

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 874 182**

51 Int. Cl.:

F03D 13/10 (2006.01)

F03D 13/20 (2006.01)

F16F 7/08 (2006.01)

F16F 7/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2019** **E 19151855 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.03.2021** **EP 3511566**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la amortiguación de las vibraciones de la torre de un aerogenerador**

30 Prioridad:

16.01.2018 DE 102018100868

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

04.11.2021

73 Titular/es:

**NORDEX ENERGY SE & CO. KG (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**HARTUNG, BASTIAN;
POLLMANN, FRANK**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 874 182 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la amortiguación de las vibraciones de la torre de un aerogenerador

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la amortiguación de las vibraciones de la torre de un aerogenerador, especialmente durante la fase de montaje.

10 En caso de fuertes vientos los aerogeneradores están sometidos a grandes cargas variables en el tiempo. Los aerogeneradores se construyen de acuerdo con la normativa internacional de manera que puedan soportar velocidades de viento muy elevadas. A la hora de diseñar las torres de aerogeneradores también hay que tener en cuenta las vibraciones causadas por los vórtices de aire que se separan alternativamente por los lados a lo largo de la altura de la torre. Las vibraciones se producen transversalmente a la dirección de afluencia del aerogenerador dentro de un rango crítico de velocidad del viento. En principio, estas vibraciones inducidas por los vórtices son relevantes en lo que respecta a los daños de los componentes debidos a la fatiga. Además, la capacidad de carga de la torre también puede estar en peligro. Debido a la influencia del rotor, la torre no corre el riesgo de sufrir vibraciones inducidas por vórtices con grandes amplitudes en cualquier dirección de afluencia.

15 La reducción de las vibraciones de la torre de un aerogenerador es especialmente importante cuando el aerogenerador se encuentra todavía en fase de instalación y las vibraciones aún no pueden contrarrestarse con medidas de control activo, como el ajuste del ángulo acimutal y/o de las palas del rotor. Se conocen varios dispositivos y equipos para la amortiguación de las vibraciones de las torres.

20 Por el documento DE 103 09 825 A1 se conoce, por ejemplo, un aerogenerador con una torre provista de tirantes de sujeción, disponiéndose para la amortiguación de las vibraciones de la torre, del lado de la torre, unos dispositivos de amortiguación hidráulicos controlables en el flujo de fuerza de los tirantes de sujeción.

El documento US 9 150 380 B2 muestra un aerogenerador con una torre provista de tirantes de sujeción, previéndose para la amortiguación de las vibraciones de la torre, del lado del suelo, unos dispositivos de amortiguación mecánicos basados en resortes.

25 El documento WO 2015/110580 A1 revela una torre para un aerogenerador con seis elementos de sujeción inclinados con respecto a un eje longitudinal de la torre, mediante los cuales la torre se sujeta por secciones. Los elementos de sujeción se fijan respectivamente en un punto de introducción de carga de la torre radialmente distanciado de la pared de la torre y se anclan radialmente fuera de la torre en el subsuelo, desarrollándose cada elemento de sujeción tangencialmente a la pared de la torre desde el punto de introducción de carga hasta el subsuelo.

30 Estos sistemas funcionan satisfactoriamente en servicio. Sin embargo, el uso permanente de estos tirantes de sujeción tiene importantes inconvenientes en los aerogeneradores, dado que los aerogeneradores están sometidos a cargas dinámicas. La introducción de fuerzas causadas por los tirantes de sujeción en el aerogenerador en los puntos de introducción de fuerzas puede provocar problemas de fatiga del material. Otra desventaja es el aumento del espacio ocupado permanentemente por el dispositivo de sujeción en comparación con una torre no atirantada.

35 También forma parte del estado de la técnica el documento US 2009/0142178 A1. En este caso, se revela un aerogenerador que presenta, entre otras cosas, una torre tubular de acero y un sistema de control para la determinación de los valores de control de las vibraciones del aerogenerador. El aerogenerador es capaz de variar la carga para optimizar la frecuencia natural de la torre en respuesta a los valores registrados por el sistema de control. La invención también se refiere a un sistema de control y a un procedimiento para la modificación de la frecuencia natural de una torre de un aerogenerador. Para ello se disponen dentro de la torre, en dirección longitudinal, elementos de cambio de carga en forma de elementos de conexión configurados en forma de dos cables, varillas o similares. Cambiando la tensión de los elementos de conexión es posible cambiar la rigidez de la torre, con lo que también se pueden cambiar la frecuencia natural crítica o las frecuencias naturales críticas de la torre. La mencionada optimización de la rigidez de la torre también se puede aprovechar durante el montaje del aerogenerador.

45 En el documento JP S60126473 se representa un dispositivo de amortiguación de vibraciones para una estructura tipo torre, que está dispuesto fuera de la estructura tipo torre en forma de cable desde la punta hasta los cimientos de la estructura tipo torre, y que está configurado para cambiar la dirección de la fuerza de un peso que actúa sobre el cable. Un amortiguador hidráulico está conectado al cable.

Descripción de la invención

50 El objetivo de la invención consiste en proporcionar un procedimiento para la amortiguación de las vibraciones de la torre de un aerogenerador, especialmente durante el montaje de la torre y del aerogenerador, comprendiendo la torre una pluralidad de secciones de torre fabricadas de acero u hormigón, pretendiéndose que una adaptación de un dispositivo de amortiguación al aerogenerador pueda llevarse a cabo fácilmente y, en particular, sin necesidad de una cimentación permanente en el suelo. El cometido de la invención es al mismo tiempo el de proporcionar un dispositivo de amortiguación correspondiente para una torre de aerogenerador que presente una construcción modular y que
55 pueda ser adaptado y utilizado temporalmente y de forma flexible para diferentes alturas y diámetros de torre.

El objetivo se consigue mediante un procedimiento para la amortiguación de las vibraciones de una torre de un aerogenerador durante el montaje de la torre y del aerogenerador, que comprende una pluralidad de secciones de torre de acero u hormigón que presentan respectivamente un elemento de conexión inferior y otro superior, disponiéndose en una sección de torre, como mínimo, al menos un elemento de absorción de fuerza, preferiblemente dos, con especial preferencia cuatro elementos de absorción de fuerza adyacentes al elemento de conexión superior, con los pasos:

a) construcción de una torre con una pluralidad de secciones de torre,

b) fijación de un primer extremo de un primer cable de acero, concretamente un cable en espiral, en un primer elemento de absorción de fuerza de una sección de torre predeterminada,

c) conexión del segundo extremo del primer cable de acero a un extremo de un segundo cable de acero, concretamente un cable de hilo redondo,

d) conducción del segundo cable de acero a través de una unidad de desviación de un primer dispositivo de amortiguación con al menos un elemento de desviación,

posicionándose el dispositivo de amortiguación en una superficie del terreno fuera de la torre y a distancia de la torre, y

e) conexión del otro extremo del segundo cable de acero a una masa de lastre del primer dispositivo de amortiguación.

Para la amortiguación de las vibraciones transversales se alinea y/o se monta ventajosamente, antes de fijar el primer extremo del cable de acero, el elemento de absorción de fuerza en la sección de torre de forma sustancialmente transversal a una dirección principal del viento. La dirección principal del viento es una dirección desde la que el viento sopla con especial frecuencia y/o de manera especialmente prolongada. Preferiblemente, el elemento de fuerza se dispone junto al elemento de conexión superior, configurándose el elemento de conexión de las secciones de torre de tubo de acero preferiblemente a modo de brida anular.

En una forma de realización preferida del procedimiento, un segundo elemento de absorción de fuerza se dispone o monta en la sección de torre de manera que esté desplazado unos 90° en el perímetro de la sección de torre en relación con la posición del primer elemento de absorción de fuerza. A continuación, se realizan los siguientes pasos adicionales:

k) fijación de un primer extremo de un tercer cable de acero, en particular un cable en espiral, al segundo elemento de absorción de fuerza de la sección de torre o de otra sección de torre, disponiéndose la otra sección de torre por encima de la sección de la torre previamente instalada,

l) conexión del segundo extremo del tercer cable de acero a un extremo de un cuarto cable de acero, preferiblemente un cable de hilo redondo,

m) conducción del cuarto cable de acero a través de una unidad de desviación de un segundo dispositivo de amortiguación con al menos un elemento de desviación,

n) conexión del otro extremo del cuarto cable de acero a una masa de lastre del segundo dispositivo de amortiguación.

De este modo se considera, por una parte, un cambio en la dirección del viento. Por otra parte, gracias a un segundo dispositivo de amortiguación junto con cables de sujeción o cables de acero en otra sección de la torre, en particular la superior, se garantiza que durante el "crecimiento" de la torre durante el montaje el dispositivo de amortiguación esté siempre activo.

