

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 150**

51 Int. Cl.:

G01M 7/00 (2006.01)

G01M 7/04 (2006.01)

G01M 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2012** **E 12190856 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018** **EP 2728332**

54 Título: **Banco de pruebas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.03.2019

73 Titular/es:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE

72 Inventor/es:
JENSEN, BRIAN GABE

74 Agente/Representante:
LOZANO GANDIA, José

ES 2 705 150 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).

BANCO DE PRUEBAS**DESCRIPCIÓN**

5 La invención describe un banco de pruebas para someter a prueba un componente, un banco de pruebas de turbina eólica y un método para someter a prueba un componente.

10 Ciertas estructuras tales como torres altas, turbinas eólicas, etc. se someten a cargas estructurales durante su vida útil. Por ejemplo, las fuerzas que actúan sobre una torre y una góndola de turbina eólica durante el funcionamiento de la turbina eólica pueden dar como resultado desgaste excesivo y fatiga del material de diversos elementos estructurales tales como cojinetes, góndola, buje de bancada, anillo de guiñada, etc. El desgaste excesivo en partes tales como los cojinetes puede requerir procedimientos de mantenimiento y reparación caros, mientras que la fatiga del material puede producir el desarrollo de grietas delgadas o grietas de mayor tamaño, produciendo en última instancia daños graves y fallo de los componentes.

15 Sin embargo, es difícil predecir la probabilidad, la ubicación y la extensión de daños de este tipo. Por ejemplo, la fatiga del material puede tardar mucho tiempo en desarrollarse. Pueden pasar varios años antes de que se desarrollen señales de daños, y estas pueden sólo descubrirse por casualidad o buscando específicamente señales de este tipo.

20 Por tanto, los fabricantes de estructuras de este tipo pueden invertir un esfuerzo considerable en pruebas estructurales, y pueden intentar modelar los efectos de cargas a lo largo de un tiempo relativamente corto para predecir los efectos reales de cargas durante la vida útil real de una estructura. Se han usado bancos de pruebas en el pasado para someter a prueba un aparato rotatorio tal como una hélice, por ejemplo, como se describe en GB 392.602. Los tipos relativamente primitivos de aparatos de pruebas se han sustituido por aparatos de pruebas dedicados que pueden modelar mejor las fuerzas que se puede esperar que actúen en el componente durante una situación real. Por ejemplo, el documento WO 2010/000711 A2 describe un tipo de banco de pruebas para someter a prueba una pala de turbina eólica, mientras que en otra configuración, un banco de pruebas para una turbina eólica puede montarse en un alojamiento a modo de ejemplo, por ejemplo en un buje montado en una góndola. El banco de pruebas puede diseñarse para generar fuerzas y para transferir las mismas de forma esencialmente directa al alojamiento. Para los fines de las pruebas, no es necesario montar la góndola en una torre, o unir las palas de rotor al buje, y se puede recopilar mucha información útil disponiendo sensores tales como galgas extensiométricas, acelerómetros, etc., a cualquier parte o elemento relevante que sea propenso a fatiga del material. Un banco de pruebas conocido usa un peso radial rotatorio montado en un bastidor que está sujeto al buje en una configuración de prueba de este tipo. Un motor acciona el árbol al que se conecta el peso, y las fuerzas centrífugas resultantes se transfieren como una carga a la configuración de prueba de turbina eólica. Puede usarse un banco de pruebas de este tipo para recopilar información de carga y fatiga para una configuración de prueba a lo largo de un periodo de tiempo relativamente corto, correspondiente a un periodo de tiempo "real" para un componente real. Por ejemplo, un banco de pruebas para una configuración de prueba de turbina eólica puede hacerse funcionar de forma continua durante un periodo de tiempo de tan sólo unas pocas semanas o meses para recopilar información correspondiente a varias décadas para una turbina eólica comparable.

45 Sin embargo, cualquier estructura grande con uno o más grados de libertad o "elasticidad" tendrá una o más frecuencias de resonancia. Esto se aplica también a una configuración de prueba de este tipo en la que un banco de pruebas está montado en una estructura de este tipo. Un grado de libertad o una determinada cantidad de elasticidad pueden ser inevitables, debido a que el propio banco de pruebas está realizado de varios elementos que están unidos entre sí, y el banco de pruebas también debe montarse en el componente sometido a prueba mediante fijadores u otras conexiones; y el propio componente sometido a prueba puede estar conectado o montado en otro componente o parte, etc. Por tanto, los bancos de pruebas conocidos sólo pueden usarse con seguridad fuera de un intervalo crítico alrededor de una frecuencia de resonancia de la configuración de prueba si deben evitarse daños al banco de pruebas y/o la configuración de prueba. Por ejemplo, un banco de pruebas que genera fuerzas centrífugas y transfiere las mismas como fuerzas laterales a un componente sometido a prueba debe detenerse cuando las fuerzas y la frecuencia de rotación se aproximan a un intervalo de frecuencia de resonancia del banco de pruebas con el componente sometido a prueba. La fuerza lateral que se aplica realmente al componente sometido a prueba puede por tanto ser mucho mayor que la magnitud de la propia fuerza centrífuga si la fuerza lateral se "amplifica" por el comportamiento de resonancia del banco de pruebas. Esto significa que la cantidad de información de fatiga/carga útil que puede recopilarse está limitada debido a los "espacios" necesarios alrededor de las frecuencias de resonancia, dificultando extrapolar o interpolar los resultados de prueba a un grado de precisión satisfactorio. La falta de información precisa recopilada durante el funcionamiento de la configuración de prueba dificulta determinar la resistencia de material correcta que va a usarse para componentes estructurales tales como cojinetes, conectores, fijadores, una bancada, etc. Como resultado, a lo largo de la vida útil de una estructura, puede desarrollarse fatiga del material en ubicaciones inesperadas y/o antes de lo esperado.

65 Por tanto, un objeto de la invención es proporcionar una forma mejorada de someter un componente a pruebas estructurales.

Este objeto se consigue mediante el banco de pruebas según la reivindicación 1; mediante la configuración de turbina eólica según la reivindicación 9; y mediante el método según la reivindicación 11 de someter a prueba un componente.

