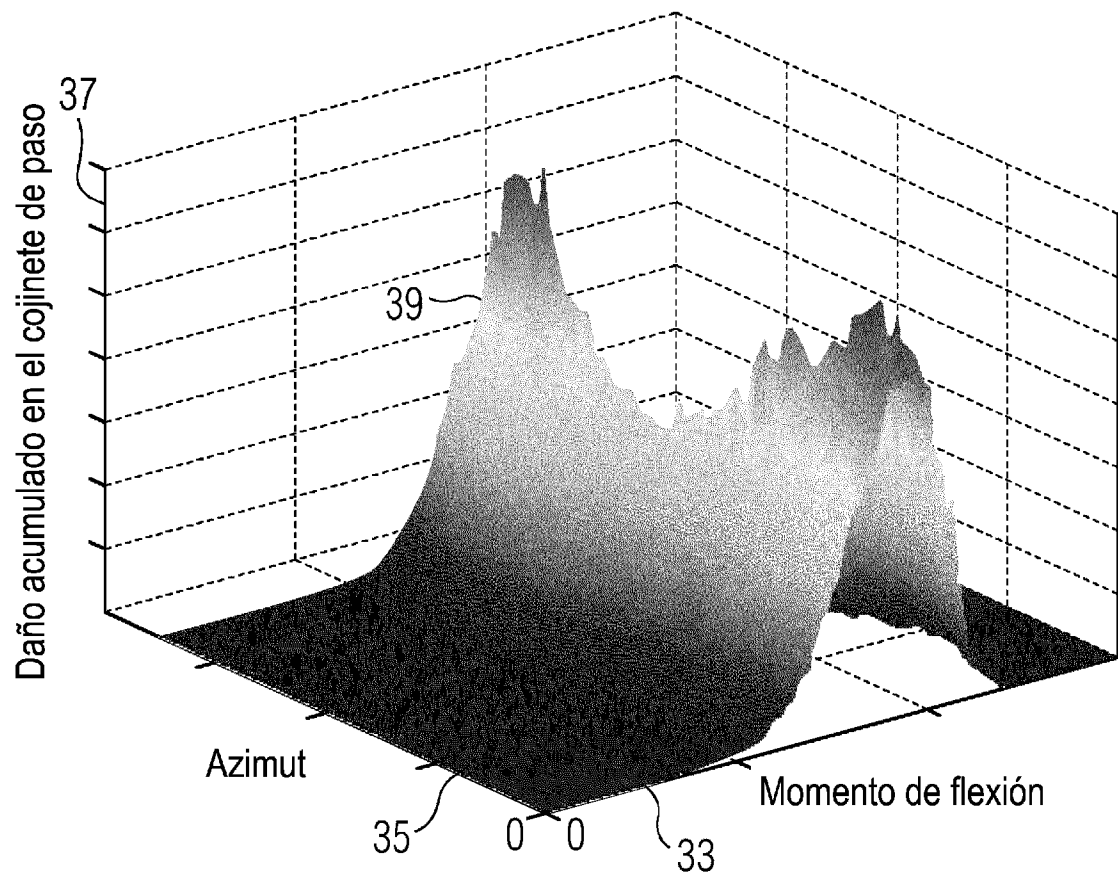
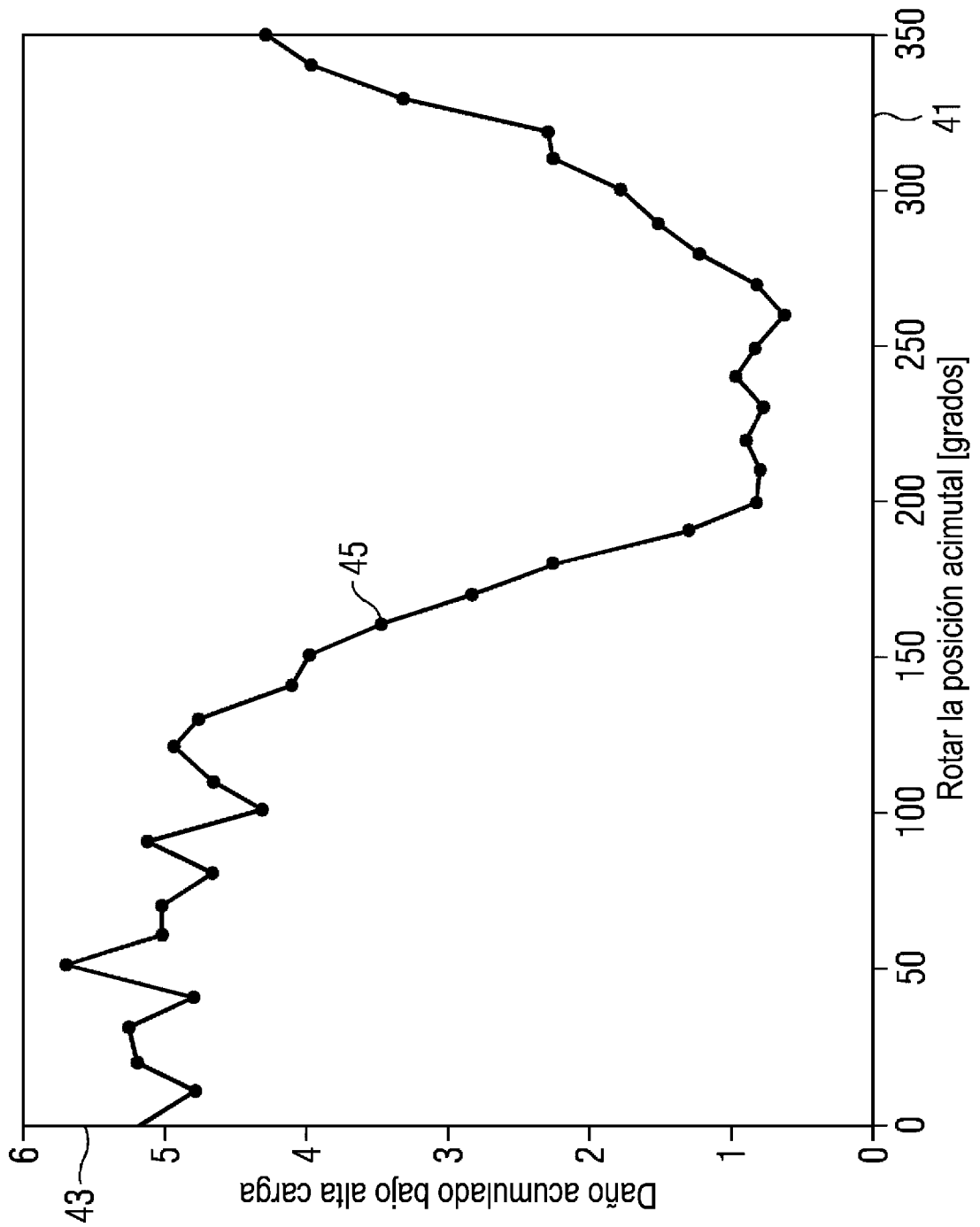


