

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 607 754**

51 Int. Cl.:

**G01M 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2013** **E 13195114 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016** **EP 2741068**

54 Título: **Banco de ensayo para una pala de rotor, disposición con un banco de ensayo y procedimiento para operar un banco de ensayo de este tipo**

30 Prioridad:

**05.12.2012 DE 102012111838**

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

**03.04.2017**

73 Titular/es:

**INDUSTRIEANLAGEN-  
BETRIEBSGESELLSCHAFT MBH (100.0%)  
Einsteinstrasse 20  
85521 Ottobrunn, DE**

72 Inventor/es:

**FRÖSCHL, JÜRGEN y  
KINSCHERF, SIMON**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 607 754 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**

Banco de ensayo para una pala de rotor, disposición con un banco de ensayo y procedimiento para operar un banco de ensayo de este tipo

5 El invento trata de un banco de ensayo para una pala de rotor, en particular una pala de rotor para una planta de energía eólica, de acuerdo con el término genérico de la reivindicación 1. Además, el invento trata de una disposición con un banco de ensayo de este tipo, de una pala de rotor y de un procedimiento para operar un banco de ensayo de este tipo. Un banco de ensayo del tipo mencionado se conoce por el documento WO 2008/145727 A1.

10 El banco de ensayo conocido comprende una cimentación sobre el suelo, o que se levanta desde el suelo, en la que se puede montar horizontalmente una pala de rotor. En concreto, la pala de rotor durante los ensayos se extiende principalmente en la dirección horizontal. El banco de ensayo conocido sirve para hacer oscilar la pala de rotor para poder simular las cargas cíclicas que actúan sobre la pala de rotor. Para este propósito está prevista una unidad de estimulación en la forma de un cilindro hidráulico, que está fijado al suelo, y a través de un brazo de palanca se aplica una fuerza de estimulación sobre la pala de rotor. Frente a las unidades de estimulación conocidas con anterioridad que se han montado en la pala del rotor y que han guiado las oscilaciones a través de masas excéntricas giratorias, se reducirá la masa oscilante por medio de la unidad de estimulación fijada al suelo. Esto tiene como resultado que se pueden obtener oscilaciones que tienen una frecuencia cercana a la frecuencia natural de la pala de rotor de funcionamiento libre. En general por lo tanto, el banco de ensayo conocido debe reducir el tiempo de ensayo.

15 Dado que la masa oscilante no se puede reducir arbitrariamente, tampoco se puede incrementar la frecuencia natural por encima de la frecuencia natural de la pala de rotor de funcionamiento libre. Incluso bajo condiciones de ensayo en las que casi se consigue la frecuencia natural de la pala del rotor de funcionamiento libre, se debe calcular un periodo de varias semanas o meses para un funcionamiento de prueba.

20 El documento WO 2009/112796 A1 describe una disposición de ensayo oscilante para palas de rotor de una turbina de gas. Un dispositivo de aislamiento equipado con muelles se coloca en una pala de rotor unida fijamente en su extremo para inhibir modos de oscilación.

25 El documento EP 2 336 744 A1 trata de un dispositivo de ensayo para las palas de rotor de un helicóptero, que presenta al menos un carril de guía en la proximidad de la pala de rotor y al menos un rodamiento fijado en la pala de rotor. Una fuerza actúa sobre la pala de rotor a través del cojinete con el fin de simular la fuerza centrífuga sobre la pala de rotor.

30 El documento WO 2010 / 000711 A2 da a conocer un banco de ensayo para palas de rotor de una planta de energía eólica que comprende un aparato para sujetar un extremo de la pala de rotor, que presenta un dispositivo de carga que se extiende desde el dispositivo de sujeción, así como un dispositivo de estimulación.

35 El documento WO 2011 / 091081 A1 describe un sistema de ensayo estructural para palas de turbinas eólicas con un banco de ensayo, que soporta una parte de la pala de turbina eólica.

40 El documento WO 2008 / 145727 A1 trata de un banco de ensayo de fatiga para palas de turbinas eólicas, que por medio de una fuerza de retroalimentación controlada determina una frecuencia de estimulación óptima de las palas de la turbina eólica.

45 El objeto del invento es proporcionar un banco de ensayo para una pala de rotor, en particular, una pala de rotor para una planta de energía eólica que permita la reducción de los periodos de ensayo. Además, el objeto del invento es proporcionar una disposición con un banco de ensayo de este tipo y un procedimiento para operar un banco de ensayo de este tipo.

50 Según el invento esta tarea en relación con el banco de ensayo se soluciona mediante el objeto de la reivindicación de patente 1, en relación con la disposición por medio del objeto de la reivindicación de patente 12 y con respecto al procedimiento, mediante el objeto de la reivindicación de patente 13.

55 El invento se basa en la idea de proporcionar un banco de ensayo para una pala de rotor de una planta de energía eólica, pudiéndose fijar un extremo axial de la pala de rotor a una estructura de soporte del banco de ensayo. El banco de ensayo presenta al menos una unidad de estimulación que se puede conectar a la pala de rotor para estimular una oscilación de la pala de rotor. Al menos un elemento elástico del banco de ensayo está conectado en funcionamiento de ensayo entre un punto de articulación fijo y la pala de rotor, fijado en el punto de articulación fijo y conectable a la pala de rotor para el funcionamiento de ensayo, de tal modo que la pala de rotor para influir en el comportamiento de oscilación mediante el elemento elástico puede someterse a las fuerzas elásticas. La dirección de

60

fuerza de la fuerza del muelle presenta al menos un componente que es paralelo a una dirección principal de carga de la pala de rotor. La dirección de la carga principal puede ser vertical, en particular perpendicular a la dirección de extensión de la pala de rotor. En general, puede estar previsto que la dirección de fuerza de la fuerza elástica comprenda al menos un componente que durante el ensayo tenga un recorrido perpendicular a la pala de rotor.

5 El punto de articulación en el banco de ensayo según el invento es fijo durante el funcionamiento de ensayo, en particular sólo durante el funcionamiento de ensayo. Entre cada ciclo de ensayo el punto de articulación puede ser variable. En otras palabras, el punto de articulación se puede desplazar o mover, si el banco de ensayo no está en funcionamiento. Durante el funcionamiento, el punto de articulación se mantiene fijo, en particular, para aplicar una  
10 carga repetible homogéneamente sobre el cuerpo de ensayo.

15 En el banco de ensayo de acuerdo con el invento, el elemento elástico conectado entre el punto de articulación fijo y la pala de rotor permite un aumento en la rigidez de todo el sistema, lo que conduce a un aumento de la frecuencia natural. De este modo pueden lograrse frecuencias naturales que se encuentran por encima de la frecuencia natural de la pala del rotor de funcionamiento libre. Por lo tanto, el tiempo de ensayo puede reducirse significativamente.

20 La estructura de soporte del banco de ensayo permite un montaje de un solo lado de la pala del rotor que se extiende alejándose de la estructura de soporte, como una viga en voladizo. En este caso, un extremo axial de la pala de rotor, por ejemplo la raíz de la pala está firmemente montada en la estructura de soporte. El otro extremo axial, por ejemplo, la punta de la pala, está dispuesta de manera libre, de modo que la pala de rotor puede oscilar a lo largo de su longitud axial, es decir, a lo largo de su extensión. La conexión de la pala de rotor a la estructura de soporte se lleva a cabo de una manera conocida, de modo que las fuerzas y momentos que se producen en el funcionamiento de ensayo se reciben de la estructura de soporte.

25 La estructura de soporte puede ser una cimentación que se levante desde el suelo, por ejemplo una cimentación de hormigón que está dimensionada y diseñada de una manera convencional para admitir las fuerzas y momentos que se producen. Tales cimentaciones son comunes para las palas de rotor grandes. Otras estructuras de soporte son posibles, por ejemplo cuando se ensayan palas de rotor más pequeñas o componentes similares a las palas de rotor.  
30

La orientación de la pala de rotor montada depende de la orientación de la estructura de soporte. Es conveniente que se oriente la estructura de soporte de tal modo que la pala de rotor sea sustancialmente paralela a una superficie de conducción de la carga en la que está previsto el punto de articulación fijo del elemento elástico o bien los puntos de articulación fijos de los elementos elásticos. Esto facilita el procedimiento de montaje.  
35

Típicamente, la estructura de soporte fijada a la pala de rotor se extiende esencialmente horizontal o, en general, suspendida libremente por encima del suelo del banco de ensayo, que en este caso conforma la superficie de conducción de carga para el elemento elástico / elementos elásticos. La estructura de soporte, en concreto la superficie de la estructura de soporte en la que está dispuesto el elemento de unión para la pala, se extiende preferentemente verticalmente. El invento no se limita a esta orientación de la pala del rotor mediante la estructura de soporte. Otra orientación de la pala de rotor es posible. Por ejemplo, la estructura de soporte puede estar inclinada.  
40

45 El elemento elástico está previsto para actuar sobre la pala de rotor para influir en su comportamiento de oscilación mediante una fuerza elástica. Para este propósito, el elemento elástico está fijado por un lado al punto de articulación estacionario y por otro lado se puede conectar a la pala de rotor para el funcionamiento de ensayo. Por lo tanto, el elemento elástico está conectado durante el funcionamiento de ensayo entre la pala de rotor y el punto de articulación. A través del punto de articulación se apoya el elemento elástico. La conexión entre el elemento elástico y el punto de articulación puede ser articulada en una variante preferente.  
50

La fuerza elástica es generada por el desplazamiento oscilante de la pala de rotor durante el funcionamiento de ensayo y contrarresta como una fuerza de recuperación del movimiento de desviación de la pala de rotor. De este modo se incrementa la rigidez de todo el sistema.