5 Según la invención, el banco de pruebas para someter a prueba un componente comprende una disposición de pesos radiales ajustable montada en un árbol rotatorio; medios de accionamiento para hacer rotar el árbol a una velocidad de rotación del árbol; y medios de ajuste para ajustar el centro de masa de la disposición de pesos radiales ajustable con respecto al árbol mientras el árbol está rotando. La disposición de pesos radiales ajustable comprende al menos un primer peso radial y un segundo peso radial montados en el árbol de modo que puede ajustarse un desplazamiento angular entre los pesos radiales.

10 Un ajuste del centro de masa de la disposición de pesos radiales con respecto al árbol da como resultado una alteración de la fuerza centrífuga generada a medida que rota la disposición de pesos radiales. Una ventaja del banco de pruebas según la invención es que el centro de masa de la disposición de pesos radiales ajustable puede alterarse sin interrupción, de modo que el banco de pruebas pueda funcionar de forma continua. Un banco de pruebas de este tipo puede usarse para pruebas de estrés y/o pruebas de fatiga del componente sometido a prueba, transfiriendo las fuerzas de algún modo adecuado al componente sometido a prueba. En el contexto de la invención, el "peso radial" debe entenderse como una masa o peso montado en el árbol mediante un "brazo" radial de modo que la porción mayor de la masa está desviada hacia fuera del árbol, o una forma más compleja con la porción mayor de su masa ubicada en el extremo exterior del brazo radial. Dicho de otro modo, puede montarse un peso radial en el árbol rotatorio de modo que el centro de masa del peso radial se ubique a una distancia alejada del árbol rotatorio.

15 Según la invención, la configuración de prueba de turbina eólica (para someter a prueba componentes de una turbina eólica) comprende un banco de pruebas de este tipo montado en un componente de turbina eólica de modo que las fuerzas centrífugas generadas por la disposición de pesos radiales ajustable rotatoria durante el funcionamiento del banco de pruebas se transfieren como fuerzas laterales o fuerzas de carga al componente de turbina eólica sometido a prueba, es decir a fuerzas comparables a las que actuarán en la turbina eólica durante el funcionamiento normal.

20 Una ventaja de la configuración de prueba de turbina eólica según la invención es que puede usarse para simular con mucha precisión un intervalo más amplio de cargas que se ejercerán en la góndola durante su vida útil. Debido a que el peso radial puede ajustarse durante el funcionamiento del banco de pruebas, es decir, no necesita detenerse o pararse el banco de pruebas para ajustar manualmente el centro de masa del peso radial para aumentar o reducir las fuerzas centrífugas, puede realizarse la prueba no interrumpida a lo largo de un periodo de tiempo más corto a la vez que también necesita menos supervisión que en una prueba de la técnica anterior. Por tanto, pueden reducirse los costes de realización de la prueba, mientras al mismo tiempo pueden obtenerse resultados de prueba más útiles e informativos. Los datos recopilados pueden usarse como base para corregir fallos de diseño o mejorar el diseño de una turbina eólica comparable. Esto puede conducir a ahorros de costes significativos, debido a que una larga vida útil de componente tiene una importancia crítica en estructuras costosas y grandes tales como turbinas eólicas, que son caras de fabricar, instalar y mantener.

25 Según la invención, el método para someter a prueba un componente comprende las etapas de montar un banco de pruebas de este tipo en el componente sometido a prueba; accionar los medios de accionamiento para hacer rotar el árbol a una frecuencia de rotación; y accionar los medios de ajuste para ajustar el centro de masa de la disposición de pesos radiales ajustable con respecto al árbol mientras el árbol está rotando.

30 Una ventaja del método según la invención es que, con un esfuerzo relativamente pequeño, se pueden recopilar datos informativos y realistas durante una prueba que puede realizarse esencialmente sin interrupción.

35 Las reivindicaciones dependientes proporcionan realizaciones y características particularmente ventajosas de la invención, tal como se revela en la siguiente descripción. Pueden combinarse características de las diferentes categorías de reivindicaciones según sea apropiado para proporcionar realizaciones adicionales no descritas en el presente documento.

40 A continuación, sin restringir la invención de ningún modo, puede asumirse que el tipo de componente sometido a prueba está destinado a montarse encima de una torre o una estructura de soporte similar, por ejemplo el alojamiento de una turbina eólica. El componente sometido a prueba puede estar equipado de forma esencialmente completa como lo estaría en la "vida real". A continuación, de nuevo sin restringir la invención de ningún modo, puede asumirse que el componente es un alojamiento de turbina eólica que puede incluir una góndola, generador, bancada y cualquier otro elemento tal como un buje, una interfaz de guiñada, etc. Para permitir que el banco de pruebas funcione en un entorno de prueba práctico, el alojamiento de turbina eólica puede estar equipado con todos los componentes o partes habituales con la excepción de las palas de rotor.

45 La disposición de pesos radiales ajustable se puede realizar de cualquier modo apropiado. Por ejemplo, la disposición de pesos radiales ajustable puede comprender un cuerpo portador que se realiza para recoger o liberar

5 pesos adicionales mientras rota alrededor del árbol. Los pesos adicionales pueden realizarse para extender la longitud del cuerpo portador, moviendo por tanto el centro de masa de la disposición de pesos radiales más lejos del árbol, y aumentando la fuerza centrífuga a medida que rota la disposición de pesos radiales. Los pesos adicionales pueden adherirse magnéticamente al cuerpo portador. Usando un electroimán, los pesos adicionales pueden liberarse según se desee para mover el centro de masa de vuelta hacia el árbol. Sin embargo, a frecuencias de rotación relativamente altas, puede ser difícil o peligroso unir o liberar pesos adicionales de este tipo. Por tanto, en una realización particularmente preferida de la invención, la disposición de pesos radiales ajustable comprende al menos un primer peso radial y un segundo peso radial montados en el árbol de modo que puede ajustarse un desplazamiento angular entre los pesos radiales, y los medios de ajuste se realizan para ajustar el centro de masa de la disposición de pesos radiales ajustable alterando el desplazamiento angular entre los pesos radiales. Debido a que la disposición de pesos radiales ajustable comprende dos o más pesos radiales individuales, su centro de masa puede considerarse como un centro de masa colectivo o combinado de los pesos radiales individuales. Por tanto, a continuación el centro de masa de la disposición de pesos radiales ajustable puede denominarse “centro de masa colectivo”, “centro de masa común” o “centro de masa combinado”.