Figura 5



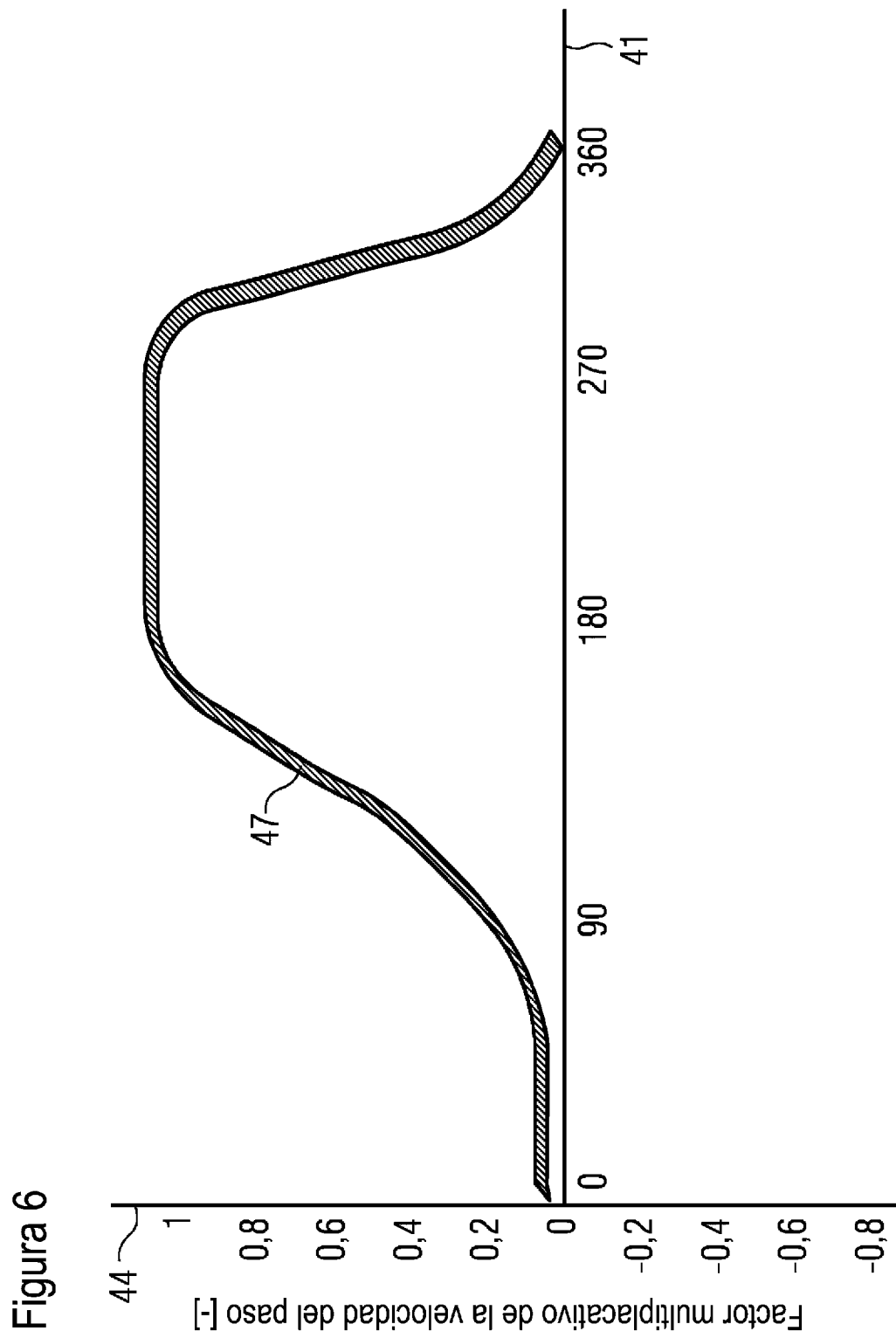