55 La dirección de fuerza de la fuerza elástica generada por el elemento elástico presenta al menos un componente que se extiende perpendicular a la pala de rotor, en particular verticalmente. Por tanto, la dirección de la fuerza puede ser oblicua o perpendicular a la pala de rotor con el fin de influir en el comportamiento de oscilación de la pala de rotor.

60 En general, el banco de ensayo puede presentar más de un elemento elástico, particularmente 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 o más de 20 elementos elásticos. El número de elementos elásticos depende de la longitud de la pala del rotor respectivo y del ajuste del sistema. Se ha demostrado que un número de 2 a 6, especialmente de 3 a 5 y preferentemente 3 elementos elásticos, en el que cada uno por separado es

conectable a la pala de rotor y por separado respectivamente están conectados a puntos separados de articulación, es suficiente para cumplir buenas condiciones de ensayo. Los elementos elásticos están dispuestos preferentemente a diferentes distancias de la cimentación. Las distancias entre los elementos elásticos pueden ser regulares. Además, puede estar previsto que a lo largo de la extensión (dirección de la extensión) de la pala del rotor o al aumentar la distancia desde la cimentación, varía el grado de rigidez elástica de los elementos elásticos. Específicamente, se ha encontrado que es ventajoso cuando la rigidez elástica de los elementos elásticos disminuye al aumentar la distancia desde la cimentación. Los elementos elásticos dispuestos en la zona de la punta de pala de rotor presentan una menor rigidez elástica que los elementos elásticos que están dispuestos cerca de la cimentación, en particular cerca de la raíz de la pala del rotor. La rigidez elástica se puede elegir de manera que la curva de flexión de la pala de rotor libremente oscilante se pueda ajustar. En este sentido, diferentes curvas de flexión pueden ser simuladas. Esto se realiza mediante el ajuste de la rigidez de los elementos elásticos individuales. Al seleccionar diferentes grados de rigidez elástica a lo largo de la pala de rotor a probar, se pueden simular curvas de flexión. Esto mejora el realismo de los ensayos de resistencia.

En este contexto hay que señalar que en el marco de la solicitud no tienen que estar elaboradas directamente conexiones en general. Más bien, entre dos elementos interconectados puede estar previsto al menos otro elemento de enlace, por lo que la conexión también se produce indirectamente.

Se observa además, que en el contexto de la solicitud se da a conocer y se reivindica el banco de ensayo en sí mismo, es decir, sin una pala de rotor dispuesta en el mismo. Además, se da a conocer y se reivindica la disposición con un banco de ensayo de este tipo y una pala de rotor.

En un modelo de fabricación preferente del banco de ensayo de acuerdo con el invento está previsto al menos un soporte, que está conectado directamente a la pala de rotor y se conecta al elemento elástico. El soporte está diseñado principalmente para la conducción de carga o para la transferencia de carga a la pala de rotor. El soporte puede, por ejemplo, ser diseñado como tijera de carga, que rodea la pala de rotor. Preferentemente, las tijeras de carga tienen un perfil interior que se corresponde con el perfil de alas de la pala de rotor. El soporte o la tijera de carga se acoplan al elemento elástico. En otras palabras, el soporte conforma el elemento de conexión entre el elemento elástico y la pala de rotor. Por consiguiente, el elemento elástico está dispuesto entre el soporte y el punto de articulación en el suelo o es eficaz allí.

Entre el elemento elástico y el soporte puede estar dispuesto un componente multiplicador, por ejemplo en forma de una palanca o un polipasto. El componente multiplicador puede estar adaptado de tal manera que se puede transferir un recorrido de muelle del elemento elástico a un recorrido de amplitud del soporte. El recorrido de amplitud del soporte puede ser mayor que el recorrido elástico del elemento elástico. Con el aumento previsto de la frecuencia natural de acuerdo con el invento, durante el funcionamiento de ensayo se incrementa correspondientemente la velocidad de oscilación elástica. Al mismo tiempo se requieren recorridos elásticos grandes para alcanzar la deflexión de carga equitativa de la pala de rotor, en particular en la punta de la pala. Para hacer justicia a este campo de tensión es ventajoso, con el recorrido de muelle del elemento elástico, alcanzar una deflexión máxima posible de la pala de rotor, es decir, en lo posible un amplio recorrido de amplitud del soporte. Para ello sirve de manera favorable el componente multiplicador que en una configuración favorable está conformado como una palanca de dos caras o un polipasto. Cuando se utiliza una palanca de dos caras, el elemento elástico se acopla preferentemente a un brazo de palanca corto. El soporte puede estar conectado a un brazo de palanca largo o relativamente más largo.

El elemento elástico puede presentar un cilindro hidroneumático o estar conformado por un cilindro hidroneumático. El cilindro hidroneumático presenta propiedades elásticas. Las propiedades elásticas del cilindro hidroneumático son preferentemente variables. En particular, la rigidez elástica del cilindro hidroneumático que actúa como elemento elástico se puede ajustar fácilmente con el fin de lograr una curva de flexión pretendida predeterminada.

En otra configuración preferente se ha previsto que el elemento elástico esté conectado a por lo menos dos soportes. El soporte puede estar conectado directamente a la pala de rotor en diferentes puntos de conducción de carga. De esta manera, el número de elementos elásticos se puede reducir, por lo que el diseño estructural del banco de ensayo se simplifica.

Además, puede estar previsto que al menos 2, en particular 3, 4, 5, ó 6 elementos elásticos estén conectados a un único punto de articulación en el suelo. De esta manera, es posible que los elementos elásticos puedan estar dispuestos cerca de la pala de rotor. Al mismo tiempo, se reduce el número de puntos de acoplamiento, de modo que el diseño de la instalación del banco de ensayo se simplifica aún más.

En un modelo de fabricación particularmente preferente, en cada caso un único soporte está acoplado a través de un único elemento elástico a un único punto de articulación. En general, puede estar previsto que varios soportes estén dispuestos a lo largo de la pala de rotor. En este caso, cada soporte está conectado preferentemente a través

de un único muelle a un punto de articulación separado en el suelo. Este modelo de fabricación, en el que cada soporte tiene asignado un elemento elástico individual, se ha revelado como particularmente ventajoso para el aumento deseado de la frecuencia natural. En este tipo de construcción se logran las más altas frecuencias naturales y velocidades de ensayo, lo que reduce considerablemente el tiempo de ensayo.

Se ha demostrado por otra parte como ventajoso que el elemento elástico esté conectado directamente al soporte. Esto tiene la consecuencia de que, entre la pala de rotor y el elemento elástico, sólo el soporte contribuye al incremento de la masa oscilante. Así además, se reduce la masa oscilante para aumentar la rigidez en conjunto. En consecuencia, se pueden alcanzar mayores frecuencias naturales, por lo que la velocidad de ensayo se incrementa aún más o disminuye el tiempo para un proceso de ensayo.

El elemento elástico puede estar conectado al soporte y / o al punto de fijación, en particular al punto de articulación por medio de un elemento de tracción flexible, por ejemplo un cable o una cadena, o por medio de un elemento rígido de tracción o presión, por ejemplo una varilla de acoplamiento. En la variante, en la que el elemento elástico está conectado al soporte y / o al punto de fijación por medio de un elemento de tracción flexible, el elemento de tracción flexible puede estar sometido a una pre-tensión. Esto significa que, además de las cargas cíclicas se pueden transferir cargas estáticas a la pala de rotor por medio de oscilaciones estimuladas. De este modo se puede preconfigurar o ajustar la capa media de las curvas de flexión. También, con una elección adecuada de la pre-tensión, se puede simular la carga de impulso casi estática que actúa mediante el flujo de la pala de rotor en el funcionamiento real. De este modo, adicionalmente a la reducción del periodo de ensayo de la pala de rotor, es posible un ensayo de la pala de rotor, teniendo en cuenta las fuerzas que actúan durante el funcionamiento real.

Alternativamente, el elemento elástico puede estar conectado al soporte y / o al punto de fijación por medio de un elemento de presión /o tracción, por ejemplo una varilla de acoplamiento, que presenta una longitud o que su longitud es variable de tal modo que se puede aplicar una carga estática, en particular una pre-tensión a la pala de rotor. La elemento de presión / tracción permite la introducción de cargas en direcciones alternas. Específicamente, por medio del elemento de presión / tracción se puede conducir tanto un esfuerzo de tracción como un esfuerzo de presión a la pala de rotor. Básicamente, la estimulación de oscilación puede llevarse a cabo utilizando componentes de estimulación conocidos del estado de la técnica anterior. Por ejemplo, durante el funcionamiento de ensayos se pueden utilizar estimuladores desequilibrados montados en la pala de rotor para estimular la oscilación de la pala de rotor. Se prefiere un modelo de fabricación en el que la unidad de estimulación se desacopla de la pala de rotor de tal manera que la masa de la unidad de estimulación en sí no contribuye a la masa oscilante total. De este modo, la unidad de estimulación puede estar dispuesta entre, por ejemplo, el elemento elástico y el punto de articulación. En contraste con un estimulador desequilibrado montado en la pala de rotor, la unidad de estimulación se apoya sobre el punto de articulación en el suelo. La unidad de estimulación es eficaz o está dispuesto preferentemente en el sentido de un circuito en paralelo, paralelamente con respecto al elemento elástico.

