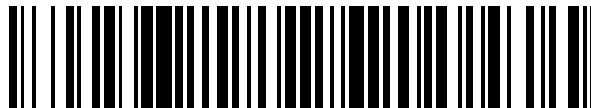


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 272**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.02.2017 PCT/EP2017/053426**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17144327**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2017 E 17705144 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 3420224**

54 Título: **Procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:  
**25.02.2016 DE 102016203013**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.03.2020**

73 Titular/es:  
**INNOGY SE (100.0%)  
Opernplatz 1  
45128 Essen, DE**

72 Inventor/es:  
**FRANKE, JAN-BERND y  
KULSE, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 750 272 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 para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica

La presente invención se refiere a un procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica.

5 Las instalaciones de energía eólica que también se designan como instalaciones de energía eólica están expuestas a una multitud de influjos que provocan vibraciones. Además, a causa del giro del cubo de rotor y de las palas de rotor unidas a la góndola, especialmente la góndola de una instalación de energía eólica está expuesta permanentemente a vibraciones, aunque el viento incida a una velocidad constante sobre las palas de rotor.

10 El documento US2009/0319199A1 describe un procedimiento para la supervisión de una instalación de energía eólica.

15 Del estado de la técnica se conoce el modo de supervisar el comportamiento de vibración de instalaciones de energía eólica con sensores de aceleración dispuestos en un componente de la instalación de energía eólica, preferentemente en la góndola de la instalación de energía eólica. Por medio de los sensores de aceleración se pueden detectar valores de aceleración que representan aceleraciones del componente y que son procesados por un control de la instalación de energía eólica, de tal forma que los valores de aceleración detectados son comparados con valores de aceleración límite predefinidos. Cuando se excede un valor de aceleración límite se disparan alarmas y/o se detiene la instalación de energía eólica. En este tipo de supervisión de vibraciones se trata de un sistema sensorial sencillo y de una lógica de supervisión sencilla que a causa de especificaciones de homologación y/o requisitos de certificación existen en cada instalación de energía eólica.

20 Este tipo de supervisión de vibraciones se emplea para evitar que la instalación de energía eólica entre temporalmente en resonancia. Estas resonancias pueden producirse por estímulos/influjo externos desfavorables, como por ejemplo condiciones de viento y/o de olas extraordinarias así como malfuncionamientos de la regulación de la instalación de energía eólica. Un funcionamiento permanente prolongado de la instalación de energía eólica en el estado de resonancia puede provocar daños y a corto plazo un fallo estructural de componentes de las instalaciones de energía eólica.

25 Los valores de aceleración límite para el disparo de una alarma y para la iniciación de una desconexión de la instalación de energía eólica son relativamente altos, para que durante el funcionamiento regular de la instalación de energía eólica se produzcan sólo pocos disparos de alarma y desconexiones. Además, en el procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica existe el problema de que el valor de aceleración límite para el disparo de una alarma frecuentemente se alcanza sólo cuando por ejemplo la integridad estructural de una pala de rotor está limitada de tal forma que poco tiempo (pocos segundos) después de excederse el valor de aceleración límite para el disparo de una alarma ya se excede el valor límite de aceleración para la desconexión de la instalación de energía eólica, porque un daño de la pala de rotor avanza muy rápidamente, siendo lanzada por ejemplo una pala de rotor entera.

35 Esta forma de supervisión del estado de vibración resulta adecuada para evitar un fallo estructural a corto plazo por una sobrecarga a causa de resonancias. Para una valoración del estado de la instalación de energía eólica completa o de componentes/piezas individuales de esta, por ejemplo las palas de rotor, esta supervisión de valores umbrales o valores límite no resulta adecuada, ya que ligeras diferencias en el comportamiento de vibración no conducen a un disparo de los umbrales de alarma o de desconexión muy elevados.

40 El objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica, que permita la detección precoz de una disminución de la integridad estructural de un componente de la instalación de energía eólica.

45 El objetivo de la presente invención se consigue mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Formas de realización ventajosas del procedimiento según la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

En concreto, el objetivo de la presente invención se consigue mediante un procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica, que presenta los siguientes pasos de procedimiento:

- 50 - la detección de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto un componente de la instalación de energía eólica, respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo predefinido;
- el almacenamiento de los valores de aceleración en un registro de datos de aceleración;
- la generación de una distribución de frecuencia acumulada a base del registro de datos de aceleración;
- la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de una distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor

de aceleración; y

- la emisión de una señal de advertencia cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.

5 Por medio del procedimiento según la invención para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica se pueden detectar precozmente alteraciones y debilitamientos de la integridad estructural de componentes de la instalación de energía eólica. De esta manera, se puede evitar que de manera repentina y sorprendente se produzca un daño que impida la capacidad de funcionamiento de la instalación de energía eólica, como por ejemplo el lanzamiento de una pala de rotor de la instalación de energía eólica. Un daño de este tipo que impide la capacidad de funcionamiento de la instalación de energía eólica puede iniciarse por ejemplo por la rotura de un perno de fijación para fijar una pala de rotor al cubo de rotor. Tras la rotura del perno de fijación, como consecuencia pueden excederse los límites de carga de otros pernos de fijación, de manera que finalmente la pala de rotor queda lanzada del cubo de rotor.