Con preferencia, la ejecución del procedimiento comprende los siguientes pasos:

Posicionamiento del primer y/o del segundo dispositivo de amortiguación radialmente separados o distanciados de la torre de manera que el ángulo del cable en espiral con respecto a un plano horizontal en el dispositivo de amortiguación sea de 30° a 80° y/o la distancia respecto a la torre sea de unos 25 a 240 metros. Aquí se tiene en cuenta el grado de montaje, es decir, la torre parcialmente montada, la torre completa sin o con góndola instalada y posiblemente con las palas del rotor montadas. También se tiene en cuenta la calidad del terreno. Por último, pero no por ello menos importante, se tiene en cuenta la masa y la flecha del respectivo cable de sujeción o de acero.

De manera especialmente preferida, el procedimiento se lleva a cabo con los pasos adicionales de: ajuste del primer y/o segundo dispositivo de amortiguación a un valor de amortiguación predeterminado cambiando la posición del al menos un elemento de desviación de manera que se reduzca o aumente un ángulo de envoltura global β (beta) y, por lo tanto, la resistencia a la fricción. En el caso de que el dispositivo de amortiguación presente dos elementos de desviación, el ajuste del primer y/o segundo dispositivo de amortiguación a un valor de amortiguación predeterminado se realiza cambiando la posición de un primer elemento de desviación y/o un segundo elemento de desviación de modo que la distancia entre el primer y el segundo elemento de desviación y, por consiguiente, el ángulo de envoltura total β (beta) y, por lo tanto, la resistencia a la fricción, se reduzca o aumente, estando el ángulo de envoltura total β (beta) formado por los distintos ángulos de envoltura β_1 (beta1) del primer elemento de desviación y β_2 (beta2) del segundo elemento de desviación. El ángulo de envoltura indica la zona de contacto del cable con el elemento de desviación.

En caso de que el primer y/o segundo dispositivo de amortiguación tenga una configuración diferente con una palanca pivotante y una unidad de fricción ajustable conectada funcionalmente a la misma, el ajuste del dispositivo de amortiguación a un valor de amortiguación predeterminado se realiza cambiando la posición angular de la palanca pivotante.

5 Al principio y/o durante la ejecución del procedimiento según la invención, se realiza preferiblemente una determinación de la dirección del viento y de la fuerza del viento, así como de los movimientos de la torre, con ayuda de sensores adecuados, para poder ajustar, y en su caso reajustar el efecto de amortiguación de forma selectiva.

10 De manera especialmente preferida se producen, después de la puesta en funcionamiento del aerogenerador, los siguientes pasos: desmontaje del cable o de los cables de acero por medio de una cuerda de guía o auxiliar y retirada del dispositivo de amortiguación.

15 El objetivo también se consigue mediante un dispositivo de amortiguación para una torre de un aerogenerador con una pluralidad de secciones de torre de acero para llevar a cabo el procedimiento, que comprende un dispositivo de amortiguación provisto de un bastidor, por ejemplo un bastidor de acero, una unidad de desviación y una masa de lastre, posicionándose el dispositivo de amortiguación en una superficie del terreno fuera de la torre y a distancia de la torre, y que comprende un cable de acero guiado a través de la unidad de desviación y conectado, por una parte, a la masa de lastre y, por otra parte, a al menos un elemento de absorción de fuerza de al menos una sección de torre, presentando la unidad de desviación, como mínimo, un primer elemento de desviación y pudiéndose cambiar la posición del primer elemento de desviación para variar la amortiguación. De acuerdo con la invención, el cable de acero presenta una primera sección configurada como cable en espiral y fijada en el elemento de absorción de fuerza de la sección de torre, y una segunda sección configurada como un cable de hilo redondo, que se conduce a través de la unidad de desviación y se conecta a la masa de lastre, conectándose el cable en espiral y el cable de hilo redondo entre sí por medio de una conexión de apriete, especialmente de forma desmontable. La combinación y conexión de dos tipos de cable de acero según la invención presenta muchas ventajas en cuanto al presente objetivo:

- 25 - El cable en espiral es especialmente adecuado como cable de conexión rígido entre la torre y el dispositivo de amortiguación, mientras que el cable de hilo redondo se puede conducir especialmente a través de elementos de desviación y/o poleas,
- el cable en espiral se puede adaptar por separado en lo que se refiere a la longitud, el diámetro y la masa con respecto a la altura de la torre,
- 30 - el cable de hilo redondo se puede adaptar por separado en lo que se refiere a la longitud, el diámetro y capacidad de flexión a la altura de la torre,
- el cable de hilo redondo se puede proporcionar por separado en lo que se refiere al número de hilos redondos con respecto a la fricción del cable,
- en caso de deterioro del cable en espiral o del cable de hilo redondo, cada uno de ellos se puede sustituir por separado,
- 35 - el tiempo de montaje para la instalación de un dispositivo de amortiguación se puede acortar considerablemente, por ejemplo el cable en espiral puede estar ya fijado a la sección de la torre tumbada y el cable de hilo redondo puede estar ya conectado previamente al dispositivo de amortiguación.

40 En una variante de realización ventajosa, el cable en espiral presenta, en su extremo alejado de la conexión de apriete, un elemento de sujección que se puede conectar o se conecta de forma segura a un elemento de sujección de carga en la sección de la torre, en particular mediante otros elementos de conexión, pudiéndose configurar el elemento de tope preferiblemente en forma de guardacabos o cabeza de horquilla.

El cable de hilo redondo presenta, en su extremo alejado de la conexión de apriete, un elemento de tope que se puede conectar o se conecta a la masa de lastre.

45 Con preferencia, el dispositivo de amortiguación comprende, además del primer elemento de desviación, un segundo elemento de desviación, apoyándose al menos uno de los elementos de desviación de forma desplazable en al menos un plano, preferiblemente en dos planos, por lo que el ángulo total de envoltura β (beta) para el cable de acero es ajustable, especialmente en el rango de 10° a 240°.

50 En una forma de realización ventajosa, el cable de acero redondo se puede conducir o se conduce sucesivamente a través del primer y del segundo elemento de desviación, presentando los elementos de desviación al menos parcialmente una superficie convexa de un material que, en combinación con un cable de acero redondo en el estado seco, da un coeficiente de fricción de deslizamiento de más de 0,3, preferiblemente más de 0,4. Los ensayos han demostrado que una madera dura y/o duradera, por ejemplo la del haya, del roble o del alerce, es un material idóneo.

55 En una forma de realización ventajosa, el primer y/o el segundo elemento de desviación pueden estar formados respectivamente por una viga de desviación rígida con al menos un borde longitudinal redondeado o con una superficie convexa que se extiende paralelamente al eje longitudinal, o por una polea de desviación giratoria y frenable que se monta preferiblemente de manera que se pueda desplazar transversalmente al eje o al árbol.

En una variante de realización alternativa preferida del dispositivo de amortiguación con una palanca pivotante conectada funcionalmente a una unidad de fricción, la palanca pivotante se apoya de forma pivotante en la unidad de fricción y la unidad de fricción presenta al menos un elemento de fricción fijo y al menos un elemento de fricción móvil, estando el elemento de fricción móvil funcionalmente conectado a la palanca pivotante.

- 5 Con preferencia, el cable de acero presenta además una primera sección configurada como cable en espiral y una segunda sección configurada como cable de hilo redondo, fijándose el cable en espiral y/o el cable de hilo redondo de forma desmontable en el extremo de la palanca pivotante alejado de la unidad de fricción.

Una torre de un aerogenerador comprende una pluralidad de secciones de torre de acero u hormigón que presentan respectivamente un elemento de conexión inferior y otro superior, disponiéndose en una sección de torre, como
10 mínimo, al menos un elemento de absorción de fuerza, preferiblemente dos, con especial preferencia cuatro elementos de absorción de fuerza adyacentes al elemento de conexión superior, y pudiéndose fijar en la sección de torre un cable de acero de un primer dispositivo de amortiguación en un primer elemento de absorción de fuerza a una altura predeterminada de la sección de la torre, presentando el cable de acero un extremo cercano al suelo que se puede conectar o se conecta a una masa de lastre de un primer dispositivo de amortiguación del lado del suelo, que se puede
15 posicionar a una distancia de la torre en alineación radial desde su eje central en un plano vertical con el elemento de absorción de fuerza, configurándose el dispositivo de amortiguación preferiblemente como se ha descrito anteriormente.