Además, se puede proporcionar un elemento de carga que se fija en un punto de fijación estacionario, en particular un punto de articulación estacionario y se puede conectar a la pala de rotor para el funcionamiento de ensayo, de tal modo que la pala de rotor puede someterse a una fuerza de carga estática, cuya dirección de fuerza tiene al menos un componente que se extiende perpendicular a la pala de rotor. De esta manera se pueden simular las cargas estáticas que se producen durante el funcionamiento real, por ejemplo las fuerzas de impulso que se producen debido al flujo en sentido contrario de la pala de rotor.

Hay que señalar que un componente de fuerza vertical en el marco de la solicitud representa sólo una parte del vector de fuerza de actuación real. El vector de fuerza que actúa realmente también puede adoptar más bien una dirección que se diferencia de la vertical, pudiendo extenderse por ejemplo, de forma oblicua. A este respecto, el vector de fuerza se debe entender como el producto de un componente horizontal y un componente de fuerza vertical o de los correspondientes vectores de componente.

De acuerdo con un aspecto adicional independiente, el invento se basa en la idea de proporcionar una disposición con un banco de ensayo descrito anteriormente y una pala de rotor para una planta de energía eólica. En este caso la pala de rotor se fija a la cimentación y se conecta con el elemento elástico al punto de articulación.

Otro aspecto relacionado del invento se refiere a un procedimiento para el funcionamiento del banco de ensayo descrito anteriormente o de la disposición explicada anteriormente con el banco de ensayo y una pala de rotor. En el procedimiento se ajusta la rigidez elástica del elemento elástico de tal manera que se incrementa al menos una frecuencia natural, en particular la primera frecuencia natural de la pala de rotor o del segmento de pala de rotor. En el marco del procedimiento de funcionamiento descrito en este caso, está previsto, por lo tanto, seleccionar los elementos elásticos de manera que se incrementa la frecuencia natural. Un experto en la materia concuerda las rigideces elásticas o los elementos elásticos que tienen una rigidez elástica adecuada con la respectiva pala de rotor a probar, considerando la longitud, la geometría y la composición o la rigidez de la pala de rotor a probar.

El invento se explica con mayor detalle por medio de modelos de fabricación con referencia a los dibujos esquemáticos que se acompañan.

Se muestran en la:

- 5  
 figura 1, una vista lateral de un banco de ensayo de acuerdo con un modelo de fabricación preferente, estando en cada caso un elemento elástico conectado a múltiples soportes;  
 figura 2, una vista lateral de un banco de ensayo de acuerdo con un modelo de fabricación adicional preferente, estando los elementos elásticos en cada caso conectados directamente a los soportes;  
 10 figura 3, una vista lateral de un banco de ensayo de acuerdo con el invento según un modelo de fabricación preferente adicional, estando el elemento elástico conectado a un soporte a través de un elemento de tracción desviado;  
 figura 4, una vista lateral de un aparejo de carga para el banco de ensayo según el invento de acuerdo con un ejemplo de fabricación preferente;  
 15 figura 5, una vista lateral de un elemento elástico para un banco de ensayo según el invento de acuerdo con un modelo de fabricación preferente, estando el elemento elástico conectado a través de una varilla de acoplamiento a un punto de articulación en el suelo; y  
 figura 6, una vista lateral de un banco de ensayo de acuerdo con el invento según un modelo de fabricación preferente adicional, que está adaptado para el ensayo de un segmento de pala de rotor;  
 20 figura 7, una vista lateral de un banco de ensayo de acuerdo con el invento según un modelo de fabricación preferente, estando previstos elementos elásticos hidráulicos;  
 figura 8, un elemento elástico para el banco de ensayo de acuerdo con la figura 7;  
 figura 9, una vista lateral de una unidad de estimulación de otro banco de ensayo según el invento de acuerdo con un modelo de fabricación preferente, estando el elemento elástico hidráulico orientado horizontalmente; y  
 25 figura 10, una vista lateral de una unidad de estimulación de otro banco de ensayo de acuerdo el invento según un modelo de fabricación preferente con un polipasto para la conversión de recorrido.

Las figuras 1-3 explicadas con detalle a continuación muestran respectivamente una vista lateral de un banco de ensayo para una pala de rotor, que se utiliza en particular para el ensayo de oscilación de las palas del rotor. En particular, el banco de ensayo mostrado es apto para el ensayo de palas de rotor de las plantas de energía eólica. Para este propósito, el banco de ensayo presenta una cimentación 11 que se eleva desde un suelo 15 y se fija en el mismo suelo 15. La cimentación estable 11 presenta un dispositivo de sujeción no mostrado para la pala de rotor 10. La pala de rotor 10 está conectada o es conectable a una superficie lateral de la cimentación 11, en particular, de manera que la pala de rotor 10 se extienda de forma sustancialmente horizontal. Esto no excluye que la pala de rotor 10 se eleve, al menos en parte, desde la posición horizontal, por ejemplo debido a la forma geométrica de la pala de rotor 10. La pala de rotor 10 también puede estar inclinada hacia abajo, como resultado de su masa. En general, sin embargo, la pala de rotor 10 flota en forma de una viga en voladizo libre por encima del suelo 15.

40 Durante el proceso de ensayo, la pala de rotor 10 es estimula para que oscile con el fin de simular las cargas cíclicas que se producen en realidad. La estimulación de las oscilaciones se lleva a cabo preferentemente a través de una unidad de estimulación, que puede ser configurada, por ejemplo, como estimulador desequilibrado. El estimulador desequilibrado puede ser montado en la pala de rotor 10. Otros tipos de unidades de estimulación son también útiles en el marco del presente invento. En el modelo de fabricación de la figura 1 está previsto, por ejemplo, utilizar un actuador 12 como una unidad de estimulación, que está dispuesta o conectada en paralelo a un elemento elástico 13. El actuador 12 puede estar conformado como un motor lineal.

Con el fin de reducir el tiempo requerido para un procedimiento de ensayo, está previsto acoplar la pala del rotor 10 por medio de al menos un elemento elástico 13 al suelo 15. De este modo se incrementa la rigidez y al mismo tiempo también la frecuencia natural. Por lo tanto, se puede llevar a cabo un número predefinido de oscilaciones en un relativamente corto período de ensayo. La interposición del elemento elástico 13 entre la pala de rotor 10 y el suelo 15 se puede realizar de diferentes maneras.

En el ejemplo de fabricación según la figura 1 está previsto, por ejemplo, que la pala de rotor 10 esté conectada al elemento elástico 13 a través del aparejo de carga 20. Los aparejos de carga 20 pueden estar formados por estructuras de vigas mixtas. Específicamente, los aparejos de carga 20 están acoplados directamente a soportes 16 que abrazan la pala de rotor 10. Por motivos de visibilidad, los soportes 16 no se muestran en las figuras 1 y 2, pero en la figura 3 son claramente visibles. En el ejemplo de fabricación mostrado en la figura 1, están dispuestos en cada caso cuatro soportes 16 que están separados mutuamente a lo largo de la pala de rotor 10 y acoplados a través de un aparejo de carga multipiezas con el elemento elástico 13. El elemento elástico 13 está a su vez conectado a un punto de articulación 14 en el suelo 15, a través de un elemento de tracción flexible 17, en particular un cable, o un elemento rígido de presión / tracción 18, en particular una varilla de acoplamiento. Están previstos tres elementos elásticos 13 a lo largo de la pala del rotor 10 que interactúan con una pluralidad de soportes 16, concretamente 12 para influir en el comportamiento oscilante de la pala de rotor 10.

En el ejemplo de fabricación según la figura 2, está prevista una disposición alternativa de los elementos elásticos 13. En particular, los elementos elásticos 13 en el modelo de fabricación de la figura 2 están conectados o acoplados directamente a los soportes 16. Esto significa que los elementos elásticos 13 están dispuestos cerca de la pala de rotor 10. El aparejo de carga 20 conecta respectivamente dos elementos elásticos 13 con el punto de articulación 14 en el suelo 15. Además, entre el aparejo de carga 20 y el punto de articulación 14 puede estar previsto un elemento de carga 31. En este caso, un único elemento de carga 31 es suficiente para todo el banco de ensayo. Alternativamente, como se muestra en la figura 2, pueden estar previstos varios elementos de carga 31, que en cada caso están dispuestos entre un aparejo de carga 20 y un punto de articulación 14. Por medio del elemento o de los elementos de carga 31, se puede aplicar una pre-tensión sobre la pala de rotor 10. La pre-tensión se puede utilizar para definir una posición central de las curvas de flexión y / o para simular la fuerza de impulso estática que en el funcionamiento real actúa sobre la pala de rotor 10.

En el ejemplo de fabricación mostrado en la figura 2, en el que los elementos elásticos 13 están conectados directamente con los soportes 16, se consigue una alta frecuencia natural, por lo que el tiempo de ensayo puede reducirse significativamente. En contraste con el ejemplo de fabricación de la figura 1, en el que el aparejo de carga 20 también constituye una parte de la masa oscilante, comprende la masa oscilante según la figura 2 sólo la pala de rotor 10 en sí y el soporte 16. Además, en el sentido de que la rigidez se incrementa por los elementos elásticos 13, la reducción de la masa oscilante produce un incremento de la frecuencia natural y así se reduce el tiempo de ensayo.

La figura 3 muestra un ejemplo de fabricación del banco de ensayo, que se caracteriza por una construcción compacta. Por razones de claridad se muestra sólo un único elemento elástico 13 con una conexión adecuada entre el suelo 15 y la pala de rotor 10. De hecho, varios de estos elementos elásticos 13 pueden estar dispuestos a lo largo de la pala de rotor 10.