15 Los pesos radiales individuales pueden montarse cada uno de manera móvil en el árbol. Sin embargo, en una realización preferida de la invención, sólo el primer peso radial está montado de manera rígida en el árbol, por ejemplo, de modo que este primer peso radial y el árbol comparten un eje de rotación común. El primer peso radial puede atornillarse o sujetarse de otro modo al árbol de modo que una revolución completa del árbol da como resultado una revolución completa del primer peso radial. Preferiblemente, el segundo y cualquier peso radial adicional están montados de manera móvil en el árbol, por ejemplo, pueden ser libremente rotatorios alrededor del árbol, al menos dentro de un cierto intervalo angular.

25 Evidentemente, para cualquier combinación de pesos, la posición del centro de masa colectivo de la disposición de pesos radiales está determinada por la(s) distancia(s) angular(es) entre los pesos individuales y la masa de cada peso individual. En el banco de pruebas según la invención, la posición del centro de masa colectivo con respecto al árbol está directamente relacionada con la(s) distancia(s) angular(es) entre pesos individuales, por ejemplo, entre un primer peso radial y un segundo peso radial. La distancia angular entre dos pesos debe entenderse como el ángulo delimitado entre un eje longitudinal de un primer peso radial y un eje longitudinal de un segundo peso radial. Un eje longitudinal de un peso radial individual puede pasar a través del centro de masa de ese peso radial. Para los pesos realizados como brazos radiales que se extienden hacia fuera desde el árbol, los ejes longitudinales de los pesos coinciden esencialmente en un punto en el eje de rotación del árbol.

35 En una realización particularmente preferida de la invención, los medios de ajuste se realizan para obtener un desplazamiento angular entre el primer peso radial y el segundo peso radial en el intervalo de 0° a 180°. Un desplazamiento angular de 0° puede lograrse, por ejemplo, disponiendo pesos individuales uno sobre otro en el árbol de rotación. En esta posición, el centro de masa colectivo de la disposición de pesos radiales está más alejado del árbol, y esta posición está asociada con la mayor fuerza centrífuga que puede generarse por el banco de pruebas durante el funcionamiento. Puede lograrse un desplazamiento angular de 180° disponiendo los pesos individuales en línea, es decir a cada lado del árbol de modo que sus ejes longitudinales estén en línea y el centro de masa se encuentre en algún punto a lo largo de esa línea. En el caso de dos pesos iguales, el centro de masa combinado de la disposición de pesos radiales puede considerarse como un punto en el eje de rotación de árbol. Si la disposición de los pesos radiales comprende dos pesos individuales de diferente masa, cuando estos se desplazan en una distancia angular de 180°, el centro de masa combinado de la disposición de pesos radiales se desplazará una cierta cantidad hacia fuera del eje de rotación del árbol en el sentido del peso más pesado. Un desplazamiento angular de 180° permite que el banco de pruebas genere una fuerza centrífuga más baja.

50 Los medios de ajuste se usan para ajustar el centro de masa colectivo de la disposición de pesos radiales ajustable con respecto al árbol mientras el árbol está rotando. De este modo, puede obtenerse una cierta fuerza centrífuga para varias combinaciones de la velocidad de rotación del árbol y la posición del centro de masa combinado de los pesos. Por ejemplo, los medios de ajuste pueden ajustar la posición del centro de masa combinado de los pesos de modo que se mantiene una fuerza centrífuga constante mientras está aumentándose o reduciéndose la velocidad de rotación.

55 En una realización preferida del banco de pruebas según la invención, los medios de ajuste comprenden medios de desplazamiento (piñón/cadena) conectados entre el primer peso radial y el segundo peso radial. Como se ha indicado anteriormente, el primer peso radial de la disposición de pesos radiales está montado preferiblemente de manera rígida en el árbol. Por tanto, los medios de ajuste pueden montarse o sujetarse al primer peso radial, de modo que el segundo peso radial (y cualquier otro adicional) puede desplazarse con respecto al primer peso radial una cantidad adecuada. Los medios de desplazamiento pueden ser cualquier dispositivo adecuado tal como un pistón de longitud ajustable montado en un primer extremo en el primer peso radial y en un segundo extremo en el segundo peso radial, de modo que una alteración en la longitud del pistón da como resultado un ajuste correspondiente en el desplazamiento angular del segundo peso radial con respecto al primer peso radial. En una realización adicional preferida de la invención, los medios de desplazamiento comprenden una rueda de cadena y una cadena. Los medios de desplazamiento se pueden realizar para permitir que un ajuste esencialmente infinito de la distancia angular entre pesos radiales, o se puede realizar para permitir un ajuste de manera escalonada, según

sea apropiado.

Las fuerzas centrífugas generadas por los pesos radiales rotatorios durante el funcionamiento del banco de pruebas dependerán de los pesos y las dimensiones de los componentes del banco de pruebas, y la distancia del centro de masa combinado desde el árbol. Por ejemplo, una disposición de pesos radiales con una pequeña masa de tan sólo unos pocos kg puede dar como resultado una fuerza centrífuga de tan sólo unas pocas decenas de Newtons, incluso a altas frecuencias de rotación. Puede usarse un banco de pruebas "pequeño" de este tipo para someter a prueba componentes o partes tales como un montaje de un generador; una pala de rotor; etc. Una gran masa combinada de aproximadamente 1000 kg puede dar como resultado una fuerza centrífuga de varios cientos de kN, incluso a frecuencias de rotación de tan sólo unos pocos Hz. Por tanto, preferiblemente se toman precauciones de seguridad, particularmente para un banco de pruebas "grande", para garantizar que los daños se limitan en el caso de que se produzca un fallo, por ejemplo un fallo de los medios de desplazamiento. Dependiendo de la realización, un pistón o cadena puede romperse, de modo que el segundo peso radial ya no está fijo con respecto al primer peso radial. Una posición "segura" para el segundo peso radial que ahora puede moverse libremente será una posición que vuelve a llevar el centro de masa colectivo de la disposición de pesos radiales hacia dentro, de modo que se reduce la fuerza centrífuga. Por tanto, en una realización preferida de la invención, el segundo peso radial, y cualquier otro peso radial adicional, está montado de manera excéntrica en el árbol rotatorio. Esto puede lograrse montando una excéntrica entre el segundo peso radial y el árbol. El centro de la excéntrica está desviado del eje de rotación del árbol, y esta desviación puede propiciar que el segundo peso radial adopte una posición "segura" con respecto al primer peso radial fijo si alguna vez se libera del primer peso radial debido a un fallo de los medios de desplazamiento.