10 Alteraciones y debilitamientos de la integridad estructural de la instalación de energía eólica pueden detectarse precozmente por medio del procedimiento según la invención, ya que un defecto de un componente de la instalación de energía eólica, así como por ejemplo una grieta en un perno de unión, una grieta en una parte de la pala de rotor o una grieta en una parte del cubo de rotor, un daño de rodamiento del cubo de rotor o un daño de rodamiento del rodamiento de pala etc. se traduce en una alteración de la característica de vibración de la instalación de energía eólica. Si existe por ejemplo una grieta en un perno de unión, esto conduce a una fuerza de unión reducida entre la pala de rotor y el cubo de rotor, de manera que durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica se producen mayores vibraciones y por tanto mayores aceleraciones de la góndola.

15 Teniendo en consideración una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones a las que un componente (por ejemplo, la góndola) de la instalación de energía eólica está expuesto durante su funcionamiento, se puede detectar de forma mejorada una alteración de la característica de vibración relacionada con una alteración de la integridad estructural de la instalación de energía eólica. La distribución de frecuencia acumulada de los valores de aceleración del componente está basada en una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones del componente de la instalación de energía eólica a las que está expuesto el componente, de manera que se puede detectar eficazmente una alteración de la característica de vibración, por ejemplo, un aumento de una parte o todos los valores de aceleración.

20 Dentro del intervalo de tiempo predefinido se detectan valores de aceleración  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$  y se almacenan en el registro de datos de aceleración. Cada uno de estos valores de aceleración se produce con una frecuencia absoluta de  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  y con una frecuencia relativa de  $h_1, h_2, h_3, \dots, h_k$ , siendo siempre 1 el resultado de la suma de las frecuencias relativas, de manera que es válido  $h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_k = 1$ . La frecuencia acumulada  $F(a)$  es la suma de las frecuencias relativas de todos los valores de aceleración  $a_i$  inferiores o igual a  $a$ . La distribución de frecuencia acumulada se puede representar gráficamente, pudiendo aplicarse las frecuencias acumuladas relativas que también se pueden indicar en porcentaje, frente a los valores de aceleración. Para ello, habitualmente, los valores de medición aceleración se aplican en la abscisa y la frecuencia acumulada relativa se aplica en la ordenada.

25 A partir de la distribución de frecuencia acumulada se puede determinar por tanto fácilmente la frecuencia acumulada relativa para un valor de aceleración. Así, a partir de la distribución de frecuencia acumulada se puede determinar fácilmente la parte de todas las vibraciones a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica, que son inferiores o iguales a un valor de aceleración predefinido. Por ejemplo, a partir de la distribución de frecuencia acumulada se puede determinar que el 60% de todas las vibraciones a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica es inferior o igual a  $9 \text{ mg}$  ( $\text{mg} = \text{mili-g} = 1/1000 * 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

30 La detección de la multiplicidad de valores de aceleración se efectúa dentro de un intervalo de tiempo predefinido. Los respectivos valores de aceleración pueden detectarse en momentos que presentan intervalos de tiempo equidistantes (por ejemplo, la detección y el almacenamiento de un valor de aceleración cada segunda, cada 10 segundos, ...) o no equidistantes unos respecto a otros.

35 Los valores de aceleración preferentemente son valores de medición de aceleración del componente que representan un movimiento/una aceleración del componente en un sentido de vibración orientado perpendicularmente al sentido del viento. Además, también pueden detectarse valores de medición de aceleración en el sentido del viento y/o de forma rotatoria en la cadena cinemática y usarse para el procedimiento según la invención para detectar de manera segura un comportamiento de regulación defectuoso de la instalación de energía eólica.

40 Por un componente de la instalación de energía eólica se entiende por ejemplo la góndola o una pala de rotor de la instalación de energía eólica.

45 La distribución de frecuencia acumulada límite puede detectarse por ejemplo mediante una simulación aeroelástica del comportamiento de la instalación de energía eólica.

El procedimiento según la invención también puede designarse como procedimiento para la evitación de un fallo repentino de una instalación de energía eólica por vibraciones excesivas.

Preferentemente, la distribución de frecuencia acumulada límite se genera mediante los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:

- 5 - la detección de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones, a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido;
- el almacenamiento de estos valores de aceleración en un registro de datos de aceleración inicial;
- 10 - la generación de una distribución de frecuencia acumulada inicial a base del registro de datos de aceleración inicial; y
- la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.

El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que para la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite se recurre al historial de vibración del componente de la instalación de energía eólica. De esta manera, es posible seguir y detectar especialmente bien las alteraciones de la característica de vibración de la instalación de energía eólica.

Este procedimiento bajo la consideración del historial de vibración del componente de la instalación de energía eólica se puede describir también mediante los siguientes pasos de procedimiento:

- 20 - la detección de una multiplicidad de primeros valores de aceleración que representan aceleraciones, a las que está expuesto un componente de la instalación de energía eólica respectivamente en diferentes momentos dentro de un primer intervalo de tiempo predefinido;
- el almacenamiento de los primeros valores de aceleración en un primer registro de datos de aceleración;
- la generación de una primera distribución de frecuencia acumulada a base del primer registro de datos de aceleración;
- 25 - la generación de una distribución de frecuencia acumulada a base de la primera distribución de frecuencia acumulada determinada;
- la detección de una multiplicidad de segundos valores de aceleración que representan aceleraciones, a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica respectivamente en diferentes momentos dentro de un segundo intervalo de tiempo predefinido;
- 30 - el almacenamiento de los segundos valores de aceleración en un segundo registro de datos de aceleración;
- la generación de una segunda distribución de frecuencia acumulada a base del segundo registro de datos de aceleración;
- 35 - la comparación de un valor de frecuencia acumulada de la segunda distribución de frecuencia acumulada con un valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
- la emisión de una señal de advertencia, cuando el valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite es superior al valor de frecuencia acumulada de la segunda distribución de frecuencia acumulada.