En una forma de realización perfeccionada se prevé otro cable de acero de un segundo dispositivo de amortiguación, que se puede fijar en un segundo elemento de absorción de fuerza de la sección de torre, desplazándose el segundo
20 elemento de absorción de fuerza en aproximadamente 90° en el perímetro de la sección de torre con respecto a la posición del primer elemento de absorción de fuerza. El cable de acero del segundo dispositivo de amortiguación presenta un extremo del lado del suelo que se puede conectar o se conecta a una segunda masa de lastre de un segundo dispositivo de amortiguación del lado del suelo, posicionándose el dispositivo de amortiguación a distancia de la torre en alineación radial desde su eje central. El ángulo α (alfa) del cable o de los cables de acero con respecto
25 al eje central de la torre está preferiblemente en el rango de 10° a 60°.

En una primera forma de realización ventajosa, el o cada uno de los elementos de absorción de fuerza, en particular los elementos de sujeción de carga se sujetan por medio de un elemento de refuerzo anular en la parte exterior de la torre.

En una segunda forma de realización ventajosa, el o cada uno de los elementos de absorción de fuerza, en particular el elemento de sujeción de carga, se configura a modo de unidad de paso, comprendiendo la unidad de paso especialmente un así llamado soporte giratorio, anillo de carga, soporte anular o estribo de carga. Para simplificar, se utilizará de aquí en adelante el término de estribo de carga.

En otra forma de realización preferida, la pared de la torre comprende, verticalmente por encima del o de cada primer pasaje de pared para la unidad de paso, un segundo pasaje de pared para el paso de una cuerda de guía que se puede conectar o se conecta al cable en espiral por medio de un nudo de cuerda a través de un anillo oval.

En una variante de realización preferida se dispone una pluralidad de sensores de viento en una o en la sección de torre, montándose los sensores de viento en la torre en un plano de la torre preferiblemente en forma de anillo.

Con especial preferencia se dispone al menos un sensor de aceleración o de vibración en una o en la sección de torre y/o en la góndola, siendo posible transmitir las señales suministradas por estos sensores directamente, o a través de una unidad de evaluación, a una unidad de control del dispositivo de amortiguación.

Mediante el uso del dispositivo de amortiguación según la invención se puede suprimir una oscilación brusca de la torre del aerogenerador en caso de afluencia crítica, con lo que se evita de manera permanente que el aerogenerador sufra daños.

Con la utilización del dispositivo de amortiguación según la invención, con un cable de sujeción en forma de cable de acero que se puede fijar a distintas alturas, se pueden contrarrestar diferentes formas naturales de vibración, a saber, una primera forma natural de vibración horizontal a la altura de la cabeza de la torre y una segunda forma natural de vibración con una llamada protuberancia de vibración a una altura central de la torre.

El dispositivo de amortiguación según la invención se caracteriza especialmente por el hecho de que se puede utilizar rápidamente y con poco esfuerzo en todas las fases de la vida de un aerogenerador, concretamente en la

- 50 - fase de construcción,
- fase de funcionamiento,
- fase de mantenimiento,
- fase de parada y
- fase de desmontaje.

55 A continuación, se describen dos formas de realización del dispositivo de amortiguación según la invención con referencia a los dibujos adjuntos que representan en la

Figura 1 una vista esquemática de un aerogenerador con un dispositivo de amortiguación según la invención;

Figura 2 una vista esquemática de una sección de torre con un dispositivo de amortiguación en una primera forma de realización según la invención;

Figura 3 una vista esquemática sobre una sección de torre con un dispositivo de amortiguación según la invención,

5 Figura 4 una vista esquemática sobre una sección de torre con dos dispositivos de amortiguación según la invención;

Figura 5 otra vista esquemática de una sección de torre con un dispositivo de amortiguación en la primera forma de realización según la figura 2;

Figura 6 una vista esquemática de una sección de torre con un dispositivo de amortiguación en una segunda forma de realización según la invención;

10 Figura 7 una vista esquemática de una unidad de paso de la pared de la torre de la invención y

Figura 8 una vista esquemática de un pasaje de pared de torre con un cable de guía.

15 La figura 1 muestra un aerogenerador 1 con una torre 2, una góndola 4 y un rotor 5. El rotor 5 presenta tres palas de rotor 8a, 8b montadas de forma giratoria en un buje 6. De las tres palas del rotor 8a, 8b, sólo se pueden ver dos palas de rotor 8a y 8b en la vista lateral, representándose la pala del rotor 8b en la figura de manera cortada para mayor claridad. La torre 2 está compuesta por una pluralidad de secciones de torre 3a, 3b, 3c, 3d, 3e dispuestas unas encima de otras y unidas entre sí por elementos de conexión 9. En el caso de la torre de acero mostrada en el ejemplo de realización los elementos de conexión 9 se han configurado como brida anular 9a. Como se puede apreciar en la figura 1, se prevé en la sección superior de la cuarta sección de torre 3d, adyacente a la brida anular 9a en un punto de fijación de la torre (TAP), un elemento de absorción de fuerza 11 para la fijación de un cable de acero 12 de un dispositivo de amortiguación 20. El extremo inferior del cable de acero 12 es guiado hacia un aparato de amortiguación 21 del dispositivo de amortiguación 20, posicionándose el aparato de amortiguación 21 en el terreno a varias distancias respecto a la sección más baja de la torre 3a, por ejemplo, mediante una carretilla elevadora o una cargadora de ruedas no representada, como se indica por medio de la flecha doble.

25 La figura 2 muestra una sección de una torre 2 con un dispositivo de amortiguación 20 según la invención. A modo de ejemplo, la sección de la torre comprende tres secciones de la torre 3a, 3b, 3c. Como se puede ver en la figura 2, en la parte superior de la tercera sección de la torre 3c, adyacente a la brida anular 9a en un punto de fijación de la torre (TAP), se prevén un elemento de absorción de fuerza 11 y una unidad de paso 14 para la fijación de una sección superior del cable de acero 12 en forma de cable en espiral 12a. La sección inferior del cable de acero 12 en forma de cable redondo 12b es guiada hacia el aparato de amortiguación 21. Como muestra la figura 2, el segundo extremo o el extremo inferior del cable en espiral 12a está conectado a un extremo superior del cable de hilo redondo 12b mediante un conector de apriete 13, por ejemplo "Crosby First Grip 429". La sección inferior del cable de hilo redondo 12b se guía a través de una unidad de desviación 23, que comprende esencialmente dos elementos de desviación 23a, 23b del aparato de amortiguación 21 y se conecta a una masa de lastre 24 que se encarga de la sujeción previa necesaria. En el ejemplo de realización, los elementos de desviación 23a, 23b se apoyan en un bastidor de acero 22 de sección transversal trapezoidal.

35 La figura 3 muestra una vista esquemática sobre una sección de torre 3d de una torre 2 con un dispositivo de amortiguación 20 según la invención. En la pared de la torre 10 se proporcionan cuatro elementos de absorción de fuerza 11 desplazados respectivamente en 90° en el perímetro, fijándose el cable de acero 12 en el elemento de absorción de fuerza 11 en la posición de las 3 horas mostrada y conectándose el mismo al aparato de amortiguación 21, donde el cable de acero 12 entra desde arriba en la unidad de desviación 23. Con referencia a una rosa de los vientos imaginaria, el aparato de amortiguación 21 de la figura 3 está orientado transversalmente respecto a la dirección norte del viento (principal), indicada por la flecha W, hacia el este.

40 La figura 4 muestra una vista esquemática sobre una sección 3d de una torre 2 con dos dispositivos de amortiguación 20 según la invención. En la pared de la torre 10 se proporcionan de nuevo cuatro elementos de absorción de fuerza 11 desplazados respectivamente en 90° en el perímetro, fijándose en los elementos de absorción de fuerza 11, en las posiciones mostradas de las 3 horas y de las 12 horas, sendos cables de acero 12 que se conectan al aparato de amortiguación asignado 21. Con referencia a una rosa de los vientos imaginaria, el primer aparato de amortiguación 21 de la figura 4 está orientado al este y el segundo aparato de amortiguación 21 está orientado al norte, con lo que la dirección (principal) del viento es, según la flecha W, la dirección de noreste o el viento viene del noreste.