Preferiblemente, los medios de desplazamiento se controlan o ajustan dependiendo de la velocidad angular o la frecuencia de rotación del árbol. Por tanto, en una realización preferida de la invención el banco de pruebas comprende un controlador para controlar los medios de ajuste de desplazamiento angular según la frecuencia de rotación del árbol. Puede usarse un único controlador tal como un controlador de lógica programable (PLC) para controlar los medios de desplazamiento así como los medios de accionamiento que accionan el árbol. Por ejemplo, el PLC puede determinar una cantidad de desplazamiento requerida para obtener una fuerza centrífuga específica a una frecuencia de rotación específica; igualmente, puede determinar la frecuencia de rotación requerida para obtener una fuerza centrífuga específica para una cantidad de desplazamiento específica. Preferiblemente, el controlador está conectado de algún modo adecuado a los medios de ajuste de desplazamiento angular, por ejemplo mediante una conexión inalámbrica o una conexión cableada entre el controlador y los medios de desplazamiento. Una conexión cableada de este tipo puede realizarse, por ejemplo, mediante un árbol rotatorio hueco. Preferiblemente, el método según la invención comprende una etapa de consultar una base de datos tal como una tabla de consulta (LUT) para determinar un desplazamiento angular y/o una frecuencia de rotación del árbol asociada con una fuerza específica que se va a transferir al componente sometido a prueba. Un PLC, programado para realizar una prueba durante un cierto periodo de tiempo y con una restricción de no exceder una cierta fuerza centrífuga máxima, puede consultar una tabla de este tipo para determinar pares de valores de desplazamiento angular y frecuencia adecuados y puede controlar la frecuencia y/o el desplazamiento angular en consecuencia.

Un peso radial puede comprender un único bloque de un material adecuado tal como acero estructural, con un orificio pasante o manguito de modo que puede montarse en el árbol del banco de pruebas. En el caso del segundo peso radial, el manguito puede alojar un casquillo u otro tipo de cojinete adecuado, y también puede alojar una excéntrica, como se ha indicado anteriormente. En el caso del primer peso radial, este puede comprender una o más bridas para conectar o sujetar el primer peso radial al árbol. Para aumentar o reducir las fuerzas centrífugas que puede generar el banco de pruebas, por ejemplo, cuando el banco de pruebas se va a utilizar en diferentes configuraciones para someter a prueba diferentes componentes, pueden desmontarse y sustituirse uno o más de los pesos radiales por pesos similares que tienen diferentes masas. Sin embargo, en una realización preferida de la invención, un peso radial comprende un cuerpo de peso radial realizado para alojar varios elementos de peso individuales que pueden conectarse al cuerpo de peso radial. Por ejemplo, pueden unirse uno o más elementos de peso adicionales a un cuerpo de peso radial para aumentar su masa, o desprenderse del mismo para reducir su masa. Un elemento de peso adicional de este tipo puede tener una masa del 5% - 10% de la masa del cuerpo de peso radial. El peso radial puede diseñarse de modo que varios elementos de peso individuales pueden conectarse a uno o los dos lados planos de un cuerpo de peso radial esencialmente plano, por ejemplo, en una disposición apilada.

Preferiblemente, un peso radial está montado en el árbol de modo que un plano principal del peso radial es esencialmente perpendicular al eje de rotación del árbol. Un peso radial de este tipo tiene una forma esencialmente "plana". Una realización con dos o más pesos radiales individuales de este tipo, montados uno sobre el otro en el árbol, permite que puedan colocarse fácilmente en una disposición "apilada" cuyo centro de masa común está en la posición más alejada del árbol. Cuando los pesos radiales individuales se extienden en una disposición tipo abanico, el centro de masa de la combinación de pesos radiales se acerca al árbol. Alternativa o adicionalmente, los pesos radiales se pueden realizar para proporcionar una disposición anidada, es decir, de modo que un peso radial puede ajustarse esencialmente alrededor de, o alojar de otro modo, uno o más pesos radiales adicionales.

Las fuerzas centrífugas generadas por el banco de pruebas se convierten preferiblemente de forma esencialmente

directa en fuerzas o cargas que actúan sobre el componente sometido a prueba. Por tanto, en una realización preferida de la invención, el banco de pruebas comprende medios de conexión o medios de transferencia de carga para conectar el banco de pruebas al componente sometido a prueba. Los medios de conexión se realizan preferiblemente para convertir las fuerzas centrífugas generadas durante el funcionamiento del banco de pruebas en fuerzas laterales que actúan sobre el componente sometido a prueba. Por ejemplo, los medios de conexión o medios de transferencia de carga pueden comprender una jaula o armazón rígido. El árbol está montado preferiblemente en ambos extremos de esta jaula o armazón, por ejemplo, mediante cojinetes adecuados que le permiten rotar libremente. La jaula o el armazón se realizan preferiblemente para montarse de manera segura en el componente sometido a prueba, es decir, con poco o ningún grado de libertad entre la jaula y el componente sometido a prueba. De este modo, las fuerzas centrífugas generadas por los pesos rotatorios se transfieren a través del árbol a la jaula, y a través de la jaula al componente sometido a prueba. Preferiblemente, el eje del árbol está montado en la jaula en una orientación adecuada, debido a que el plano de las fuerzas centrífugas será perpendicular al eje de rotación del árbol. Por ejemplo, las fuerzas centrífugas generadas mediante pesos que rotan alrededor de un árbol vertical pueden traducirse, mediante una jaula o armazón adecuadamente rígido, en fuerzas laterales horizontales que actúan sobre el componente sometido a prueba.