El segundo intervalo de tiempo es posterior en el tiempo al primer intervalo de tiempo.

- 40 Preferentemente, la distribución de frecuencia acumulada límite para una instalación de energía eólica de una flota de instalaciones de energía eólica compuesta por una multiplicidad de instalaciones de energía eólica de construcción idéntica es generada por los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:
- 45 - para al menos dos instalaciones de energía eólica de la flota de instalaciones de energía eólica, la detección de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica correspondiente, respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido;
- el almacenamiento de estos valores de aceleración en un registro de datos de aceleración inicial;
- la generación de una distribución de frecuencia acumulada inicial a base del registro de datos de aceleración

inicial; y

- la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.

5 El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que para la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite se recurre a las características de vibración de una multiplicidad de instalaciones de energía eólica de construcción idéntica, de manera que la distribución de frecuencia acumulada límite generada de esta manera es más exacta. Los posibles valores extremos de valores de aceleración en una instalación de energía eólica, a la que se recurre también para la determinación de la distribución de frecuencia acumulada límite se promedian mediante la consideración de valores de aceleración de instalaciones de energía eólica adicionales, a las que se recurre también para la determinación de la distribución de frecuencia acumulada límite. De esta manera, se puede comprobar mejor la alteración de la característica de vibración y por tanto una alteración de la integridad estructural de la instalación de energía eólica que ha de ser comprobada/supervisada, por lo que aumenta aún más la seguridad de funcionamiento de la instalación de energía eólica que ha de ser comprobada/supervisada.

15 La flota de instalaciones de energía eólica se compone de una multiplicidad de instalaciones de energía eólica de construcción idéntica. Estas no tienen que estar reunidas necesariamente en un parque de instalaciones de energía eólica. Las respectivas instalaciones de energía eólica de la flota de instalaciones de energía eólica también pueden estar instaladas en lugares situados a una gran distancia entre sí. Una flota de instalaciones de energía eólica puede comprender por ejemplo uno o varios parques de instalaciones de energía eólica.

20 Preferentemente, la multiplicidad de los valores de aceleración para más de dos, preferentemente para todas las instalaciones de energía eólica de la flota de instalaciones de energía eólica se detectan dentro del intervalo de tiempo inicial y/o dentro de diferentes intervalos de tiempo iniciales.

Estos procedimientos bajo la consideración del historial de vibración de una multiplicidad de instalaciones de energía eólica de construcción idéntica, que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración, puede describirse también mediante los siguientes pasos de procedimiento:

25 - la detección de una multiplicidad de primeros valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto un componente de la instalación de energía eólica, respectivamente en diferentes momentos dentro de un primer intervalo de tiempo predefinido, para al menos dos de las instalaciones de energía eólica, preferentemente para todas las instalaciones de energía eólica de la flota de instalaciones de energía eólica;

- el almacenamiento de los primeros valores de aceleración en un primer registro de datos de aceleración;

30 - la generación de una primera distribución de frecuencia acumulada a base del primer registro de datos de aceleración;

- la generación de una distribución de frecuencia acumulada límite a base de la primera distribución de frecuencia acumulada determinada;

35 - la detección de una multiplicidad de segundos valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica, respectivamente en diferentes momentos dentro de un segundo intervalo de tiempo;

- el almacenamiento de los segundos valores de aceleración en un segundo registro de datos de aceleración;

- la generación de una segunda distribución de frecuencia acumulada a base del segundo registro de datos de aceleración;

40 - la comparación de un valor de frecuencia acumulada de la segunda distribución de frecuencia acumulada con un valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y

- la emisión de una señal de advertencia, cuando el valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite es superior al valor de frecuencia acumulada de la segunda distribución de frecuencia acumulada.

45 Preferentemente, la distribución de frecuencia acumulada límite se genera de tal forma que se genera un registro de datos de aceleración límite, de tal forma que un valor de aceleración adicional se suma a cada uno de los valores de aceleración detectados en el intervalo de tiempo inicial y almacenados en el registro de datos de aceleración inicial. Dicho registro de datos de aceleración límite se almacena. A continuación, se genera la distribución de frecuencia acumulada límite a base del registro de datos de aceleración límite.

50 El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que mediante la variación del valor de aceleración adicional, la aceleraciones límite con las que se supone que existe un defecto (por ejemplo, una disminución de la integridad estructural de un componente de la instalación de energía eólica) pueden adaptarse fácilmente a las respectivas circunstancias (por ejemplo, diferentes fondos de construcción etc.). Es que las

características de vibración de una instalación de energía eólica están determinadas no sólo por la instalación de energía eólica (geometría, selección de materiales), sino también por ejemplo por el fondo de construcción y la profundidad de la introducción de un pilote de fundación de la instalación de energía eólica en el fondo de construcción.

5 Preferentemente, el procedimiento según la invención presenta además los siguientes pasos de procedimiento:

- la determinación de un rango de fuerzas de viento, al que está expuesta la instalación de energía eólica;
- la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes rangos de fuerza de viento, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función del rango de fuerza de viento, al que está
- 10 expuesta la instalación de energía eólica;
- la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
- la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer
- 15 valor de frecuencia acumulada.