45 La figura 5 muestra una sección de una torre 2 con un dispositivo de amortiguación 20 según la invención. En este caso, debido a la representación, la sección de la torre comprende sólo dos secciones de torre 3a y 3b. Como se puede ver en la figura 5, en la sección superior de la segunda sección de torre 3b adyacente a la brida anular 9a en un punto de fijación de la torre (TAP), se prevén un elemento de absorción de fuerza 11 y una unidad de paso 14 para la fijación de la sección superior del cable de acero 12 en un ángulo α (alfa). Llegados a este punto, hay que señalar que el cable de acero 12 o el cable en espiral 12a y el cable de hilo redondo 12b siempre presentan un cierto combado, que no se muestra en las figuras en aras de la simplicidad. La sección inferior del cable de acero 12 es guiada hacia el aparato de amortiguación 21, donde discurre en el sentido de las agujas del reloj a través de los primeros elementos de desviación (superiores) 23a y posteriormente, en sentido contrario, a través de los segundos elementos de desviación (inferiores) 23b hasta la masa de lastre 24, a la que está conectado el cable de acero 12 o, más

concretamente, el cable de hilo redondo 12b no mostrado explícitamente en la figura 5. La distancia r entre el eje de los primeros elementos de desviación (superiores) 23a y el eje central 2a de la torre 2 determina, como un parámetro de entre varios, el grado de amortiguación o el efecto de amortiguación del dispositivo de amortiguación 20. Otro parámetro es el ángulo total de envoltura β (beta), que está formado por la suma de los ángulos individuales de envoltura β_1 (beta1) de los primeros elementos de desviación 23a y β_2 (beta2) de los segundos elementos de desviación 23b. Como muestran las flechas dobles en la figura 5 por encima de los elementos de desviación 23a, 23b, en el ejemplo de realización, éstos están montados en el bastidor de acero 22, con el fin de ajustar los ángulos de envoltura β_1 (beta1), β_2 (beta2) y, por lo tanto, la fuerza de fricción, de manera que puedan desplazarse y fijarse horizontalmente. Las disposiciones de los elementos de desviación 23a, 23b mostradas en la figura 2 y en la figura 5 se indican a modo de ejemplo. Los elementos de desviación 23a, 23b también se pueden disponer en otros planos, por ejemplo, en un plano horizontal común. Las configuraciones de los elementos de desviación 23a, 23b para lograr una fuerza de fricción definida son, por lo tanto, muy diversas. Los elementos de desviación 23a, 23b presentan al menos parcialmente una superficie convexa de un material que, en combinación con un cable de acero de hilo redondo, proporciona un coeficiente de fricción de deslizamiento superior a 0,3, preferiblemente superior a 0,4. En los ensayos se ha comprobado que una madera dura, como la del haya o del roble, o incluso del alerce, es un material apropiado y duradero. En una primera forma de realización, los elementos de desviación 23a, 23b pueden tener la forma de vigas de desviación rígidas o cilindros de desviación rígidos. En una segunda forma de realización, los elementos de desviación 23a, 23b pueden estar formados por poleas o cilindros giratorios en combinación con una unidad de fricción ajustable, en el caso más sencillo un freno de disco ajustable o un embrague de disco. En otra variante perfeccionada no representada de los elementos de desviación 23a, 23b, la posición y/o el efecto de frenado y, por lo tanto, el efecto de fricción de los elementos de desviación 23a, 23b son controlables y/o ajustables, pudiendo servir un sensor de vibración en la cabeza de la torre de transmisor del valor real. El número de elementos de desviación 23a, 23b no está limitado a dos, por lo que es posible proporcionar un solo elemento de desviación 23a, 23b o también tres elementos de desviación 23a, 23b. Por ejemplo, también se puede proporcionar una combinación de un elemento de desviación rígido o frenado 23a, 23b y una polea de desviación que puede girar de manera libre.

La figura 6 muestra una sección de una torre 2 con un dispositivo de amortiguación 20 en una forma de realización alternativa según la invención. Debido a la representación, la sección de la torre comprende sólo dos secciones de torre 3a y 3b. Como se puede ver en la figura 8, en la sección superior de la segunda sección de torre 3b adyacente a la brida anular 9a en un punto de fijación de la torre (TAP), se prevén un elemento de absorción de fuerza 11 y una unidad de paso 14 para la fijación de la sección superior del cable de acero 12 en un ángulo α (alfa). Cabe señalar de nuevo que el cable de acero 12, por ejemplo, en forma de cable en espiral 12a y/o de cable de hilo redondo 12b, siempre presenta un cierto combado no mostrado en la figura 8 en aras de la simplicidad. La sección inferior del cable de acero 12 se apoya en un extremo de una palanca pivotante 25 del aparato de amortiguación 21 alejado de un eje de giro. La palanca pivotante 25 está conectada a la masa de lastre 24 a través de otra sección del cable de acero 12 u otro cable de acero corto. La distancia r entre el punto de unión del cable de acero 12 a la palanca pivotante 25 y el eje central 2a de la torre 2 es variable en función de la posición angular γ (gamma) de la palanca pivotante 25 y determina, como un parámetro de entre varios, el grado de amortiguación o el efecto de amortiguación del dispositivo de amortiguación 20. En el extremo de la palanca pivotante 25 adyacente al eje de giro se encuentra una unidad de fricción 26, siendo posible diseñar el modo de acción de la unidad de fricción 26 de manera que sea controlable o pasivo, semiactivo o activamente regulable. Los diseños constructivos de la unidad de fricción 26 para lograr una fuerza de fricción definida son múltiples, por ejemplo, en el caso más simple, la unidad de fricción 26 puede consistir en un freno de disco ajustable, un embrague de disco o un embrague de disco de fricción. En una variante de realización perfeccionada, la unidad de fricción 26 presenta una pluralidad de elementos de fricción en forma de espada o de segmento circular que forman al menos una pareja de fricción, fijándose al menos un elemento de fricción de manera pivotante en la palanca pivotante 25. El elemento de fricción pivotante se sumerge así entre dos elementos de fricción fijos, con lo que se establece una fuerza de fricción diferente y, por lo tanto, un efecto de amortiguación. Los movimientos transversales de la torre se introducen en la unidad de fricción 26 a través de la palanca pivotante 25. En una forma de realización perfeccionada en cuanto a la técnica de regulación del dispositivo de amortiguación 20 se prevé un sensor de aceleración y/o vibración en la cabeza de la torre como transmisor de valores reales para un circuito de control de amortiguación, de modo que la fuerza de fricción de la unidad de fricción 26 pueda ser controlada y/o regulada dentro de límites predeterminables.

La figura 7 muestra una vista esquemática de una unidad de paso 14 en la pared de la torre 10 según la invención. La unidad de paso 14 comprende, en primer lugar, un elemento de absorción de fuerza 11 que, en el ejemplo de realización, se ha configurado en forma de anillo de carga o estribo de carga 17, por ejemplo, un "estribo de carga VLBG-PLUS" de la empresa RUD con un tornillo 27 y tuercas de seguridad 28. La unidad de paso 14 comprende, además, una placa 30 como contracojinete por la cara interior de la pared de la torre para la fuerza de tracción del cable de acero 12 o, más exactamente, del cable en espiral 12a. El cable en espiral 12a se conecta, mediante una horquilla fija 32 con un perno 33 a través de un anillo oval 19 y un eslabón de conexión separable de tres partes 18, al estribo de carga 17.

La figura 8 muestra una vista esquemática de un paso de cable de guía en la pared de la torre 10 con un paso de pared 15b. En el paso de pared superior 15b se inserta un casquillo 29, a través del cual pasa un cable de guía 16. Mediante el cable de guía 16, el cable de acero 12 o, más exactamente, el cable en espiral 12a es arrastrado hasta la altura requerida según la flecha doble o bajado desde la altura dada cuando el cable de acero 12 es desmontado, de modo que el tornillo 27 del estribo de carga 17 pueda ser insertado con seguridad en el paso de pared inferior 15a

5 previsto o retirado del mismo. En concreto, el cable de guía 16 se conecta inicialmente, a través de un grillete 31 y del anillo oval 19, a la cabeza de horquilla 32 del cable en espiral 12a. El estribo de carga 17 junto con el tornillo 27 y el eslabón de unión 18 están suspendidos del anillo oval 19 durante el proceso de elevación o descenso. En una variante del procedimiento, la unidad de paso 14, junto con el estribo de carga 17 y la placa 30, ya se han montado completamente en la sección de la torre horizontal 3a, 3b, 3c, 3d, 3e situada todavía en el lugar de montaje o en la planta del fabricante.