A medida que los pesos radiales rotan alrededor del árbol, la dirección y magnitud de la fuerza lateral también cambiará. Para un banco de pruebas montado en la nariz o buje de una góndola de prueba, las fuerzas centrífugas pueden traducirse en fuerzas de carga laterales realistas que se producen en una turbina eólica a medida que las palas rotan o, simplemente, como resultado de las fuerzas del viento sobre la góndola y la torre.

El banco de pruebas según la invención permite aplicar una carga constante al componente sometido a prueba. Aquí, "carga constante" debe entenderse como una carga máxima constante o una magnitud de carga constante, debido a que la dirección de la fuerza lateral, es decir, el vector de fuerza aplicado al componente sometido a prueba cambiará a medida que el peso radial rote alrededor del árbol. Usando el banco de pruebas según la invención, puede aplicarse una "carga constante" de este tipo al componente sometido a prueba incluso a una frecuencia de rotación creciente del árbol, debido a que el centro de masa del peso radial puede ajustarse fácilmente a medida que se ajusta la frecuencia de rotación. La fuerza centrífuga viene dada por la ecuación:

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2$$

donde m es la masa de la disposición de pesos radiales; ω es la velocidad angular del árbol, es decir, la frecuencia de rotación en radianes por segundo; y el radio r es la distancia entre el eje de rotación y el centro de masa combinado de la disposición de pesos radiales.

Teniendo en cuenta que el centro de masa puede llevarse fácilmente hasta esencialmente cualquier punto entre su mínimo y máximo, como se ha descrito anteriormente, queda claro que la fuerza centrífuga puede aumentarse o reducirse simplemente ajustando el radio; igualmente la fuerza centrífuga puede mantenerse constante aunque la velocidad angular cambie, mediante un ajuste correspondiente del radio. Esto permite que el banco de pruebas funcione incluso por encima de una frecuencia de resonancia de la configuración de prueba. Por ejemplo, a medida que la frecuencia del banco de pruebas se acerca a una frecuencia de resonancia de este tipo, el centro de masa de la disposición de pesos radiales puede disminuirse para reducir la fuerza centrífuga mientras se mantiene la frecuencia. La disminución de la fuerza centrífuga da como resultado una disminución en la fuerza lateral aplicada al componente sometido a prueba, de modo que no se desarrollarán oscilaciones de frecuencia de resonancia de la configuración de prueba. La aproximación a una frecuencia de resonancia puede detectarse por sensores tales como galgas extensiométricas o acelerómetros unidos a regiones adecuadas del componente sometido a prueba y/o al banco de pruebas. De este modo, puede usarse el banco de pruebas según la invención a lo largo de un intervalo más amplio de condiciones de prueba. Como se ha indicado anteriormente, la magnitud de las fuerzas laterales realmente aplicada al componente sometido a prueba es mucho mayor que la magnitud de las fuerzas centrífugas, es decir, las fuerzas centrífugas se multiplican o amplifican de forma efectiva por el comportamiento oscilante de la configuración de prueba cerca de una frecuencia de resonancia.

El banco de pruebas puede construirse para imitar las fuerzas reales con la mayor precisión posible, incluso en cuanto a la magnitud y frecuencia. Sin embargo, debido a que los efectos de las cargas aplicadas a un componente real pueden desarrollarse de manera relativamente lenta, una prueba que usa un banco de pruebas de este tipo tendrá que ejecutarse durante un tiempo correspondientemente largo, por ejemplo, durante varios años. Por ejemplo, las ráfagas de viento que actúan sobre una turbina eólica o una estructura similar pueden tener una "frecuencia" muy baja, por ejemplo, sólo aproximadamente 0,1 Hz, 0,01 Hz, o incluso menos. Las ráfagas de viento fuertes y regulares pueden dar como resultado la carga de diversos componentes estructurales, y pueden dar como resultado una oscilación de una torre de turbina eólica en estas frecuencias. Una prueba en tiempo real de la fatiga resultante de una carga de este tipo tardará un tiempo extremadamente largo. Por tanto, en una realización preferida de la invención, el banco de pruebas se realiza de modo que una fuerza transferida del banco de pruebas al componente sometido a prueba se ajusta a escala por un factor de al menos 10, más preferiblemente al menos 20, lo más preferiblemente al menos 30, con respecto a una fuerza real aplicada a un componente de este tipo. Con un

factor de escala de 10, los efectos de las ráfagas de viento regulares de este tipo con una frecuencia promedio de tan sólo 0,1 Hz se pueden imitar usando el banco de pruebas según la invención a una frecuencia de aproximadamente 1 Hz. De manera similar, un aumento a escala en un factor de 30 permite que el banco de pruebas funcione a aproximadamente 3 Hz. A estas velocidades de rotación más prácticas, se pueden observar efectos de fatiga reales como resultado de oscilaciones de este tipo a lo largo de un intervalo de tiempo mucho más corto. Evidentemente, los efectos a largo plazo de las cargas “normales” tales como las que se ejercen en la góndola y otros elementos como resultado de la rotación de las palas de rotor durante el funcionamiento de la turbina eólica, o debido a ráfagas de viento o viento fuerte constante, puede imitarse fácilmente de forma aumentada a escala y acelerada usando el banco de pruebas según la invención. Para un banco de pruebas que va a usarse en una configuración de prueba de turbina eólica, la disposición de pesos radiales ajustable del banco de pruebas tiene preferiblemente una masa total adecuadamente grande; y los medios de accionamiento del banco de pruebas se realizan para hacer rotar el árbol a una frecuencia de rotación adecuada del árbol. Un banco de pruebas de este tipo puede ejercer entonces fuerzas laterales “realistas” en el buje y la góndola de la configuración de prueba de turbina eólica durante una ejecución de prueba del banco de pruebas, es decir, fuerzas laterales que son equivalentes a las fuerzas experimentadas por componentes comparables en un periodo de tiempo real.

Una secuencia de prueba puede comprender hacer funcionar el banco de pruebas a una frecuencia de rotación fija y una fuerza centrífuga fija durante un periodo de tiempo específico, por ejemplo, varios minutos u horas, seguido de un ajuste de la frecuencia de rotación y fuerza centrífuga y aplicarlos durante otro periodo de tiempo específico. Sin embargo, preferiblemente, para imitar efectos de carga “reales” de forma más realista, la frecuencia de rotación del árbol se ajusta preferiblemente de forma cíclica entre una frecuencia inferior y una frecuencia superior en un ciclo de frecuencia, y un ciclo de frecuencia de este tipo se repite preferiblemente durante una duración predefinida, duración predefinida que corresponde a o se deriva de una vida útil estimada del componente sometido a prueba.