El elemento elástico 13 comprende un cilindro 24, en el que está guiado un pistón 23. Un muelle de compresión 13a se extiende entre el pistón 23 y una base del cilindro 24a. El pistón 23 presenta un vástago de pistón 23a que está acoplado a un elemento de tracción 17 o cable. El cable pasa por una polea de cable 22 que está conectada de manera fija al suelo 15. La conexión fija entre la polea de cable 22 y el suelo 15 forma el punto de articulación 14.

La polea de cable 22 también se puede utilizar para la pre-tensión estática del elemento de tracción 17 o cable y por lo tanto conforma adicionalmente un elemento de carga 31. De esta manera, la pala de rotor 10 completa puede estar expuesta durante el proceso de ensayo a una carga estática, pudiéndose simular por ejemplo, la fuerza de impulso que se produce durante el funcionamiento, por medio de diferentes pre-tensiones en diferentes soportes 16. Esto mejora una simulación o ensayo realista, en las que se superponen las cargas estáticas y cíclicas.

El cilindro 24 también está acoplado a un cable que es guiado sobre un rodillo de guía 19 hacia un soporte 16. El soporte 16 se puede conectar a una pala de rotor 10 o está conectado durante el procedimiento de ensayo a la pala de rotor 10. El elemento elástico 13 o bien el conjunto de muelles que comprende el muelle de compresión 13a, el cilindro 24 y el pistón 23 están dispuestos de forma sustancialmente horizontal entre la polea de cable 22 y el rodillo de guía 19. De esta manera se consigue que la cimentación 11 pueda tener una altura relativamente baja, sin afectar el recorrido elástico del elemento elástico 13.

La figura 6 muestra un ejemplo de fabricación del banco de ensayo según el invento que es básicamente similar al ejemplo de fabricación mostrado en la figura 1. En lugar de una pala de rotor completo 10, está fijado un segmento de pala del rotor 10c a la estructura de soporte 11. El segmento de pala del rotor 10c incluye una parte del ala de la pala de rotor así como la raíz de la pala de rotor 10a. A través de soportes 16, que no se muestran por razones de claridad en la figura 6, el segmento de rotor 10c está acoplado a aparejos de carga 20. Entre los aparejos de carga 20 y un respectivo punto de articulación 14 en el suelo 15, está dispuesto un elemento elástico 13 respectivamente.

En el muñón del ala 10d del segmento de pala de rotor 10c está fijado un brazo 21. El brazo 21 se extiende sustancialmente perpendicular al segmento de pala de rotor 10c y está conectado a un elemento de tracción flexible, en particular un cable. La conexión entre el brazo 21 y el elemento de tracción 17 o el cable, se efectúa indirectamente a través de un elemento elástico 13. El cable se engancha al brazo de palanca 21 bajo un ángulo. A través del cable se coloca no sólo un componente de fuerza vertical, sino también uno horizontal sobre el segmento de pala de rotor 10c. La carga que actúa sobre el segmento de la pala de rotor 10c que existiría si toda la pala de rotor 10 estuviera presente, puede ser simulada de este modo. Debido a la corta longitud y la correspondientemente reducción de la masa del segmento de la pala de rotor 10c en comparación con una pala de rotor completa 10, se incrementa al mismo tiempo la frecuencia natural. De esta manera, se puede simular en un segmento de pala de rotor 10c el ensayo de una pala de rotor completa 10, concretamente en un período de ensayo más corto que con métodos convencionales.

En el ejemplo de fabricación según la figura 3, el elemento elástico 13 está acoplado a un solo soporte 16. Alternativamente puede estar previsto que en cada caso estén conectados dos o más, en particular, tres o cuatro soportes 16, a través de un aparejo de carga de 20 a un único elemento elástico 13. Esto se muestra en la figura 3 en la zona de una punta de pala 10b de la pala de rotor 10.

5 En principio, pueden estar dispuestos a lo largo del rotor de pala 10 una pluralidad de soportes 16. Entre la raíz de la pala de rotor 10a y la punta de pala de rotor 10b están dispuestos soportes 16, preferentemente a intervalos regulares. Los soportes 16 están conectados a los elementos elásticos 13 o bien a los conjuntos elásticos, pudiendo respectivamente, un único soporte 16 estar acoplado a un único elemento elástico 13 o conjunto elástico.  
 10 Alternativamente, dos soportes 16 pueden estar conectados a un elemento elástico individual 13, por ejemplo por medio de un aparejo de carga 20. Además, se puede prever que un solo soporte esté conectado a un único elemento elástico 13, estando varios elementos elásticos 13 conectados a un único punto de articulación 14. En este caso, las diferentes combinaciones de soportes 16 y elementos elásticos 13 están agrupadas mediante un aparejo /  
 15 presión 18, o bien a través de una varilla de acoplamiento o de un elemento de tracción flexible 17, o bien un cable.

Con el fin reproducir la curva de flexión de la pala de rotor 10 que se presenta durante el funcionamiento real, se ha demostrado también que es ventajoso si los elementos elásticos 13, que están dispuestos a lo largo de la pala de rotor 10, presentan respectivamente una menor rigidez elástica al aumentar la distancia desde la cimentación 11. En  
 20 general, los elementos elásticos 13, por tanto, pueden comprender diferentes rigideces elásticas. El elemento elástico 13, que está más próximo a la punta de la pala de rotor 10b, tiene preferentemente el índice de rigidez más bajo. Por otra parte, el elemento elástico que está más cerca de la raíz de la pala de rotor 10a, presenta preferentemente la rigidez elástica más alta.

La figura 4 muestra un ejemplo de un aparejo de carga 20 que está acoplado directamente a dos soportes 16. El soporte 16 incluye un estribo 25, que es sustancialmente rígido y abraza la pala de rotor 10. Entre el estribo 25 y la  
 25 pala de rotor 10, el soporte 16 comprende elementos de amortiguación 26 que previenen daños en la pala de rotor 10. Los elementos de amortiguación 26 pueden estar diseñados, por ejemplo como amortiguadores de goma.

El aparejo de carga 20 está conectado directamente a los dos soportes 16, en particular a través articulaciones rotativas 28. Por otra parte, el aparejo de carga 20 presenta un travesaño 27 que conecta los dos soportes 16. Por un lado, el travesaño 27 está acoplado directamente a uno de los soportes 16 a través de la articulación rotativa 28. Enfrente se encuentra dispuesta una barra de equilibrio 29 entre el travesaño 27 y el soporte 16, que está conectada  
 30 tanto con el soporte 16, como también con el travesaño 28 a través de una respectiva articulación rotativa 28. La barra de equilibrio 29 compensa las diferencias de ángulo entre los dos soportes 16, que pueden presentarse por la flexión de la pala de rotor 10 durante el proceso de oscilación. De este modo se evita que el travesaño rígido 27 interfiera o bloquee la flexión o la flexibilidad de la pala de rotor 10.  
 35

Además, en el centro del travesaño está dispuesto un punto de agarre 30 al que se pueden sujetar una varilla de acoplamiento o un cable. Por otra parte, el elemento elástico 13 también puede sujetarse directamente en este punto de agarre 30.  
 40

La figura 5 muestra un elemento elástico 13 dispuesto entre la pala de rotor 10 y el suelo 15, llevándose a cabo la conexión entre el elemento elástico 13 y el punto de articulación 14 en el suelo 15 por medio de un elemento de presión / tracción 18, o por medio de una varilla de acoplamiento. La varilla de acoplamiento puede ser parte de un dispositivo telescópico que es activamente operable para estimular la oscilación de la pala de rotor 10. Alternativamente, el dispositivo telescópico también puede ser bloqueable con el fin de bloquear la varilla de acoplamiento en la longitud correcta en función de cada pala de rotor 10 a probar, o para aplicar una fuerza de carga estática. El elemento elástico 13 comprende un muelle de compresión 13a que está dispuesto en un cilindro 24 y soporta un pistón 23. Generalmente, el elemento elástico 13 está construido de manera similar al elemento elástico  
 45 dispuesto horizontalmente 13 de acuerdo con la figura 3. El elemento elástico 13 se acopla directamente a través de una articulación rotativa 28 al soporte 16. El soporte 16 abraza la pala de rotor 10.  
 50

En general, el elemento elástico 13 puede presentar un muelle de compresión 13a, en particular un muelle helicoidal de compresión. Otros elementos elásticos 13 también son concebibles. Los elementos elásticos 13 generan por un lado, un aumento en la rigidez, de manera que se aumenta la frecuencia natural. Por otro lado, el uso de elementos elásticos 13 cuando se colocan directamente en los soportes 16, conduce a una reducción de la masa oscilante, que también contribuye a aumentar la frecuencia natural.  
 55

El banco de ensayo es adecuado para todos los tipos de palas de rotor 10 o elementos similares, en forma de ala o componentes generalmente alargados, flexibles a la flexión. Por ejemplo, con el banco de ensayo según el invento también se podrían someter a un ensayo de oscilación, componentes como alas de avión o superficies de soporte. Particularmente preferente es el uso del banco de ensayo para probar las palas de rotor para plantas de energía  
 60

eólica 10, en particular palas de rotor 10 de diferente longitud y estructura. El banco de ensayo se puede utilizar en general de forma flexible y comprende diferentes aparejos de carga 20 y soportes 16, que están adaptados para diferentes secciones de pala de rotor.

5 La figura 7 muestra otro ejemplo de fabricación del banco de ensayo. El banco de ensayo comprende una cimentación 11 que está dispuesta sobre el suelo 15. La cimentación 11 se extiende sustancialmente de forma vertical desde el suelo horizontal 15. La cimentación 11 presenta una posibilidad de sujeción para una pala de rotor 10. La pala de rotor 10 se extiende a partir de la cimentación 11 sustancialmente de forma horizontal y está alineada paralela al suelo 15. En tres puntos diferentes a lo largo de la pala de rotor 10, están conectados elementos elásticos 13 a la pala de rotor 10. En particular, a lo largo de la pala de rotor 10 están colocados soportes 16 espaciados entre sí, que están conectados a un elemento elástico 13 respectivamente. Los elementos elásticos 13 pueden comprender un cilindro hidráulico 32 respectivamente. Esto se tratará en detalle posteriormente.