Lista de referencias

	1	Aerogenerador
10	2	Torre
	3a, 3b, 3c, 3d, 3e	Secciones de la torre
	4	Góndola
	5	Rotor
	6	Buje
15	8a, 8b	Palas de rotor
	9	Elementos de conexión
	9a	Brida anular
	11	Elemento de absorción de fuerza
	12	Cable de acero
20	12a	Cable en espiral
	12b	Cable de hilo redondo
	13	Conector de apriete
	14	Unidad de paso
	15a	Paso de pared inferior
25	15b	Paso de pared superior
	16	Cable de guía
	17	Anillo de carga o estribo de carga
	18	Eslabón de conexión
	19	Anillo oval
30	20	Dispositivo de amortiguación
	21	Aparato de amortiguación
	22	Bastidor de acero
	23	Unidad de desviación
	23a,23b	Elementos de desviación
35	24	Masa de lastre
	25	Palanca pivotante
	26	Unidad de fricción
	27	Tornillo
	29	Casquillo
40	30	Placa
	32	Cabeza de horquilla
	33	Perno
	TAP	Punto de parada de la torre

ES 2 874 182 T3

r	Distancia entre el eje del primer elemento de desviación (superior) 23a y el eje central 2a de la torre 2
α	Ángulo
β	Ángulo total de envoltura
β_1	Ángulo de envoltura del primer elemento de desviación 23a
5 β_2	Ángulo de envoltura del segundo elemento de desviación 23b
γ	Posición angular de la palanca pivotante 25

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la amortiguación de las vibraciones de una torre (2) de un aerogenerador (1) durante el montaje de la torre (2) y del aerogenerador (1), en el que la torre (2) comprende una pluralidad de secciones de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e) que presentan respectivamente un elemento de conexión inferior y otro superior (9), disponiéndose en una sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e), como mínimo, al menos un elemento de absorción de fuerza (11), preferiblemente dos, con especial preferencia cuatro elementos de absorción de fuerza (11) adyacentes al elemento de conexión superior (9), con los pasos de:
- a) construcción de una torre (2) con una pluralidad de secciones de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e),
 - b) fijación de un primer extremo de un primer cable de acero (12), concretamente un cable en espiral (12a), en el primer elemento de absorción de fuerza (11) de una sección de torre predeterminada (3a, 3b, 3c, 3d, 3e),
 - c) conexión del segundo extremo del primer cable de acero (12) a un extremo de un segundo cable de acero (12), concretamente un cable de hilo redondo (12b),
 - d) conducción del segundo cable de acero (12) a través de una unidad de desviación (23) de un primer aparato de amortiguación (21) con al menos un elemento de desviación (23a, 23b) posicionándose el aparato de amortiguación (21) en una superficie del terreno fuera de la torre (2) y a distancia de la torre (2), y
 - e) conexión del otro extremo del segundo cable de acero (12) a una masa de lastre (24) del primer aparato de amortiguación (21).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, con el paso adicional de alinear y/o montar, antes de la fijación del primer extremo del primer cable de acero (12) el elemento de absorción de fuerza (11) en la sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e) de forma sustancialmente transversal a una dirección principal del viento.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, con el paso adicional de disponer o montar un segundo elemento de absorción de fuerza (11) en la sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e) de manera que esté desplazado unos 90° en el perímetro de la sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e) con respecto a la posición del primer elemento de absorción de fuerza (11).
4. Procedimiento según la reivindicación 3 con los pasos adicionales de:
- k) fijación de un primer extremo de un tercer cable de acero (12), en particular un cable en espiral (12a), al segundo elemento de absorción de fuerza (11) de la sección de torre o de la otra sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e),
 - l) conexión del segundo extremo del tercer cable de acero (12) a un extremo de un cuarto cable de acero (12), preferiblemente un cable de hilo redondo (12b),
 - m) conducción del cuarto cable de acero (12) a través de una unidad de desviación (23) de un segundo aparato de amortiguación (21) con al menos un elemento de desviación (23a, 23b),
 - n) conexión del otro extremo del cuarto cable de acero (12) a una masa de lastre (24) del segundo aparato de amortiguación (21).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, con el paso adicional de: Posicionamiento del primer aparato de amortiguación (21) distanciado radialmente de la torre (2) de forma que el ángulo del cable de acero (12) con respecto a un plano horizontal del aparato de amortiguación (21) sea de 30° a 80°.
6. Procedimiento según la reivindicación 4 con el paso adicional de: Posicionamiento del segundo aparato de amortiguación (21), respecto al eje central (2a) de la torre (2), de forma desplazada en unos 90° con respecto al primer aparato de amortiguación (21) y distanciada radialmente de la torre (2) de manera que el ángulo del tercer cable de acero (12) con respecto a un plano horizontal en el aparato de amortiguación (21) sea de 30° a 80°.
7. Procedimiento según la reivindicación 4 con el paso adicional de: ajuste del primer y/o segundo aparato de amortiguación (21) a un valor de amortiguación predeterminado mediante la modificación de la posición del al menos un elemento de desviación (23a, 23b) de modo que se reduzca o aumente un ángulo de envoltura global β (beta) y, por lo tanto, la resistencia a la fricción, o mediante la modificación de la posición de un primer elemento de desviación (23a) y/o de un segundo elemento de desviación (23b) de manera que se reduzca o aumente la distancia entre el primer elemento de desviación (23a) y el segundo elemento de desviación (23b) y, por consiguiente, el ángulo total de envoltura β (beta) del cable de acero (12) y, por lo tanto, la resistencia a la fricción, o bien mediante la modificación de la posición angular de una palanca pivotante (25) del aparato de amortiguación (21), conectada funcionalmente a una unidad de fricción regulable (26) del aparato de amortiguación (21).
8. Dispositivo de amortiguación (20) para llevar a cabo el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 para una torre (2) de un aerogenerador (1) con una pluralidad de secciones de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e), que comprende un aparato de amortiguación (21) provisto de un bastidor (22) en el que se apoyan la unidad de desviación (23) y una masa de lastre (24), pudiéndose posicionar el aparato de amortiguación (21) en una superficie de terreno fuera de la torre (2) y a distancia de la torre (2), y que comprende un cable de acero (12) que se guía a través de la unidad de desviación (23) y está conectado, por una parte, a la masa de lastre (24) y, por otra parte, a al menos un

- 5 elemento de absorción de fuerza (11) de al menos una sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e), presentando la unidad de desviación (23) al menos un primer elemento de desviación (23a, 23b), siendo posible cambiar la longitud del al menos un elemento de desviación (23a, 23b) para ajustar la amortiguación, y presentando el cable de acero (12) una primera sección en forma de cable en espiral (12a) fijada en el elemento de absorción de fuerza (11) de la sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d, 3e), y una segunda sección en forma de cable de hilo redondo (12b) guiada a través de la unidad de desviación (23) y conectada a la masa de lastre (24) del aparato de amortiguación (21), uniéndose entre sí el cable en espiral (12a) y el cable de hilo redondo (12b), preferiblemente de forma desmontable, por medio de un conector de apriete (13).
- 10 9. Dispositivo de amortiguación (20) según la reivindicación 8, caracterizado por que el cable en espiral (12a) presenta, en su extremo alejado del conector de apriete (13), un elemento de tope conectado al elemento de absorción de fuerza (11) de la sección de torre (3a, 3b, 3c, 3d).
- 15 10. Dispositivo de amortiguación (20) según una de las reivindicaciones 8 a 9, caracterizado por que el cable de hilo redondo (12b) presenta, en su extremo alejado del conector de apriete (13), un elemento de tope conectado a la masa de lastre (24).
- 20 11. Dispositivo de amortiguación (20) según una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado por que el dispositivo de amortiguación (20) presenta un segundo elemento de desviación (23b), apoyándose al menos un elemento de desviación (23a, 23b) de forma desplazable en al menos un plano, preferiblemente en dos planos, por lo que un ángulo de envoltura global β (beta) para el cable de acero (12) se puede ajustar preferiblemente en el rango de 10° a 240°.
- 25 12. Dispositivo de amortiguación (20) según la reivindicación 11, caracterizado por que el cable de hilo redondo (12b) se puede conducir o se conduce a través de los primeros elementos de desviación (23a) y de los segundos elementos de desviación (23b), presentando los elementos de desviación (23a, 23b), al menos parcialmente, una superficie convexa de un material que, en combinación con un cable de acero, presenta un coeficiente de fricción superior a 0,3, preferentemente superior a 0,4.
- 30 13. Dispositivo de amortiguación (20) según la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que el primer y/o el segundo elemento de desviación (23a, 23b) se configuran como viga de desviación o polea de desviación frenable.