El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que la emisión de una señal de advertencia y/o una desconexión de la instalación de energía eólica se hace dependiente de la fuerza de viento a la que está expuesta la instalación de energía eólica. Es que en caso de mayores fuerzas de viento, la instalación de energía eólica y los componentes de la instalación de energía eólica están expuestos a mayores fuerzas que en

20 caso de menores fuerzas de viento, de manera que también los componentes de la instalación de energía eólica están expuestos a mayores aceleraciones. Por lo tanto, por el procedimiento realizado de manera correspondiente aumenta aún más la seguridad contra fallos de la instalación de energía eólica.

Preferentemente, el procedimiento según la invención presenta además los siguientes pasos de procedimiento:

- la determinación de una dirección del viento, a la que está expuesta la instalación de energía eólica;
- 25 - la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes direcciones de viento, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función de la dirección del viento, a la que está expuesta la instalación de energía eólica;
- la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un
- 30 segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
- la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.

El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que la emisión de una señal de advertencia y/o una desconexión de la instalación de energía eólica se hace dependiente de la dirección del viento, a la que está expuesta la instalación de energía eólica. Es que para diferentes direcciones de viento pueden alterarse las relaciones de marcha en inercia de la instalación de energía eólica. El procedimiento realizado de manera correspondiente tiene en cuenta esta circunstancia.

Preferentemente, el procedimiento según la invención presenta además los siguientes pasos de procedimiento:

- 40 - la determinación de un ángulo de pala de palas de rotor de la instalación de energía eólica;
- la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes ángulos de pala, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función del ángulo de pala que presentan las palas de rotor;
- 45 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
- la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.

50 El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que la emisión de una señal de advertencia y/o una desconexión de la instalación de energía eólica se hace dependiente de los ángulos de pala de

las palas de rotor de la instalación de energía eólica. Es que según el ángulo de pala de las palas de rotor, estas son incitadas a vibrar con diferentes intensidades por el viento que ataca en las pala de rotor, de manera que durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica, con diferentes ángulos de pala resultan diferentes estados de vibración. El procedimiento realizado de manera correspondiente tiene en cuenta este hecho.

5 Además, el procedimiento según la invención puede estar realizado de tal forma que se tienen en consideración también la medida de un ataque oblicuo en las palas de rotor, la rigidez del suelo en el que está introducida la instalación de energía eólica, las intensidades de turbulencias para la selección de la distribución de frecuencia acumulada límite y/o los rangos de potencia de la instalación de energía eólica.

10 Preferentemente, la distribución de frecuencia acumulada límite se genera mediante los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:

- la detección continua de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones, a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica, respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido;

15 - el almacenamiento de estos valores de aceleración en un registro de datos de aceleración inicial que se almacena en una memoria circular con un tamaño de memoria predefinido, de manera que tras alcanzar el tamaño de memoria, los últimos valores de aceleración almacenados en la memoria circular sobrescriben los primeros valores de aceleración almacenados;

20 - la generación de una distribución de frecuencia acumulada inicial a base del registro de datos de aceleración inicial; y

- la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.

25 El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que la distribución de frecuencia acumulada límite se puede generar con una mayor exactitud, de manera que aumenta aún más la seguridad contra fallos de la instalación de energía eólica.

Preferentemente, la distribución de frecuencia acumulada límite se genera mediante los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:

- la determinación de un rango de potencia de la instalación de energía eólica;

30 - la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes rangos de potencia, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función del rango de potencia de la instalación de energía eólica;

35 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y

- la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.

40 El procedimiento realizado de manera correspondiente ofrece la ventaja de que la distribución de frecuencia acumulada límite se puede generar con una mayor exactitud, de manera que aumenta aún más la seguridad contra fallos de la instalación de energía eólica.

45 Los rangos de potencia de la instalación de energía eólica pueden comprender por ejemplo un primer rango de potencia de 1.500 kW a 3.000 kW, un segundo rango de potencia de 3.000 kW a 4.500 kW, un tercer rango de potencia de 4.500 kW a 6.000 kW y un cuarto rango de potencia de más de 6.000 kW. A cada uno de estos rangos de potencia puede estar asignada una distribución de frecuencia acumulada límite propia.

El modo de funcionamiento del procedimiento según la invención se explica con la ayuda de las siguientes figuras. Muestran:

50 la figura 1: cursos de tiempo de aceleraciones de cabeza de torre para una multiplicidad de instalaciones de energía eólica, en las que se aplicó un procedimiento para la supervisión del estado de vibración conocido del estado de la técnica;

la figura 2: un fragmento del curso de tiempo, representado en la figura 1, de una aceleración de cabeza de torre de una instalación de energía eólica, durante la que se lanzó una pala de rotor; y

la figura 3: distribuciones de frecuencia acumulada de valores de aceleración de una multiplicidad de instalaciones de energía eólica con una distribución de frecuencia acumulada límite representada, para explicar el procedimiento según la invención.

5 La figura 1 muestra los cursos de tiempo de aceleraciones de cabeza de torre durante una duración de funcionamiento de un año para una multiplicidad de instalaciones de energía eólica, en las que se aplicó un procedimiento para la supervisión del estado de vibración conocido del estado de la técnica. En el diagrama representado en la figura 1 están representados un umbral de señal de advertencia 1 y un umbral de parada. Cuando una aceleración de cabeza de torre sobrepasa el umbral de señal de advertencia 1, se emite una señal de advertencia. Cuando una aceleración de cabeza de torre sobrepasa el umbral de parada 2, se inicia una parada de funcionamiento de la instalación de energía eólica.