15 Además, al menos uno, en particular dos elementos elásticos 13, pueden comprender un componente multiplicador, preferentemente en forma de una palanca de dos caras 37. Como se puede ver claramente en la figura 7, la palanca 37 está dispuesta en un bastidor 39 o montada de forma giratoria en el bastidor 39. La palanca 37 presenta un brazo de palanca corto 37a y un brazo de palanca largo 37b. El brazo de palanca corto 37a está conectado a un cilindro hidroneumático 32. El brazo de palanca largo 37b está acoplado por medio de una varilla de acoplamiento 40 al soporte 16 y la pala de rotor 10. Por medio de la palanca 37 se transfiere un relativamente pequeño recorrido elástico del elemento elástico 13 a un recorrido de amplitud relativamente grande. Por lo que pueden lograrse elevadas amplitudes con pequeños recorridos de muelle a grandes velocidades (frecuencia de ensayo).

20 A través de la longitud de la palanca, en particular, la longitud del brazo de palanca largo 37b, se puede utilizar el elemento elástico 13 en diferentes posiciones de la pala de rotor 10. El recorrido elástico de los elementos elásticos individuales 13 a lo largo de la pala de rotor 10 se puede mantener sustancialmente igual; al mismo tiempo se puede ajustar un recorrido realista de la curva de flexión (mayor deflexión o amplitud en la punta de la pala que en la raíz de la pala).

25 Las relaciones de palanca y por lo tanto las fuerzas y los recorridos también se pueden cambiar si es necesario en etapas o sin etapas. Además, la palanca 37 se puede aliviar con muelles, cintas de goma o elementos similares, por lo que la palanca 37 está equilibrada.

30 El elemento elástico 13 que actúa cerca de la raíz de la pala de rotor requiere un recorrido elástico relativamente pequeño para seguir la relativamente pequeña desviación de la pala de rotor oscilante 10. Por lo tanto, no es necesaria una palanca 37. Más bien, el cilindro hidroneumático 32 puede conectar el punto de articulación 14 directamente al soporte 16 en la pala de rotor 10. Esta configuración se ilustra en la siguiente figura 8.

35 Un elemento elástico 13 puede estar dispuesto entre la palanca 37 y el soporte 16 o la pala de rotor 10. Se prefiere cuando el elemento elástico 13 está dispuesto entre la palanca 37 y el suelo 15 o bien el punto de articulación 14 en el suelo 15. El elemento elástico 13 puede estar conformado por el cilindro hidroneumático 32.

40 El soporte 16 comprende un bastidor de metal 16a, en particular un bastidor de acero. El bastidor de metal puede estar dividido en dos partes, una parte superior y una parte inferior, pudiendo estar unidas o pudiéndose unir de forma desmontable entre sí. Además, el soporte 16 incluye un inserto de madera 16b que está dispuesto entre el bastidor de metal 16a y la pala de rotor 10. Por otra parte, entre el inserto de madera 16b y la pala de rotor puede estar dispuesta una placa de amortiguación 16c, en particular en forma de una placa de goma o de una esterilla de goma. El inserto 16b de madera se ajusta a la forma de la pala de rotor 10 al menos en su lado orientado hacia la pala de rotor 10.

45 El elemento elástico 13 en forma de un cilindro hidroneumático 32, en particular un cilindro sincrónico hidráulico montado hidrostáticamente, se muestra en detalle en la figura 8. El cilindro hidroneumático 32 incluye un pistón 23 que está montado de forma deslizante en una guía de pistón 23b. A través de la guía del pistón 23b se extiende un vástago de pistón 23a, que está conectado de forma fija al pistón 23. El vástago de pistón 23a se proyecta en ambos lados más allá del pistón 23. Por otra parte, el vástago de pistón 23a pasa a través de la guía de pistón 23b o bien del propio cilindro, que en ambos extremos axiales presenta cojinetes hidrostáticos 34. Estos sellan de forma estanca el cilindro o bien la guía de pistón 23b frente al medio ambiente. Además, los cojinetes hidrostáticos 34 incluyen cada uno un canal de conexión 35, que conecta fluidicamente el interior de la guía de pistón 23b con un acumulador de presión 33.

50 El vástago de pistón 23a presenta un extremo superior y un extremo inferior. El extremo inferior está dispuesto de forma deslizante libremente dentro de una extensión tubular hueca 36 del cilindro hidroneumático 32. La extensión tubular hueca 36 está unida articuladamente a un punto de articulación 14, particularmente acoplada de forma pivotante con un cojinete fijo al nivel del suelo. El punto de articulación 14 y el cojinete fijo se fijan preferentemente al

suelo 15. El extremo superior del vástago de pistón 23a está acoplado de forma articulada al soporte 16, que porta la pala de rotor 10 a probar. El acoplamiento articulado se efectúa mediante una articulación rotatoria 28.

El acumulador de presión 33 se divide en dos partes, presentando una parte neumática 33a y una parte hidráulica 33b. La parte neumática 33a está llenada preferentemente con un gas, en particular nitrógeno. La parte hidráulica 33b puede ser llenada con un aceite hidráulico que puede fluir a través de los conductos de conexión 35 desde la parte hidráulica 33b del acumulador de presión 33 hacia la guía de pistón 23b. Los acumuladores de presión 33 presentan respectivamente en la parte hidráulica 33b y en la parte neumática 33a un sensor de presión 33c, o bien un manómetro y una válvula 33d. A través de los sensores de presión 33c se puede monitorear la presión hidráulica o presión neumática en la parte hidráulica 33b o en la parte neumática 33a. El ajuste de las presiones y por lo tanto el ajuste de la rigidez elástica del cilindro hidroneumático 32 se realiza a través de las válvulas 33d. La parte hidráulica 33b y la parte neumática 33a están separadas una de otra de forma estanca a los fluidos, por ejemplo por medio de una membrana o un pistón. Específicamente, la guía de pistón 23b está dividida por el pistón 23 en un espacio superior y un espacio inferior. El espacio superior está conectado fluidicamente a un primer acumulador de presión 33 y el espacio inferior a un segundo acumulador de presión 33. A través de un intercambio de fluidos entre los acumuladores de presión 33, en particular sus partes hidráulicas 33b y la guía de pistón 23b, se puede incrementar o reducir la presión en la cámara superior o inferior de la guía de pistón 23b. Mediante la distribución correspondiente de presión entre la parte superior y la parte inferior, se puede ajustar la rigidez elástica del cilindro hidroneumático 32.

El cilindro hidráulico 32 posibilita favorablemente minimizar las fuerzas de fricción de modo que se produce sólo un calentamiento reducido. Además, el requerimiento de energía del cilindro hidroneumático 32, que actúa como un muelle pasivo, es bajo, ya que apenas se rellenará o evacuará aceite.

La propia fuerza elástica se produce debido a la compresión de un gas que se encuentra bajo presión inicial (generalmente nitrógeno) en la parte neumática 33a del acumulador de presión 33. El fluido hidráulico, en particular aceite, también puede estar bajo presión inicial para que durante la entrada o salida total del vástago de pistón 23a no se produzca una depresión. Como acumulador de presión 33, se puede utilizar cualquier otro depósito o recipiente de compensación. Convenientemente, el acumulador de presión 33 está diseñado de tal manera que resiste las cargas y genera una curva característica lineal. Acumuladores de presión 33 preferentes son acumuladores de vejiga, acumuladores de pistón y/o acumuladores de diafragma.

En lugar de almacenar gas, el acumulador de presión 33 o bien su parte neumática 33a también pueden estar adaptados para recibir un fluido hidráulico. Por tanto, el acumulador 33 puede ser diseñado como un depósito de gas comprimido o como un depósito de fluido presurizado. En el depósito de fluido presurizado, se podrá almacenar un fluido hidráulico compresible, por ejemplo aceite de silicona.

El muelle hidroneumático que se muestra en la figura 8 puede estar acoplado con un sistema de control y seguimiento, asegurando que durante el funcionamiento de ensayo no se presente ninguna diferencia en las rigideces elásticas ajustadas.

Junto a los muelles hidroneumáticos, también se pueden utilizar otros elementos elásticos 13, por ejemplo muelles helicoidales, cables de goma, amortiguadores de elastómero y/o muelles neumáticos. También es concebible utilizar un motor lineal como un elemento elástico.

Es posible alinear horizontalmente el cilindro hidroneumático 32, por ejemplo para lograr un diseño compacto del banco de ensayo. Un elemento elástico de forma adecuada 13 se muestra en la figura 9. El cilindro hidroneumático 32 se corresponde en su construcción al cilindro hidroneumático 32 mostrado en la figura 8. Sin embargo, en el ejemplo de fabricación de la figura 9, el cilindro hidroneumático 32 está dispuesto horizontalmente y se acopla a un brazo de palanca corto 37a de la palanca 37, que está dispuesto en ángulo recto con el brazo de palanca largo 37b de la palanca 37. Para la fijación del cilindro hidroneumático 32 se proporciona un soporte 41, que forma el punto de articulación 14 para el elemento elástico 13.