Como se ha indicado anteriormente, las cargas transferidas al componente sometido a prueba harán que se desarrollen los efectos de esfuerzo y fatiga. Por tanto, la configuración de prueba de turbina eólica comprende preferiblemente una disposición adecuada de sensores tales como galgas extensiométricas, acelerómetros, etc., montados o conectados de otro modo a cualquier parte o elemento relevante que sea propenso a la fatiga del material. Cada sensor puede transmitir datos a una unidad de registro de datos, tal como un ordenador adecuado, para su almacenamiento y análisis. También se puede usar una disposición de cámaras u otros sensores ópticos para observar el comportamiento tal como vibraciones o el desarrollo de grietas.

Otros objetos y características de la presente invención resultarán evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas consideradas junto con los dibujos adjuntos. Sin embargo, debe entenderse que los dibujos se han diseñado solamente con fines ilustrativos y no como una definición de los límites de la invención.

La figura 1 muestra una realización de una configuración de prueba de turbina eólica según una realización de la invención;

la figura 2 muestra una realización de un banco de pruebas según una realización de la invención;

la figura 3 muestra una disposición de pesos radiales y un árbol rotatorio en una realización de un banco de pruebas según una realización de la invención;

la figura 4 es una representación esquemática de diversas posiciones para una disposición de pesos radiales en un árbol y fuerzas centrífugas correspondientes;

la figura 5 es una representación esquemática de parte de una disposición de pesos radiales en un árbol y fuerzas centrífugas correspondientes;

la figura 6 muestra un gráfico de fuerzas laterales que pueden obtenerse usando una configuración de prueba de la técnica anterior;

la figura 7 muestra un gráfico de fuerzas laterales que pueden obtenerse usando una configuración de prueba de turbina eólica según una realización de la invención;

la figura 8 muestra medios de desplazamiento en una realización adicional del banco de pruebas según la invención.

En los diagramas, los números similares se refieren a objetos similares en todo el documento. Los objetos de los diagramas no están necesariamente dibujados a escala.

La figura 1 muestra una realización de una configuración 2 de prueba de turbina eólica según la invención. El componente sometido a prueba comprende una góndola 20 y un buje 21 de una turbina eólica. Puede usarse el mismo tipo de modelo que se usaría en la vida real, y la góndola 20 puede montarse en un modelo de torre (por ejemplo, una disposición de resorte corto) que imita el comportamiento de una construcción de torre apropiada. Para imitar los efectos de la rotación de la pala de rotor y la carga del viento, un banco 1 de pruebas según la invención

se monta de manera fija en el buje 21 mediante un adaptador 19 o medios 19 de conexión de modo que las fuerzas centrífugas generadas en el banco de pruebas se transfieren esencialmente no disminuidas como fuerzas laterales F al buje 21 y a la góndola 20.

5 La figura 2 muestra una sección parcial que deja ver el interior de una realización de un banco 1 de pruebas según la invención. El banco 1 de pruebas comprende una jaula 18 o un armazón 18 en el que un árbol 10 rotatorio está montado de manera rotatoria mediante una disposición 101, 102 de cojinetes. Unos medios 13 de accionamiento tales como un motor 13 se realizan para accionar el árbol 10, en este ejemplo mediante una correa 130 de accionamiento. Una disposición 11, 12 de pesos radiales está montada en el árbol 10. Un peso 11 radial está fijado en el árbol 10, mientras el otro peso 12 radial, también montado en el árbol 10, puede desplazarse con respecto al primer peso 11 radial. Los medios de ajuste de desplazamiento angular no se muestran en el diagrama por razones de claridad, pero se puede entender que alteran y mantienen el desplazamiento angular entre los pesos 11, 12 radiales. A medida que el árbol 10 y los pesos 11, 12 radiales rotan, se genera una fuerza centrífuga. Puede visualizarse un vector de fuerza de la fuerza centrífuga como un vector que apunta hacia fuera desde el árbol, que pasa a través del centro de masa común de la disposición 11, 12 de pesos radiales y que rota con la velocidad angular del árbol 10. Esta fuerza centrífuga se transfiere mediante la jaula 18 rígida a través de los medios 19 de conexión y al buje 21 y la góndola de la configuración de prueba de turbina eólica.

20 La figura 3 muestra una disposición 11, 12 de pesos radiales y un árbol 10 rotatorio en una realización de un banco de pruebas según la invención. El árbol 10, con un eje de rotación R , se hace rotar mediante una correa de accionamiento (no mostrada) que puede agarrar y hacer rotar el árbol 10 mediante un montaje 131. El diagrama también muestra bridas de montaje para montar el árbol 10 en la jaula. El diagrama muestra dos pesos 11, 12 radiales con un desplazamiento angular, indicado por la flecha doble. El centro de masa CM_{11} , CM_{12} de cada peso 11, 12 radial, está ubicado en algún punto dentro de la porción exterior de cada peso 11, 12 radial. Debido a que los pesos 11, 12 radiales están dispuestos de forma escalonada en el árbol 10, el centro de masa común CM_{RW} de la disposición 11, 12 de pesos radiales está por tanto en un punto en el espacio entre los pesos 11, 12 radiales. El vector de fuerza F_c de la fuerza centrífuga generada cuando esta disposición 11, 12 de pesos radiales rota con el árbol 10 pasará por tanto a través del centro de masa CM_{RW} de la disposición 11, 12 de pesos radiales, como lo indica la flecha de vector de fuerza F_c en el diagrama.