10 En la figura 1 se puede ver que el umbral de señal de advertencia se sobrepasó sólo pocas veces y que sólo una vez se sobrepasó el umbral de parada a causa de un daño de pala de rotor. La figura 2 muestra un fragmento del curso de tiempo, representado en la figura 1, de la aceleración de cabeza de torre de una instalación de energía eólica, durante la que se sobrepasaron tanto el umbral de señal de advertencia como el umbral de señal de parada a causa de un lanzamiento de pala de rotor. Por medio del procedimiento para la supervisión del estado de vibración de la instalación de energía eólica, conocido del estado de la técnica, se generaron prácticamente simultáneamente al suceso del daño una señal de advertencia y una señal de parada.

15 Por consiguiente, en el procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica, conocido del estado de la técnica, existe el problema de que el umbral de señal de advertencia 1 frecuentemente sólo se alcanza, cuando por ejemplo la integridad estructural de una pala de rotor está limitada tanto que muy poco tiempo (pocos segundos) después de sobrepasarse el umbral de señal de advertencia 1 ya se sobrepasa el umbral de señal de parada 2, porque un daño de la pala de rotor avanza muy rápidamente, siendo lanzada por ejemplo una pala de rotor entera.

20 Esta forma de supervisión del estado de vibración resulta adecuada para evitar un fallo estructural a corto plazo por una sobrecarga a causa de resonancia. Para una valoración del estado de la instalación de energía eólica completa o de componentes/piezas individuales de la misma, por ejemplo las palas de rotor, no resulta adecuada esta supervisión de valores umbrales o límite.

25 La figura 3 muestra distribuciones de frecuencia acumulada de valores de aceleración de una multiplicidad de instalaciones de energía eólica con una distribución de frecuencia acumulada límite 3 representada. La distribución de frecuencia acumulada límite puede determinarse por ejemplo por medio de una simulación aeroelástica del comportamiento de la instalación de energía eólica.

30 Además, también es posible generar la distribución de frecuencia acumulada límite 3 de tal forma que en un intervalo de tiempo previo a la detección de una multiplicidad de valores de aceleración para la supervisión de la instalación de energía eólica se detectan una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica. Esta detección de los valores de aceleración se realiza en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido. Los valores de aceleración detectados de esta manera se almacenan en un registro de datos de aceleración inicial. A continuación, a base del registro de datos de aceleración inicial se genera una distribución de frecuencia acumulada inicial, después de lo que se genera la distribución de frecuencia acumulada límite 3 a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.

35 En la figura 3 se puede ver que las distribuciones de frecuencia acumulada 4 de instalaciones de energía eólica intactas son de tal forma que aproximadamente 10% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 7 mg, que aproximadamente 50% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 9 mg, que aproximadamente 80% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 10 mg y que aproximadamente 99% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 14 mg.

40 En la figura 3 se puede ver además que en la distribución de frecuencia acumulada límite 3 para un valor de aceleración (por ejemplo, 10 mg), el valor de frecuencia acumulada asociado (40% con 10 mg, es decir, 40% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 10 mg) es siempre inferior al valor de frecuencia acumulada (75% con 10 mg, es decir, 75% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 10 mg), asociado al valor de aceleración (10 mg), de la distribución de frecuencia acumulada 4 de las instalaciones de energía eólica intactas.

45 En la figura 3 igualmente está representada una distribución de frecuencia acumulada 5 de valores de aceleración de un componente de una instalación de energía eólica con una integridad estructural reducida, es decir, con una rigidez reducida. Se puede ver que la instalación de energía eólica con una rigidez reducida (por ejemplo debido a una grieta en una pala de rotor, una grieta en un perno de unión, una grieta en la torre, etc.) presenta en total mayores valores de aceleración que en las instalaciones de energía eólica intactas. Un defecto de la instalación de energía eólica se puede diagnosticar por ejemplo de tal forma que un primer valor de frecuencia acumulada (por ejemplo, 80% con 17 mg, es decir, 80% de todos los valores de aceleración son inferiores o iguales a 17 mg) de la



- distribución de frecuencia acumulada 5 se compara con un segundo valor de frecuencia acumulada (98% con 17 mg) de la distribución de frecuencia acumulada límite 3. Se puede ver que el segundo valor de frecuencia acumulada (98%) es superior al primer valor de frecuencia acumulada (80%), de manera que con una gran fiabilidad existe un defecto de la instalación de energía eólica comprobada y como consecuencia de ello puede emitirse una señal de advertencia. Por medio del procedimiento según la invención para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica se pueden detectar precozmente alteraciones y debilitamientos de la integridad estructural de componentes de la instalación de energía eólica. De esta manera, se puede evitar que de manera repentina y sorprendente se produzca un daño que impida la capacidad de funcionamiento de la instalación de energía eólica, como por ejemplo un lanzamiento de una pala de rotor de la instalación de energía eólica.
- 5
- 10 **Lista de signos de referencia**
- 1 Umbral de señal de advertencia
  - 2 Umbral de parada
  - 3 Distribución de frecuencia acumulada límite
  - 4 Distribución de frecuencia acumulada de instalaciones de energía eólica intactas
- 15 5 Distribución de frecuencia acumulada de una instalación de energía eólica con una integridad estructural reducida/una rigidez reducida