Figura 7

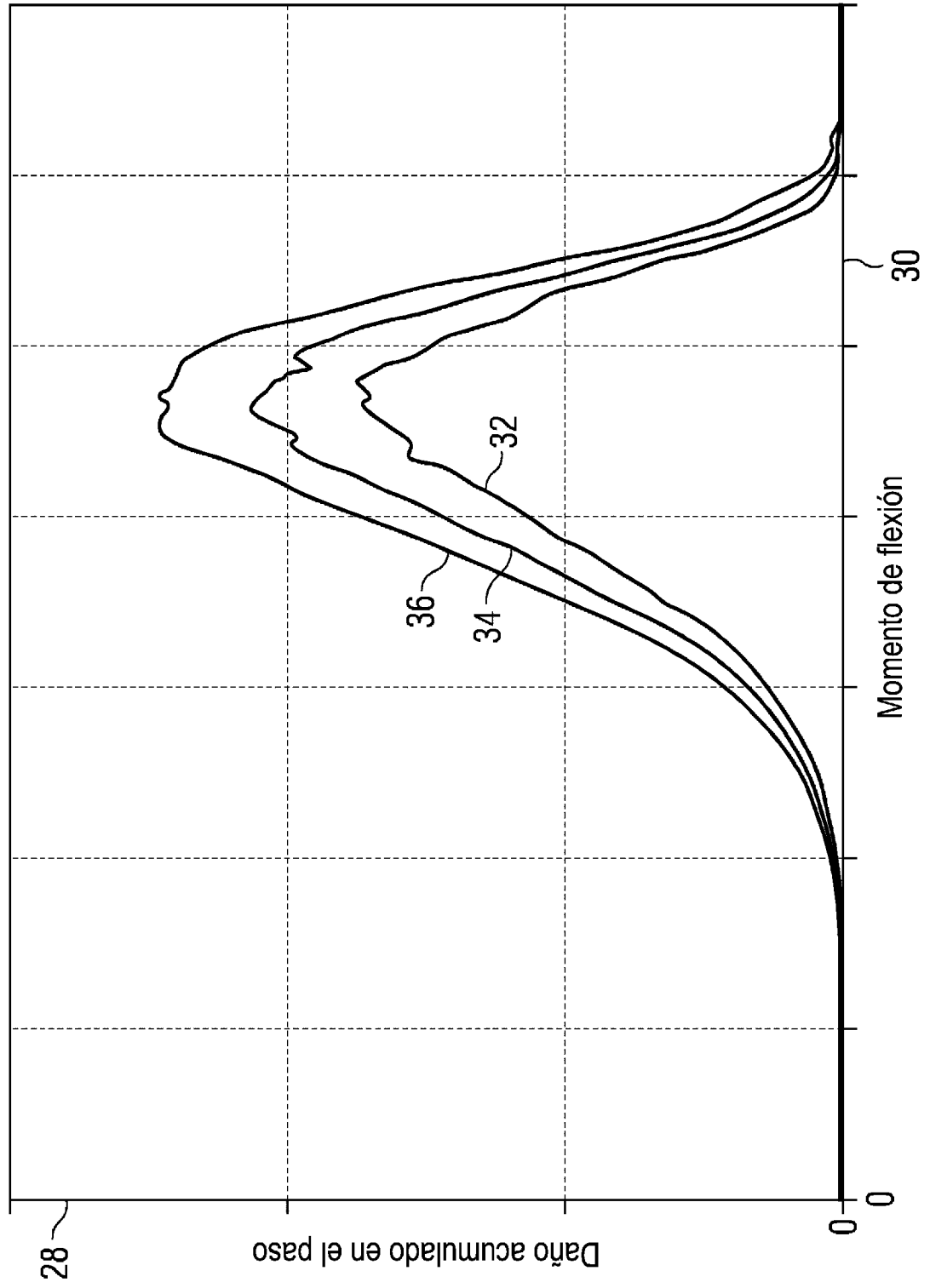


Figura 8