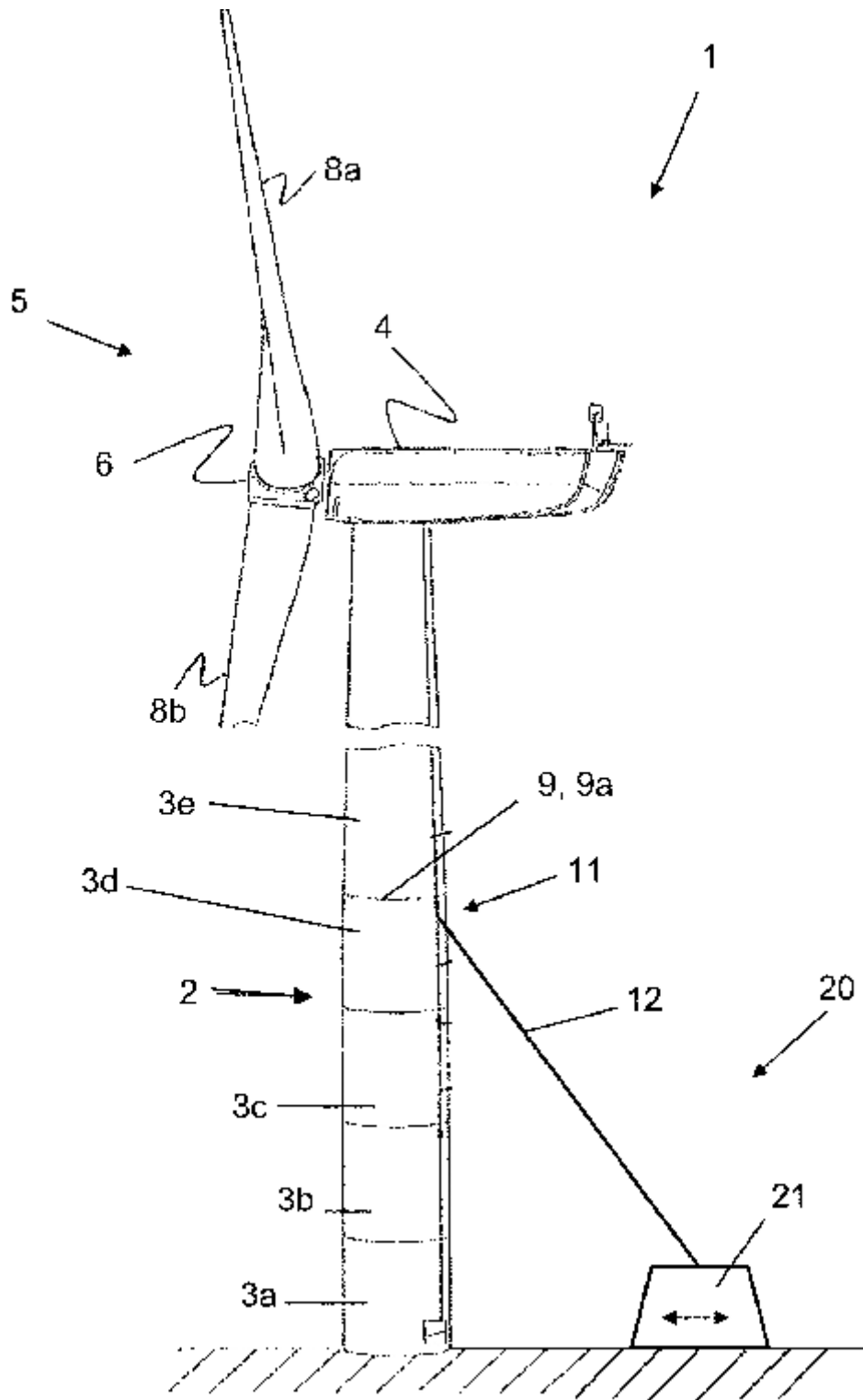


Figura 1

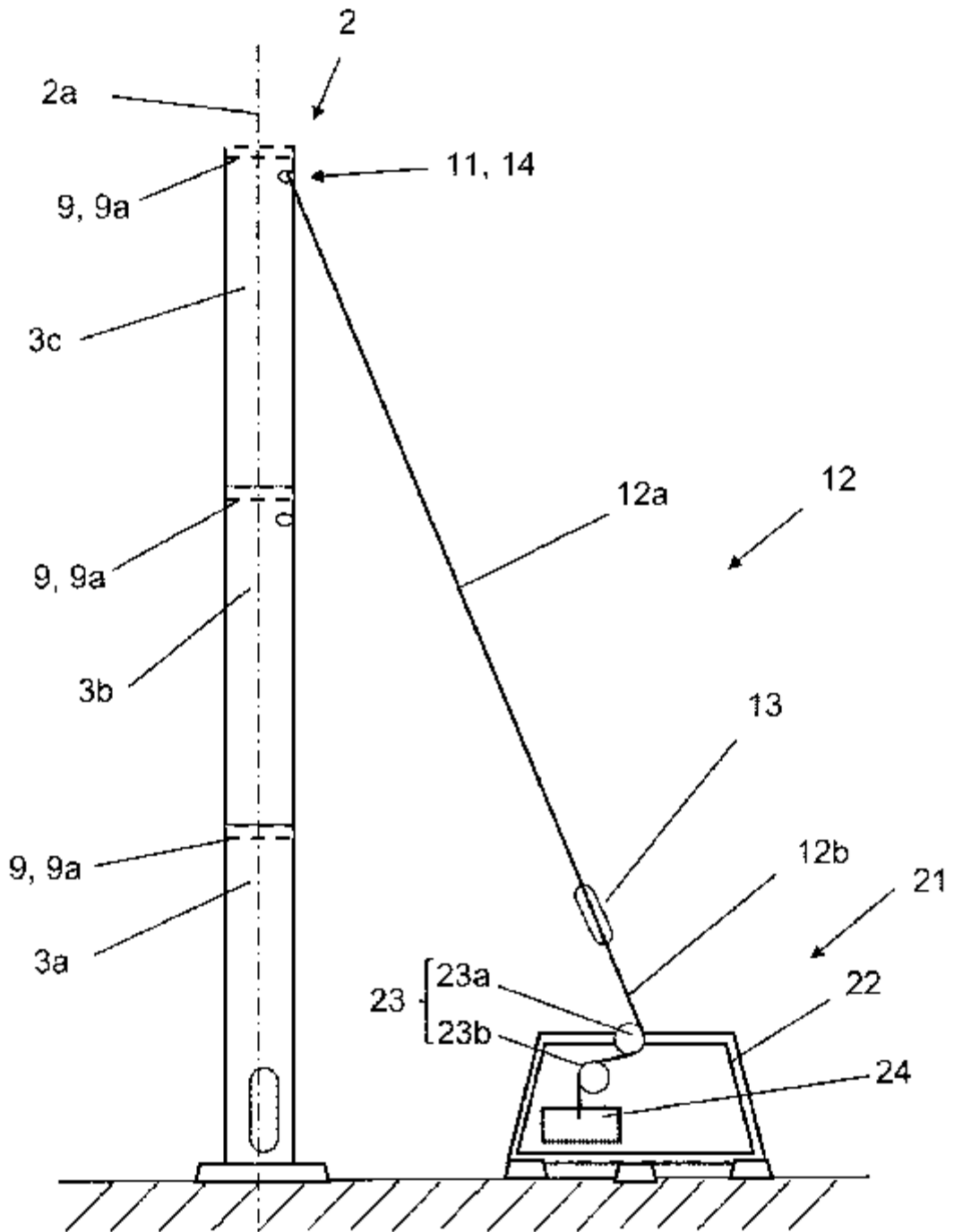
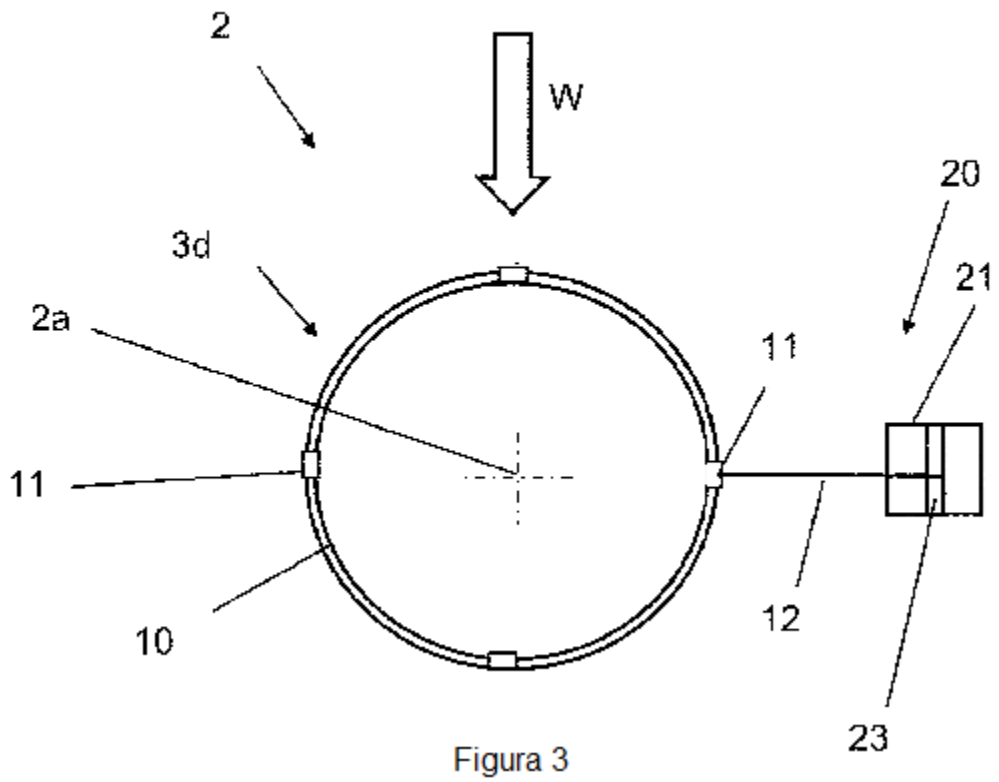
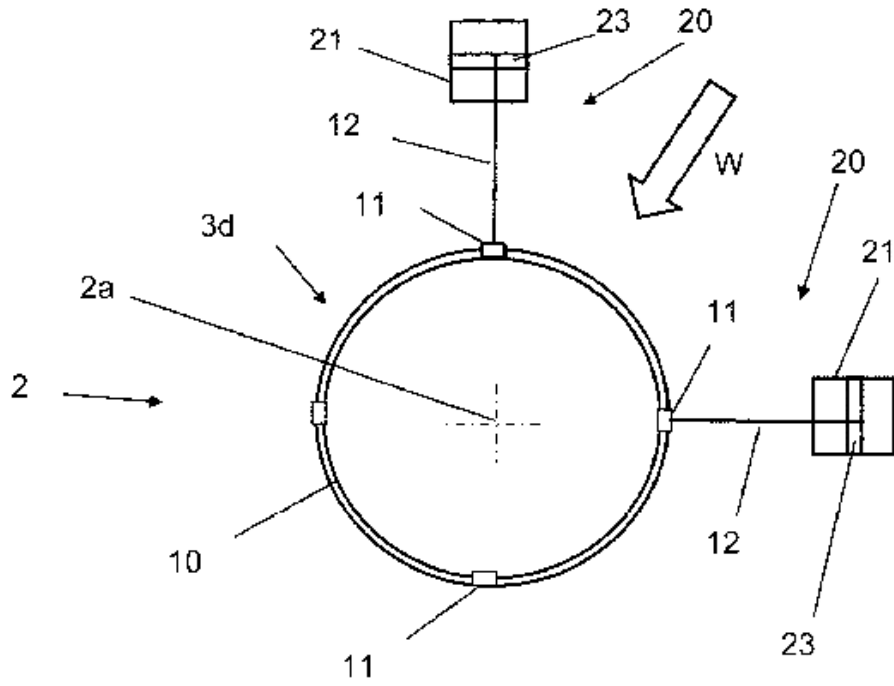