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la supervisión del estado de vibración de una instalación de energía eólica, que presenta los siguientes pasos de procedimiento:
- 5 - la detección de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto un componente de la instalación de energía eólica, respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo predefinido;
  - el almacenamiento de los valores de aceleración en un registro de datos de aceleración;
  - la generación de una distribución de frecuencia acumulada (4, 5) a base del registro de datos de aceleración;
  - 10 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de una distribución de frecuencia acumulada límite (3) para al menos un valor de aceleración; y
  - la emisión de una señal de advertencia cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la distribución de frecuencia acumulada límite se genera mediante los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:
- 15 - la detección de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones, a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido;
  - 20 - el almacenamiento de estos valores de aceleración en un registro de datos de aceleración inicial;
  - la generación de una distribución de frecuencia acumulada inicial a base del registro de datos de aceleración inicial; y
  - la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la distribución de frecuencia acumulada límite para una instalación de energía eólica de una flota de instalaciones de energía eólica compuesta por una multiplicidad de instalaciones de energía eólica de construcción idéntica es generada por los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:
- 25 - para al menos dos instalaciones de energía eólica de la flota de instalaciones de energía eólica, la detección de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica correspondiente, respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido;
  - el almacenamiento de estos valores de aceleración en un registro de datos de aceleración inicial;
  - 30 - la generación de una distribución de frecuencia acumulada inicial a base del registro de datos de aceleración inicial; y
  - la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado por que la distribución de frecuencia acumulada límite se genera mediante los siguientes pasos de procedimiento:
- 35 - la generación de un registro de datos de aceleración límite mediante la adición de un valor de aceleración adicional a cada uno de los valores de aceleración detectados en el intervalo de tiempo inicial y almacenados en el registro de datos de aceleración inicial;
  - el almacenamiento del registro de datos de aceleración límite; y
  - 40 - la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base del registro de datos de aceleración límite.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por los siguientes pasos de procedimiento:
- 45 - la determinación de un rango de fuerzas de viento y/o de una dirección de viento, a los que está expuesta la

instalación de energía eólica;

- 5 - la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes rangos de fuerza de viento y/o diferentes direcciones de viento, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función del rango de fuerza de viento y/o de la dirección de viento, a los que está expuesta la instalación de energía eólica;
  - 10 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
  - 10 - la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por los siguientes pasos de procedimiento:
- 15 - la determinación de una dirección de viento, a la que está expuesta la instalación de energía eólica;
  - 15 - la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes direcciones de viento, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función de la dirección de viento, a la que está expuesta la instalación de energía eólica;
  - 20 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
  - 20 - la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por los siguientes pasos de procedimiento:
- 25 - la determinación de un ángulo de pala de palas de rotor de la instalación de energía eólica;
  - 30 - la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes ángulos de pala, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función del ángulo de pala que presentan las palas de rotor;
  - 30 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y
  - 30 - la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.
- 35 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la distribución de frecuencia acumulada límite se genera mediante los siguientes pasos de procedimiento que se ejecutan en un intervalo de tiempo previo a la detección de la multiplicidad de valores de aceleración:
- 40 - la detección continua de una multiplicidad de valores de aceleración que representan aceleraciones, a las que está expuesto el componente de la instalación de energía eólica, respectivamente en diferentes momentos dentro de un intervalo de tiempo inicial predefinido;
  - 40 - el almacenamiento de estos valores de aceleración en un registro de datos de aceleración inicial que se almacena en una memoria circular con un tamaño de memoria predefinido, de manera que tras alcanzar el tamaño de memoria, los últimos valores de aceleración almacenados en la memoria circular sobrescriben los primeros valores de aceleración almacenados;
  - 45 - la generación de una distribución de frecuencia acumulada inicial a base del registro de datos de aceleración inicial; y
  - 45 - la generación de la distribución de frecuencia acumulada límite a base de la distribución de frecuencia acumulada inicial determinada.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por los siguientes pasos de procedimiento:

- la determinación de un rango de potencia de la instalación de energía eólica;

5 - la selección de una distribución de frecuencia acumulada límite de entre una multiplicidad de diferentes distribuciones de frecuencia acumulada límite asignadas respectivamente a diferentes rangos de potencia, seleccionándose la distribución de frecuencia acumulada límite en función del rango de potencia de la instalación de energía eólica;

10 - la comparación de un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada límite para al menos un valor de aceleración; y

- la emisión de una señal de advertencia, cuando el segundo valor de frecuencia acumulada es superior al primer valor de frecuencia acumulada.

15 10. Instalación de energía eólica con al menos un sensor de aceleración y un equipo de procesamiento de datos conectado a este a través de una línea de datos, estando adaptado el equipo de procesamiento de datos para ejecutar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9.