Otro ejemplo de fabricación del elemento elástico 13 se muestra en la figura 10. El elemento elástico 13 mostrado incluye un polipasto 38 que forma un componente multiplicador. El componente multiplicador posibilita la transferencia de un recorrido elástico relativamente corto del elemento elástico 13 hacia un recorrido de amplitud relativamente grande. El polipasto 38 está unido por una parte al cilindro hidroneumático 32 fijado en el suelo 15 y por otra parte a un soporte 41 que se apoya en el suelo 15. Un extremo libre del cable perteneciente al cable del polipasto 38 está conectado o es conectable al soporte 16 o a la pala de rotor 10. El cilindro hidroneumático 32 está conformado de manera análoga a los ejemplos de fabricación precedentes según las figuras 7, 8 y 9.

El polipasto 38 comprende preferentemente dos rodillos fijos y dos rodillos móviles. El polipasto 38 puede presentar una transmisión de 1:4. Los rodillos inferiores 2 pueden ser guiados lateralmente para que durante los movimientos

de elevación no oscilen horizontalmente. Los rodillos superiores e inferiores del cable pueden ser montados de forma yuxtapuesta respectivamente, de modo que se reduce la altura de construcción.

En el marco de la presente solicitud se expondrán además, los siguientes modelos de fabricación:

- 5
1. Banco de ensayo para una pala de rotor 10, en particular para una pala de rotor de una planta de energía eólica:
- con una estructura de soporte 15 en la que se puede fijar un extremo axial de la pala de rotor 10, y
  - 10 - al menos una unidad de estimulación que se puede conectar a la pala de rotor 10 para estimular una oscilación de la pala de rotor 10, y
- 15
- caracterizado por al menos un elemento elástico 13, que está conectados entre un punto de articulación estacionario 14 y que se puede conectar a la pala de rotor para el funcionamiento de ensayo, de tal modo que la pala de rotor 10, para influir en el comportamiento oscilante mediante el elemento elástico 13, puede someterse a la fuerza elástica, cuya dirección de fuerza presenta al menos un componente que se extiende en paralelo a una dirección de carga principal de la pala de rotor 10.
- 20
2. Banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque está previsto al menos un soporte 16 que está conectado directamente a la pala de rotor 10 y que está conectado al elemento elástico 13.
3. Banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque el elemento elástico 13 está conectado al menos a dos soportes 16.
- 25
4. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos dos elementos elásticos 13 que tienen un único punto de articulación 14 están conectados en la parte inferior 15.
5. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque en cada caso un soporte individual 16 está acoplado mediante un elemento elástico individual 13 a un punto de fijación o punto de articulación 14 individual.
- 30
6. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque el elemento elástico 13 está conectado directamente al soporte 16.
- 35
7. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el elemento elástico 13 está conectado al soporte 16 y/o al punto de articulación 14 por un medio de un elemento flexible de tracción 17 o de un elemento de presión y de tracción rígido 18.
- 40
8. Banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque el elemento de tracción 17 está guiado entre el soporte 16 y el elemento elástico 13 a través de un rodillo de desviación 19 de tal manera que el elemento elástico 13 está orientado de forma sustancialmente horizontal.
- 45
9. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque un elemento de carga 31 se puede fijar en un punto de articulación estacionario 14 y conectar a la pala de rotor 10 para el funcionamiento de ensayo de tal manera, que la pala de rotor 10 puede ser accionada por una fuerza de pretensado estática, cuya dirección de fuerza presenta al menos un componente que se extiende perpendicular a la pala de rotor 10.
- 50
10. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque entre el elemento elástico 13 y el soporte 16 está dispuesto un componente multiplicador, en especial una palanca de dos caras 37 o un polipasto 38 de modo que se puede transferir un recorrido elástico del elemento elástico 13 a un recorrido de amplitud del soporte 16, siendo dicho recorrido de amplitud del soporte 16 mayor que el recorrido elástico del elemento elástico 13.
- 55
11. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el elemento elástico 13 comprende un cilindro hidroneumático 32, que conforma al menos parcialmente el elemento elástico 13.
- 60
12. Disposición con un banco de ensayo de acuerdo con uno de los ejemplos de fabricación precedentes y una pala de rotor 10 o un segmento de pala de rotor, en particular para una planta de energía eólica respectivamente, estando la pala de rotor 10 o el segmento de pala de rotor fijados a una estructura de soporte 11 y conectados a un punto de articulación estacionario 14 a través del elemento elástico 13.

13. Procedimiento para operar un banco de ensayo o una disposición de acuerdo con uno de los ejemplos de fabricación precedentes, ajustándose la rigidez elástica del elemento elástico 13 de tal manera que se incrementa al menos una frecuencia natural, en particular la primera frecuencia natural de la pala de rotor 10 o del segmento de pala del rotor.

5

Lista de símbolos de referencia

	10	pala de rotor
	10a	raíz de pala de rotor
10	10b	punta de pala de rotor
	10c	segmento de pala de rotor
	10d	muñón del ala
	11	cimentación
	12	actuador
15	13a	muelle de compresión
	13	elemento elástico
	14	punto de articulación
	15	suelo
	16	soporte
20	16a	bastidor metálico
	16b	inserto de madera
	16c	placa de amortiguación
	17	elemento de tracción flexible
	18	elemento rígido de tracción / presión
25	19	rodillo de guía
	20	aparejo de carga
	21	brazo de palanca
	22	polea de cable
	23	pistón
30	23a	vástago de pistón
	23b	guía de pistón
	24	cilindro
	24a	base del cilindro
	25	estribo
35	26	elemento de amortiguación
	27	travesaño
	28	articulación rotatoria
	29	varilla de compensación
	30	punto de agarre
40	31	elemento de carga
	32	cilindro hidroneumático
	33	acumulador de presión
	33a	parte neumática
	33b	parte hidráulica
45	33c	sensor de presión
	33d	válvula
	34	cojinete hidrostático
	35	canal de conexión
	36	extensión tubular hueca
50	37	palanca
	38	polipasto
	39	bastidor
	40	varilla de acoplamiento
55	41	apoyo

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Banco de ensayo para una pala de rotor (10) de una planta de energía eólica que comprende una estructura de soporte (15) en la que se puede fijar un extremo axial de la pala de rotor (10) y al menos una unidad de estimulación que se puede conectar a la pala de rotor (10) para estimular una oscilación de la pala de rotor (10), caracterizado por elementos elásticos (13) que están conectados entre un punto de articulación estacionario (14) durante el funcionamiento de ensayo y la pala de rotor respectivamente, estando fijados al punto de articulación (14) y pudiendo conectarse a la pala de rotor (10) para el funcionamiento de ensayo, de tal modo que la pala de rotor (10), para influir en el comportamiento oscilante mediante los elementos elásticos (13), puede someterse a las fuerzas elásticas, cuya dirección de fuerza presenta al menos un componente que es paralelo a una dirección principal de carga de la pala de rotor (10).
- 15 2. Banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque está previsto al menos un soporte (16) que está conectado directamente a la pala de rotor (10) y que está conectado al elemento elástico (13).
3. Banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque el elemento elástico (13) está conectado al menos a dos soportes (16).
- 20 4. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos dos elementos elásticos (13) que tienen un único punto de articulación (14) están conectados en la parte inferior (15).
- 25 5. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque en cada caso un soporte individual (16) está acoplado mediante un elemento elástico individual (13) a un punto de fijación o punto de articulación (14) individual.
6. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque el elemento elástico (13) está conectado directamente al soporte (16).
- 30 7. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el elemento elástico (13) está conectado al soporte (16) y/o al punto de articulación (14) por un medio de un elemento flexible de tracción (17) o de un elemento de presión y de tracción rígido (18).
- 35 8. Banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque el elemento de tracción (17) está guiado entre el soporte (16) y el elemento elástico (13) a través de un rodillo de desviación (19) de tal manera que el elemento elástico (13) está orientado de forma sustancialmente horizontal.
- 40 9. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque un elemento de carga (31) se puede fijar en el punto de articulación (14) y conectar a la pala de rotor (10) para el funcionamiento de ensayo de tal manera que la pala de rotor (10) puede ser accionada por una fuerza de pretensado estática, cuya dirección de fuerza presenta al menos un componente perpendicular a la pala de rotor (10).
- 45 10. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque entre el elemento elástico (13) y el soporte (16) está dispuesto un componente multiplicador, en especial una palanca de dos caras (37) o un polipasto (38) de modo que se puede transferir un recorrido elástico del elemento elástico (13) a un recorrido de amplitud del soporte (16), siendo dicho recorrido de amplitud del soporte (16) mayor que el recorrido elástico del elemento elástico (13).
- 50 11. Banco de ensayo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el elemento elástico (13) comprende un cilindro hidroneumático (32), que conforma al menos parcialmente el elemento elástico (13).
12. Disposición con un banco de ensayo de acuerdo con la reivindicación 1 y una pala de rotor (10) o un segmento de pala de rotor, para una planta de energía eólica respectivamente, con
- 55 - una estructura de soporte (15) en la que está fijado un extremo axial de la pala de rotor (10), y  
 - al menos una unidad de estimulación, que está conectada a la pala de rotor (10) para estimular una oscilación de la pala de rotor (10),
- 60 estando al menos un elemento elástico (13), que está conectado entre un punto de articulación estacionario (14) durante el funcionamiento de ensayo, y la pala de rotor, fijado en el punto de articulación (14) y conectado a la pala de rotor (10) para el funcionamiento de ensayo, de tal modo que la pala de rotor (10) ) para influir en el comportamiento de oscilación mediante el elemento elástico (13) puede someterse a una fuerza elástica, cuya dirección de fuerza presenta al menos un componente que se extiende en paralelo a una dirección de carga principal de la pala de rotor (10).