Figura 2





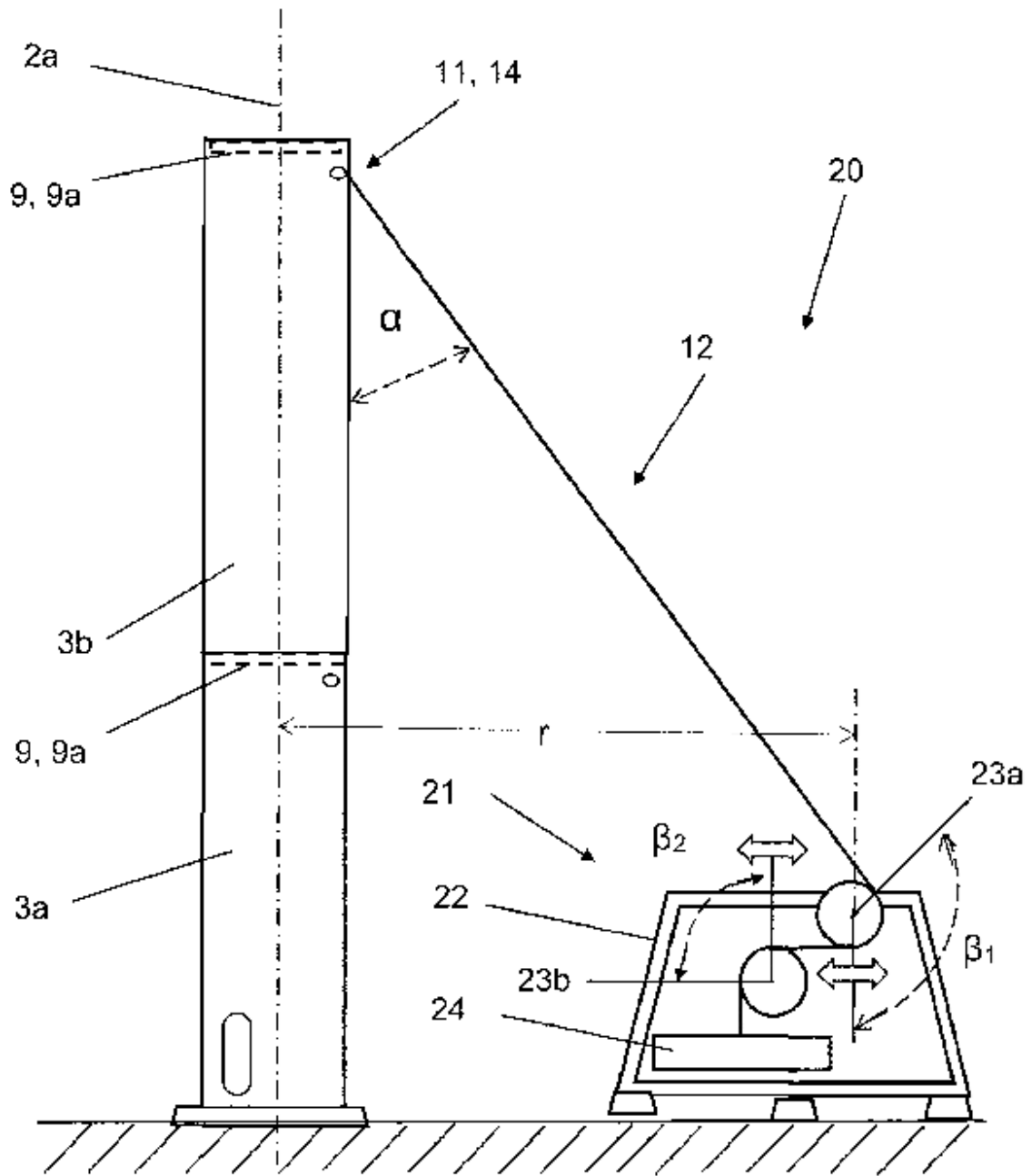


Figura 5.