30 La figura 4 muestra, en una parte superior del diagrama, una representación esquemática de diversas posiciones para una disposición 11, 12 de pesos radiales en un árbol 10 y componentes de fuerza centrífuga correspondientes. El diagrama indica el eje de rotación R , la velocidad angular ω del árbol 10, y las direcciones del eje x y el eje y de un plano cartesiano. Se indica el centro de masa CM_{11} , CM_{12} de cada peso 11, 12 radial, su desplazamiento angular θ , y cada radio r_{11} , r_{12} correspondiente. Se indica el centro de masa colectivo CM_{RW} de la disposición 11, 12 de pesos combinados, junto con el radio r_{RW} correspondiente. El vector de fuerza centrífuga F_c comprende componentes x e y . Las curvas $F_{x_mín}$, $F_{x_máx}$, F_{x_med} mostradas en el gráfico en la parte inferior del diagrama indican la componente x del vector de fuerza centrífuga F_c . A medida que la disposición 11, 12 de pesos radiales rota a lo largo de una revolución completa de 360° , la componente x del vector de fuerza centrífuga F_c oscila entre cero y un máximo (se puede entender que la componente y muestra la misma oscilación, con desplazamiento de fase de 180°). Para un desplazamiento angular θ de 180° , es decir, con los pesos radiales apuntando hacia fuera en sentidos opuestos, la fuerza centrífuga no puede superar un cierto mínimo, como lo indica el gráfico $F_{x_mín}$. Para un desplazamiento angular θ de 0° , es decir con los pesos radiales dispuestos uno sobre otro y apuntando hacia fuera en la misma dirección, la fuerza centrífuga puede lograr un valor máximo, como lo indica el gráfico $F_{x_máx}$. Para cualquier otra posición, por ejemplo, para un desplazamiento angular θ de 90° , es decir con los pesos radiales formando ángulos rectos, la fuerza centrífuga puede alcanzar una magnitud intermedia, como lo indica el gráfico F_{x_med} . Evidentemente, cualquier valor intermedio de desplazamiento angular θ estará asociado con una componente x correspondiente, de modo que el vector de fuerza rota esencialmente en un plano que es ortogonal al eje de rotación R del árbol 10.

50 La figura 5 es una representación esquemática de parte de una disposición de pesos radiales en un árbol 10 y las componentes x correspondientes de la fuerza centrífuga. Aquí, un peso 11 radial comprende un cuerpo de peso radial al que se pueden sujetar elementos 110 de peso adicionales. El gráfico en este diagrama muestra la componente x F_{x_cuerpo} de la fuerza centrífuga que puede obtenerse mediante el cuerpo de peso radial solo y la componente x F_{x_adi} de la fuerza centrífuga que puede obtenerse mediante el cuerpo de peso radial con varios elementos 110 de peso adicionales unidos. Los elementos 110 de peso adicionales de este tipo pueden sujetarse a un cuerpo de peso radial antes de comenzar un procedimiento de prueba para configurar el banco de pruebas de acuerdo con los requisitos o las características de un componente específico sometido a prueba.

60 La figura 6 muestra un gráfico de fuerzas F [kN] que puede obtenerse usando una configuración de prueba de la técnica anterior. Un banco de pruebas de la técnica anterior no permite ajustar la disposición de pesos radiales durante el funcionamiento y por tanto no puede hacerse funcionar alrededor de una frecuencia de resonancia f_{RES} de la configuración de prueba. El diagrama también indica un factor de amplificación MF sin dimensiones para el banco de pruebas, indicado por la línea discontinua. Esta es una medida de cuánto se multiplica o amplifica la fuerza centrífuga a medida que se traduce en una fuerza F_{pa} transferida al componente sometido a prueba (que se ha llevado a un movimiento oscilatorio por el banco de pruebas). Como muestra el diagrama, una región crítica está

ubicada alrededor de la frecuencia de resonancia f_{RES} de la configuración de prueba. Aquí, las fuerzas generadas por el banco de pruebas se amplificarán hasta un nivel peligroso mediante las oscilaciones resonantes, de modo que una ejecución de prueba usando el banco de pruebas de la técnica anterior debe interrumpirse alrededor de la frecuencia de resonancia. Por tanto, el procedimiento de prueba de la técnica anterior se realiza en dos etapas. El banco de pruebas requiere una configuración de peso inicial y se generan fuerzas centrífugas 60 usando ese peso. Se permite que el banco de pruebas funcione durante un periodo de tiempo adecuado, realizando ciclos de la velocidad de rotación dentro de un intervalo de frecuencia limitado por un límite de frecuencia superior f_{LIM_1} . Se detiene el banco de pruebas y se ajusta el peso. Usando la nueva combinación de pesos, se generan fuerzas centrífugas 60 realizando ciclos de la velocidad de rotación dentro de un intervalo de frecuencia limitado por un límite de frecuencia inferior f_{LIM_2} . Los límites de frecuencia f_{LIM_1} , f_{LIM_2} se seleccionan a una "distancia segura" de la frecuencia de resonancia f_{RES} , de modo que la fuerza F_{pa} resultante no supera un valor máximo razonable. Como resultado, cualquier medida recopilada por los sensores en el componente sometido a prueba estará incompleta debido a la discontinuidad alrededor de la frecuencia de resonancia. Además, debido a que los pesos no pueden ajustarse durante el funcionamiento, el comportamiento de resonancia de la configuración de prueba puede dar como resultado una amplificación no deseada de las fuerzas reales aplicadas al componente sometido a prueba, y estas fuerzas no pueden considerarse "realistas", de modo que los resultados medidos por las galgas extensiométricas, sensores de tensión, etc., pueden no suministrar resultados fiables o realistas para la ejecución de prueba. Las fuerzas laterales F_{pa} aplicadas al componente sometido a prueba pueden tener una magnitud considerablemente mayor que las fuerzas centrífugas 60 a lo largo de gran parte del intervalo de frecuencia de prueba, como lo indican las discrepancias entre estos gráficos 60, F_{pa} .