13. Procedimiento para operar un banco de ensayo para una pala de rotor (10) de una planta de energía eólica, que comprende

- 5 - una estructura de soporte (15) en la que un extremo axial de la pala de rotor (10) está fijado, y
- al menos una unidad de estimulación que está conectada a la pala de rotor (10) para estimular la oscilación de la pala de rotor (10),
- 10 - estando al menos un elemento elástico (13), que está conectado entre un punto de articulación estacionario (14) durante el funcionamiento de ensayo y la pala de rotor, y fijado en el punto de articulación (14), conectado a la pala de rotor (10) para el funcionamiento de ensayo y la pala de rotor (10) para influir en el comportamiento de oscilación mediante el elemento elástico (13) se somete a una fuerza elástica, cuya dirección de fuerza presenta al menos un componente que se extiende en paralelo a una dirección de carga principal de la pala de rotor (10), ajustándose la rigidez elástica del elemento elástico (13) de tal manera que se incrementa al menos una frecuencia natural de la pala de rotor (10) o del segmento de pala del rotor.
- 15

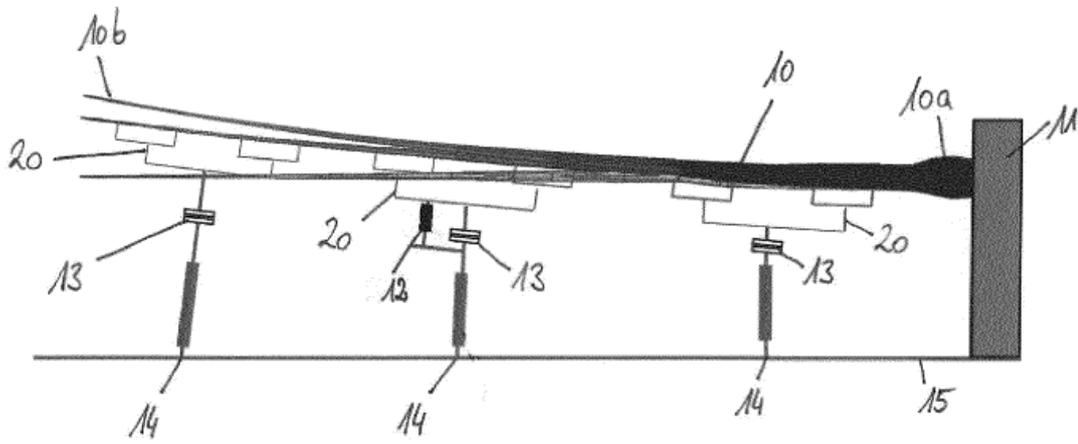


Fig. 1

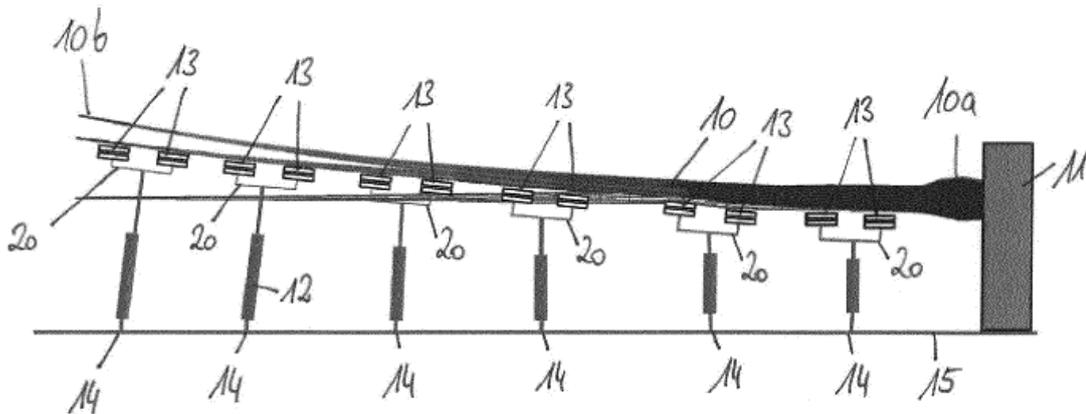
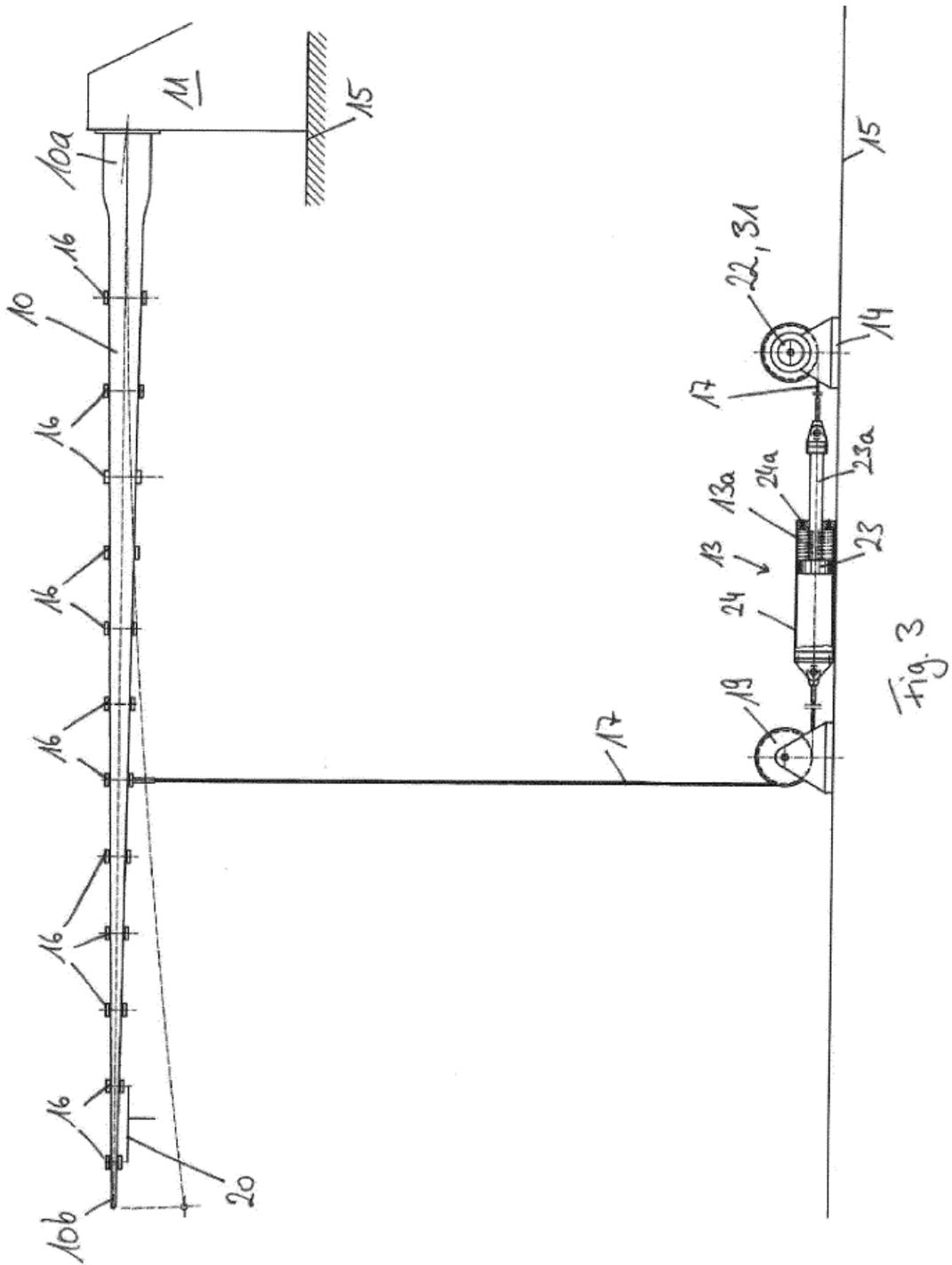
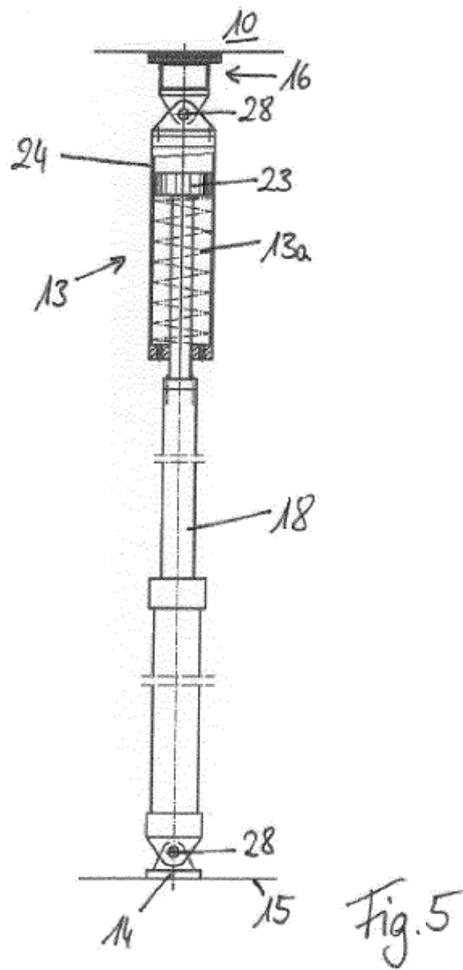
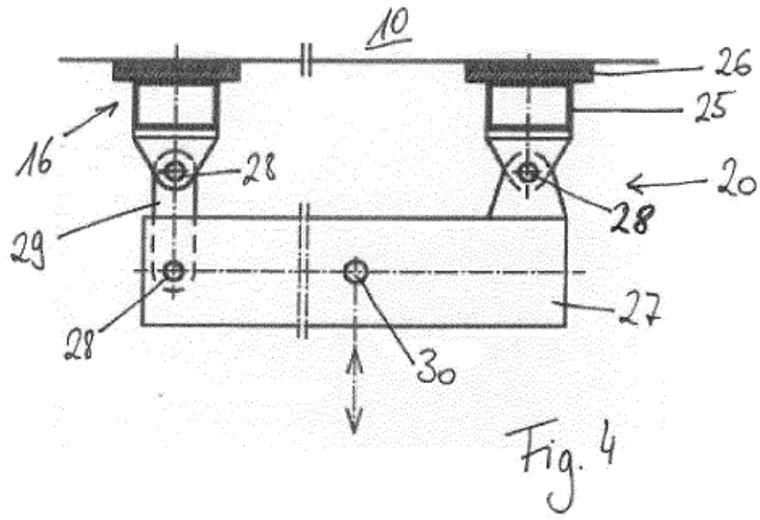