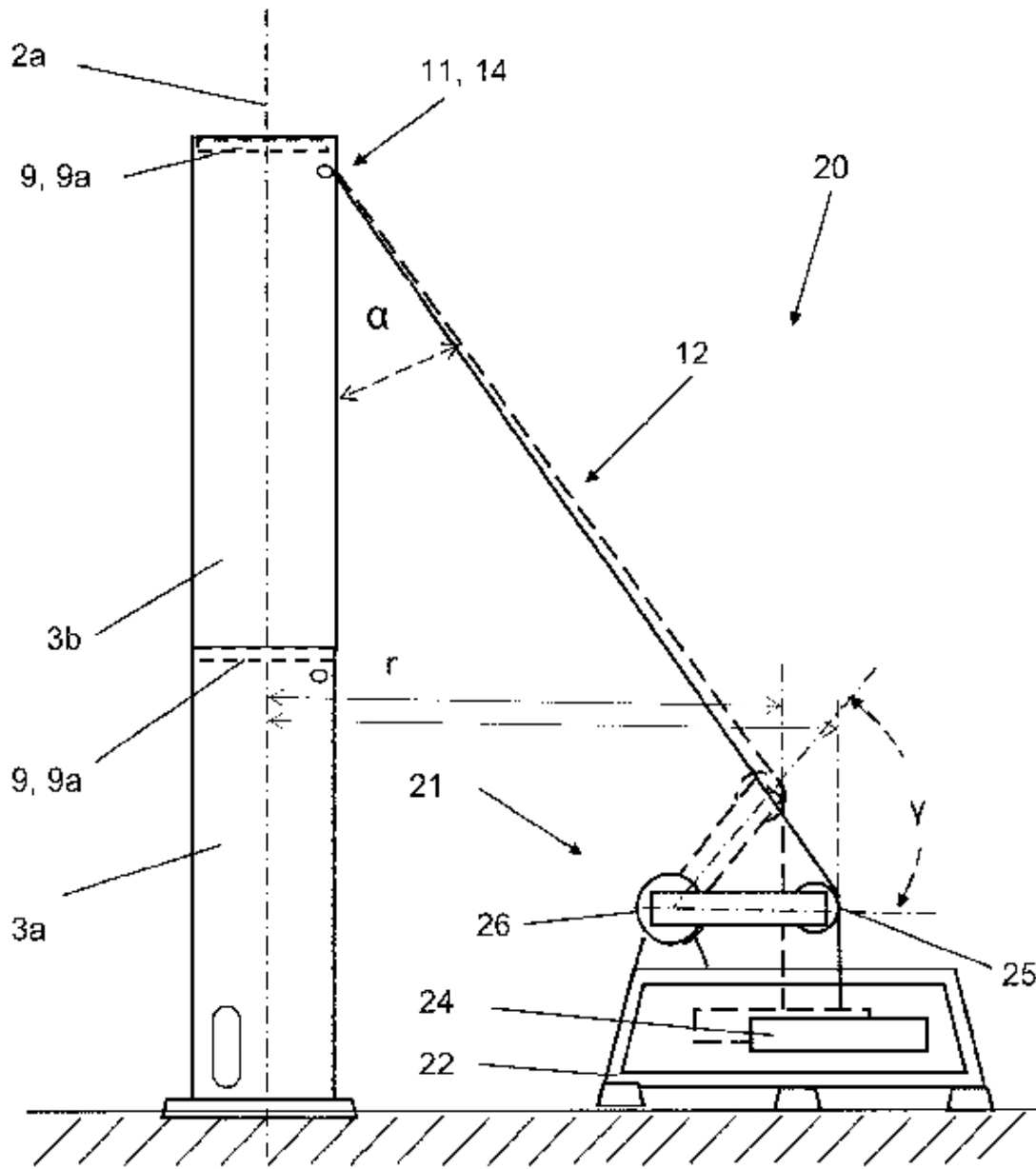


Figura 6

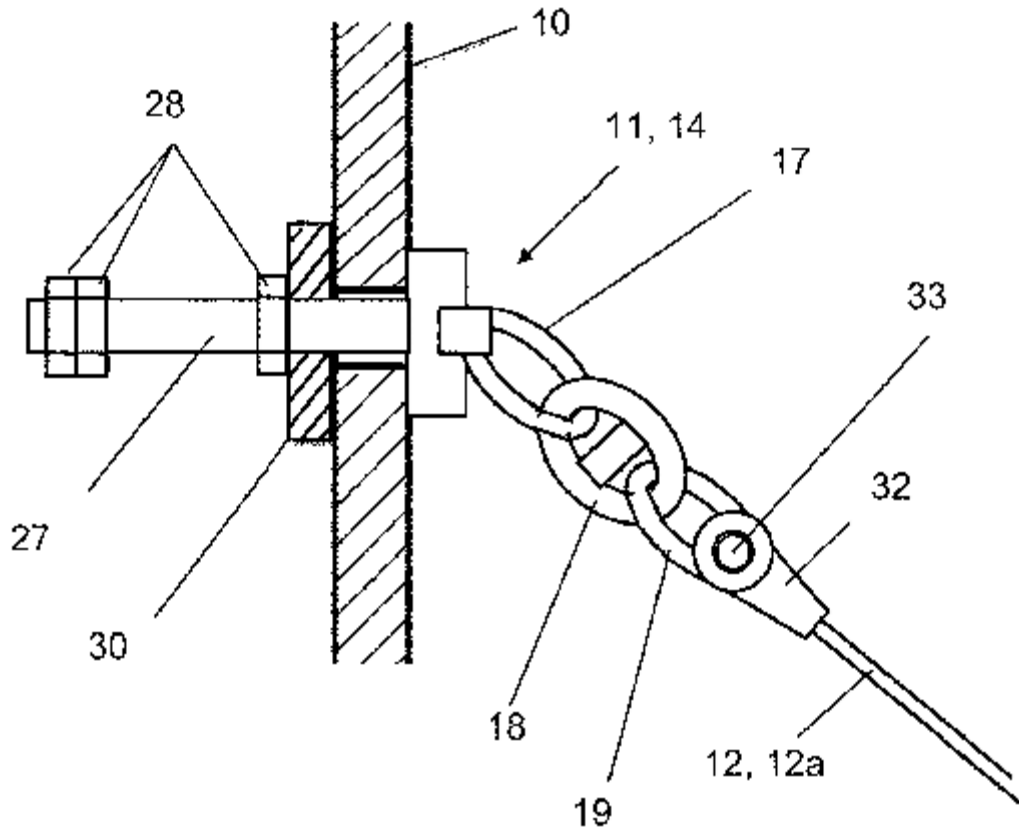


Figura 7

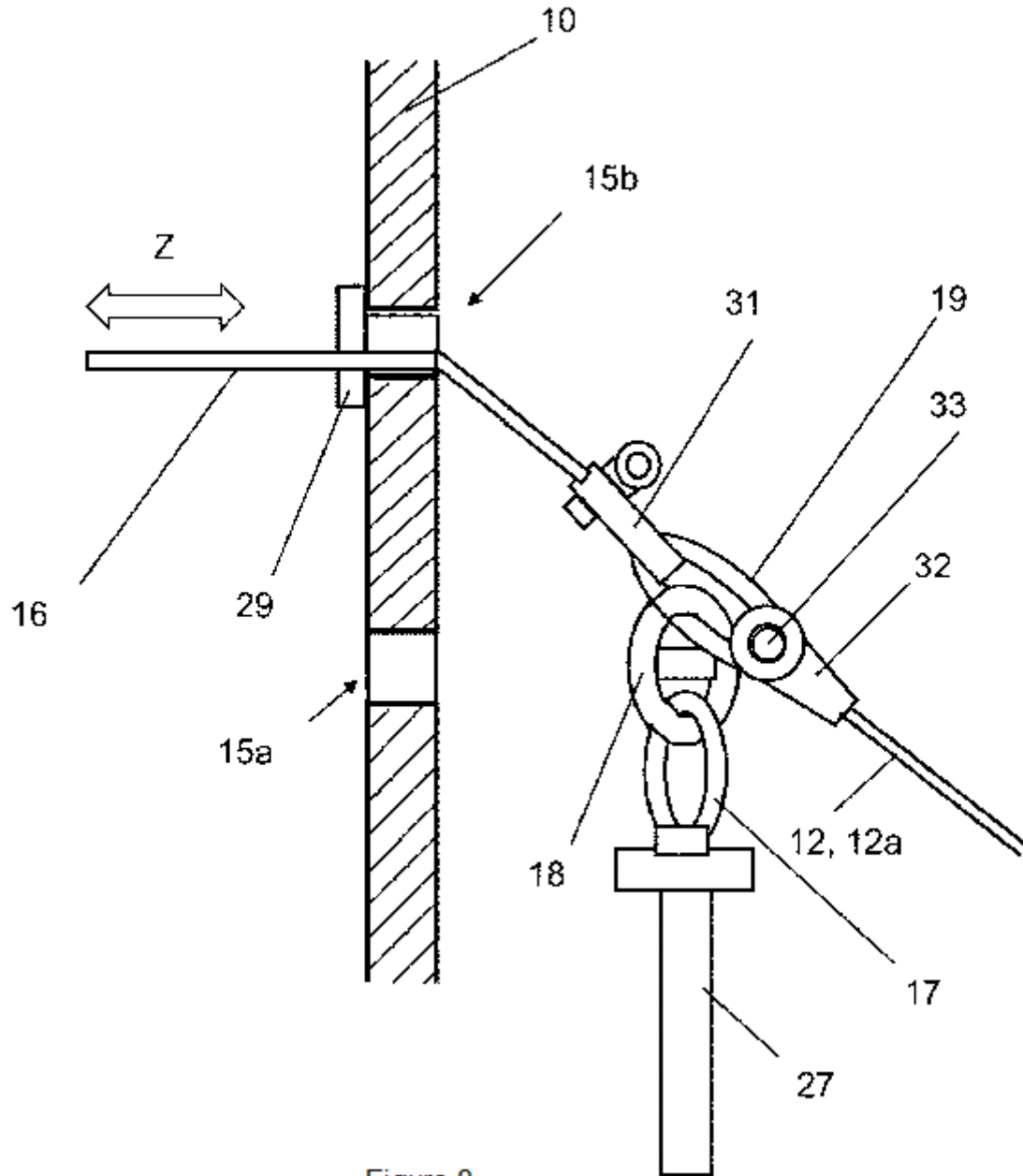


Figura 8