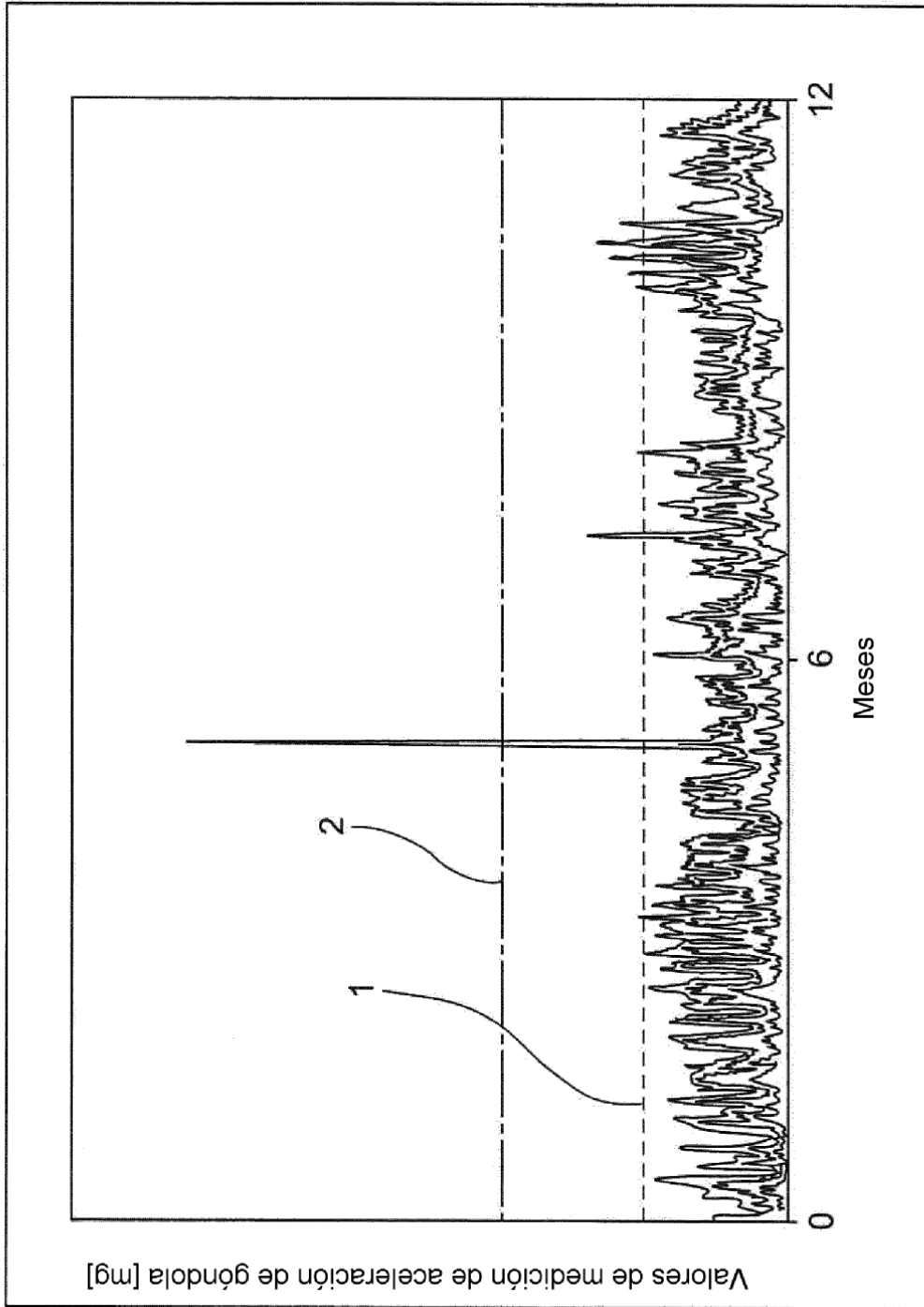


Fig. 1

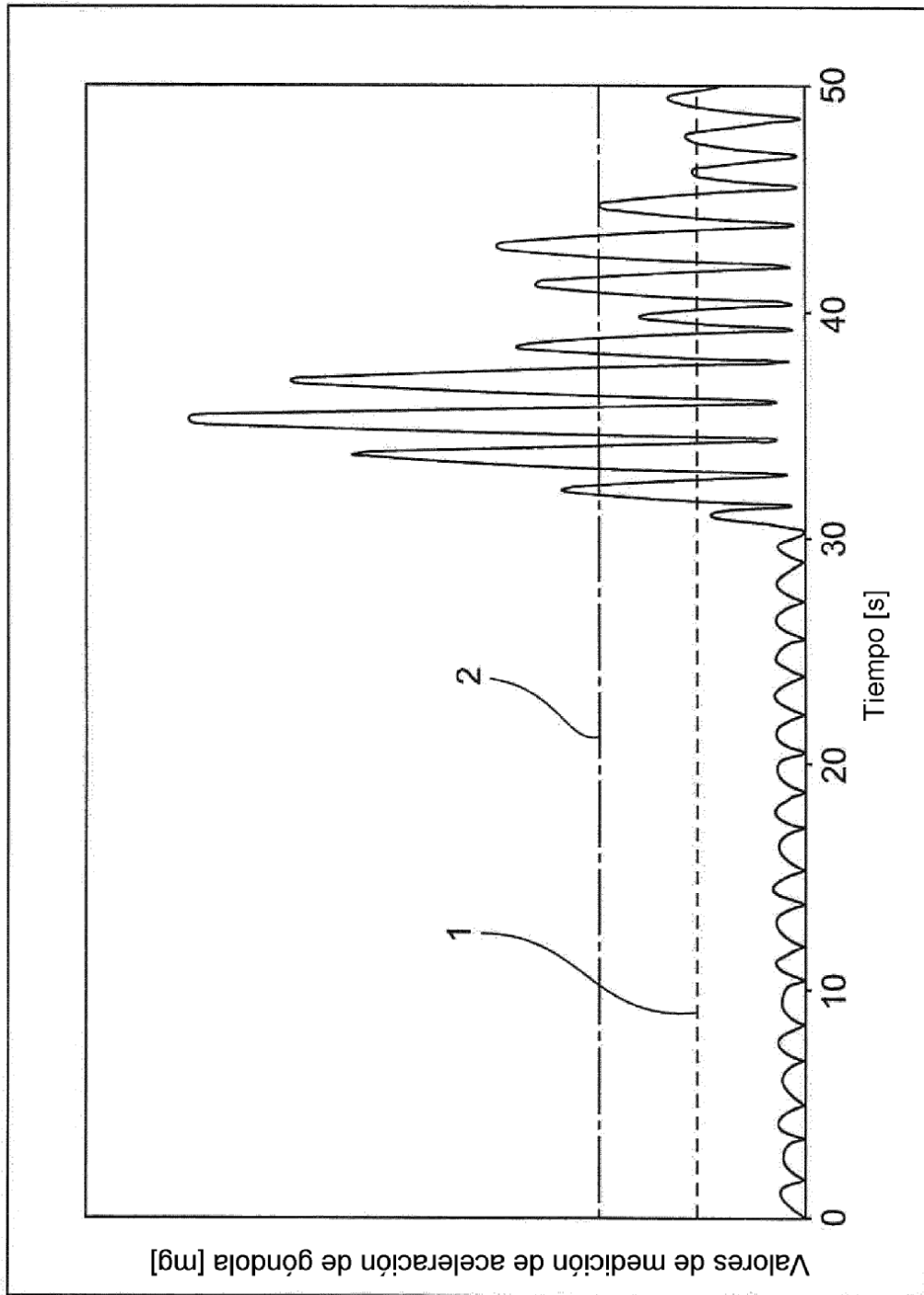