Fig. 2





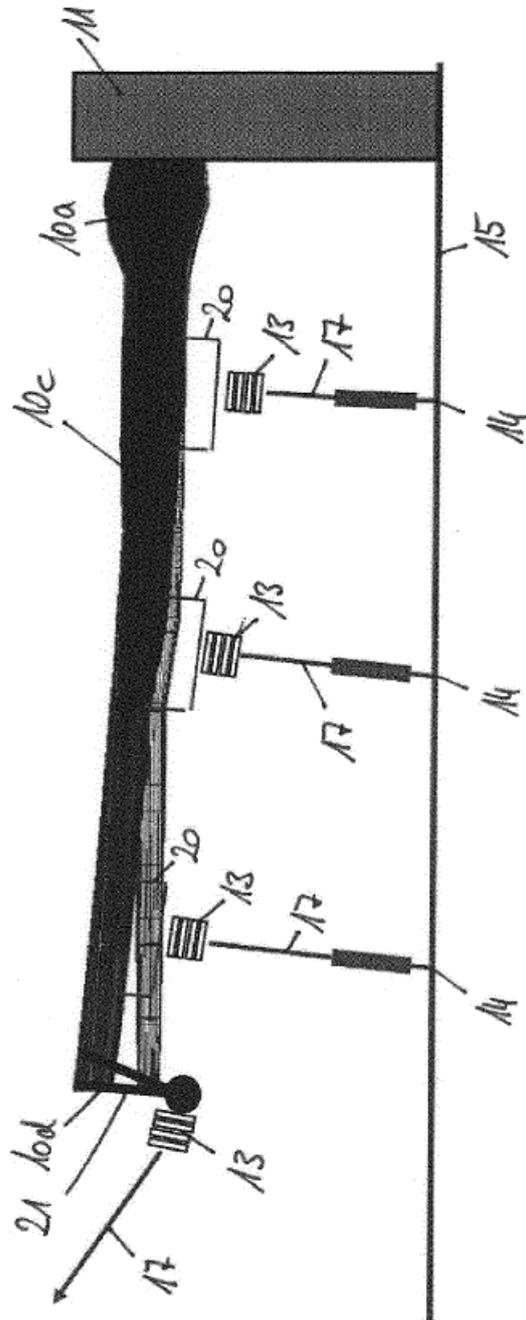


Fig. 6

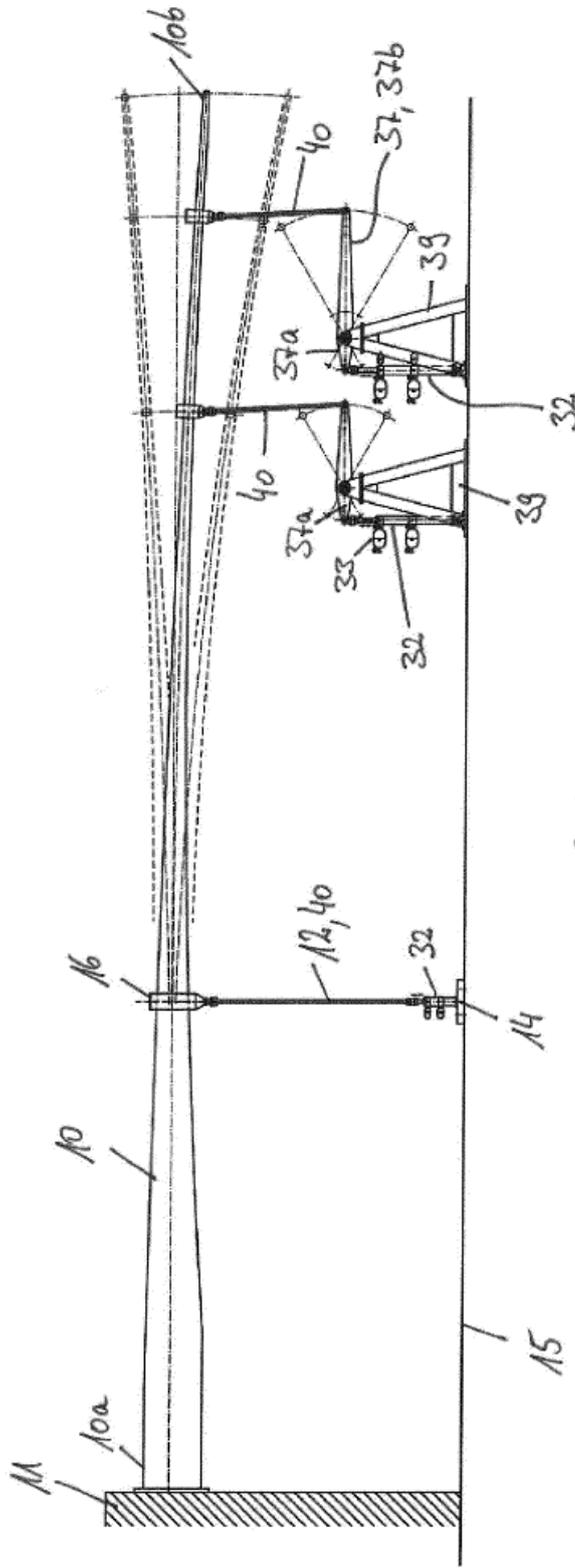


Fig. 7

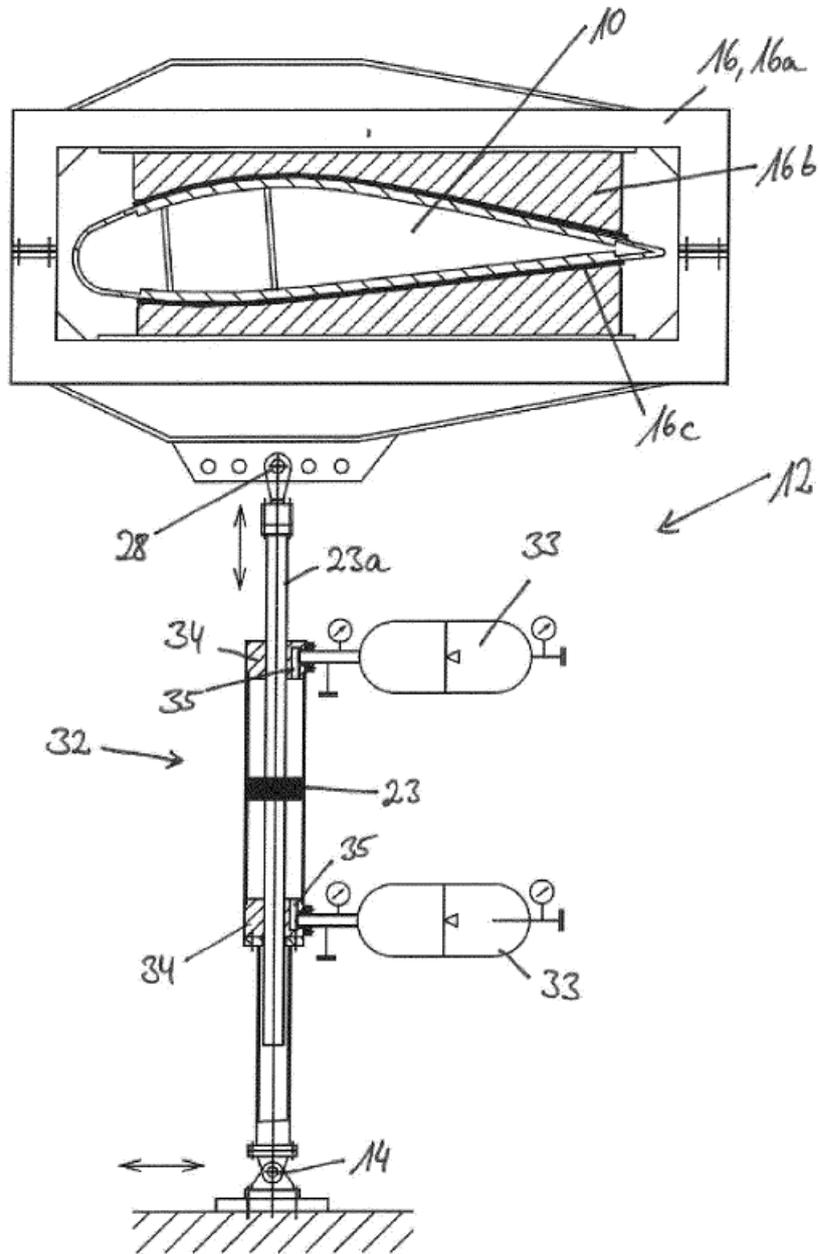


Fig. 8