Fig. 2

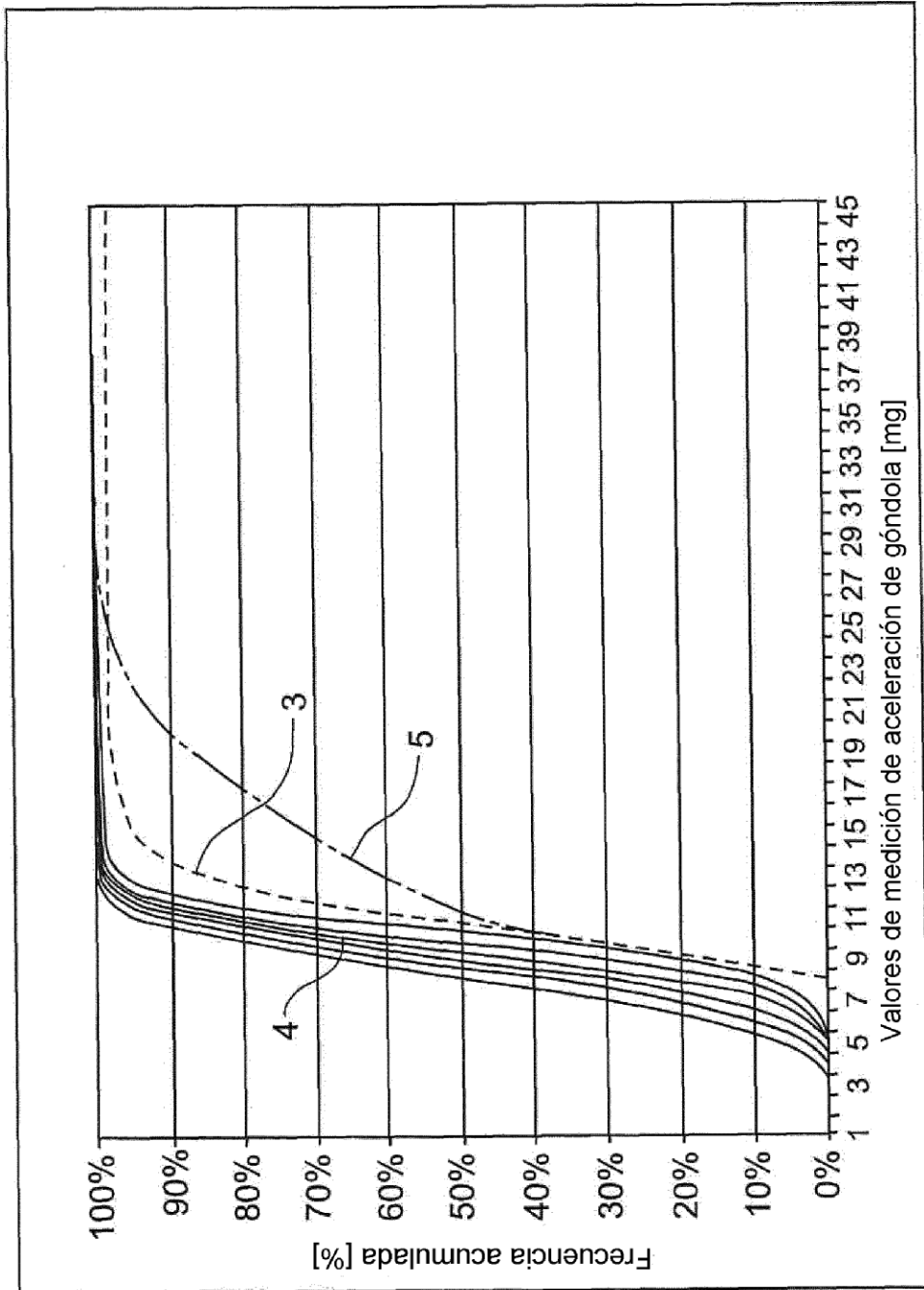


Fig. 3