La figura 7 muestra un gráfico de fuerzas que pueden obtenerse usando una configuración de prueba de turbina eólica según la invención. Aquí, la disposición de pesos radiales ajustable permite que la fuerza centrífuga F_c se reduzca según sea necesario alrededor de la frecuencia de resonancia f_{RES} de la configuración de prueba. Por ejemplo, pueden moverse dos o más pesos radiales a los lados opuestos del árbol rotatorio de modo que se maximiza su desplazamiento angular. De este modo, la fuerza centrífuga F_c puede minimizarse para una frecuencia de rotación alrededor de la frecuencia de resonancia f_{RES} . Este diagrama también indica un factor de amplificación MF sin dimensiones para el banco de pruebas, indicado por la línea discontinua. Por tanto, la fuerza resultante F_{WT} transferida a la turbina eólica no superará nunca un nivel peligroso, y la prueba puede realizarse sin interrupción entre una frecuencia inferior f_{min} y una frecuencia superior f_{max} , por ejemplo entre 1,0 Hz y 6,0 Hz. La ejecución de la prueba puede realizarse en ciclos a lo largo de estas frecuencias, es decir aumentando la frecuencia de rotación del árbol desde 1,0 Hz hasta 6,0 Hz, a continuación reduciendo la frecuencia de rotación del árbol desde 6,0 Hz hasta 1,0 Hz, como lo indican las flechas en el gráfico de fuerza centrífuga F_c , y repitiendo este ciclo indefinidamente.

La figura 8 muestra una realización de una disposición 11, 12 de pesos radiales en una realización adicional del banco de pruebas según la invención. Aquí, se usa una cadena 15 para alterar el desplazamiento angular entre el primer peso 11 radial y el segundo peso 12 radial. La cadena 15 se acciona mediante una rueda 150 dentada, que a su vez se acciona por un controlador (no mostrado), dependiendo de la velocidad de rotación del árbol 10. El segundo peso 12 radial está montado en el árbol 10 mediante una excéntrica 103. La excéntrica 103 desplaza el segundo peso 12 radial a partir del eje de rotación R del árbol 10. En caso de fallo de los medios de desplazamiento, es decir, la cadena 15 o la rueda 150 dentada, la excéntrica 103 propicia que el segundo peso 12 radial se mueva a una posición "segura" en el lado opuesto del árbol 10, evitando por tanto daños en el banco de pruebas o en el componente sometido a prueba. Aunque la presente invención se ha descrito en forma de realizaciones y variaciones preferidas de la misma, se entenderá que pueden realizarse numerosas variaciones y modificaciones adicionales a la misma sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por razones de claridad, debe entenderse que el uso de "un" o "una" a lo largo de esta solicitud no excluye una pluralidad, y "que comprende" no excluye otras etapas o elementos.

REIVINDICACIONES

1. Banco (1) de pruebas para someter a prueba un componente (20, 21), banco (1) de pruebas que comprende
- 5
- una disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable montada en un árbol (10) rotatorio;
 - medios (13) de accionamiento para hacer rotar el árbol (10) a una velocidad de rotación (ω) del árbol;
- 10
- medios (15, 150) de ajuste para ajustar el centro de masa (CM_{RW}) de la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable con respecto al árbol (10) mientras el árbol (10) está rotando;
- caracterizado porque
- 15
- la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable comprende al menos un primer peso (11) radial y un segundo peso (12) radial montados en el árbol (10) de modo que puede ajustarse un desplazamiento angular (θ) entre los pesos (11, 12) radiales.
2. Banco de pruebas según la reivindicación 1, en el que el primer peso (11) radial está montado de manera rígida en el árbol (10), y en el que el segundo (12) y cualquier peso radial adicional están montados de manera móvil en el árbol (10).
- 20
3. Banco de pruebas según la reivindicación 2, en el que los medios (15, 150) de ajuste se realizan para ajustar el centro de masa (CM_{RW}) de la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable alterando el desplazamiento angular (θ) entre los pesos (11, 12) radiales.
- 25
4. Banco de pruebas según la reivindicación 3, en el que los medios (15, 150) de ajuste se realizan para obtener un desplazamiento angular (θ) entre el primer peso (11) radial y el segundo peso (12) radial en el intervalo de 0° a 180°.
- 30
5. Banco de pruebas según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que los medios (15, 150) de ajuste comprenden medios (15, 150) de desplazamiento conectados entre el primer peso (11) radial y el segundo peso (12) radial.
- 35
6. Banco de pruebas según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el segundo peso (11) radial está montado de manera excéntrica en el árbol (10) rotatorio.
7. Banco de pruebas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un controlador programable para controlar los medios (15, 150) de ajuste según la velocidad de rotación (ω) del árbol.
- 40
8. Banco de pruebas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende medios (19) de conexión para conectar el banco (1) de pruebas a un componente (20, 21) que se va a someter a prueba, medios (19) de conexión que se realizan para transferir fuerzas (Fc) generadas durante el funcionamiento del banco (1) de pruebas al componente (20, 21) sometido a prueba.
- 45
9. Configuración (2) de prueba de turbina eólica para someter a prueba varios componentes (20, 21) de una turbina eólica, configuración (2) de prueba de turbina eólica que comprende un banco (1) de pruebas según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 montado en un componente (20, 21) de turbina eólica de modo que las fuerzas centrífugas (Fc) generadas por los pesos (11, 12) radiales rotatorios durante el funcionamiento del banco (1) de pruebas se transfieren como fuerzas laterales (F_{WT}) al componente (20, 21) de turbina eólica sometido a prueba.
- 50
10. Configuración de prueba de turbina eólica según la reivindicación 9, en la que un peso total de la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable del banco (1) de pruebas y una frecuencia de rotación del árbol del banco (1) de pruebas se seleccionan para generar fuerzas centrífugas (Fc) correspondientes a fuerzas de turbina eólica (F_{WT}).
- 55
11. Método para someter a prueba un componente (20, 21), método que comprende
- 60
- montar un banco (1) de pruebas según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 en el componente (20, 21) sometido a prueba;
 - accionar los medios (13) de accionamiento para hacer rotar el árbol (10) a una velocidad de rotación (ω); y
- 65

- accionar los medios (15, 150) de ajuste para ajustar el centro de masa (CM_RW) de la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable con respecto al árbol (10) mientras el árbol (10) está rotando.
- 5 12. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de ajustar el centro de masa (CM_RW) de la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable con respecto al árbol (10) se realiza dependiendo de la velocidad de rotación (ω) del árbol.
- 10 13. Método según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en el que el centro de masa (CM_RW) de la disposición (11, 12) de pesos radiales ajustable se ajusta hacia el árbol (10) para una frecuencia de rotación del árbol correspondiente a una frecuencia de resonancia (f_{RES}) de la configuración (2) de prueba.
- 15 14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende la etapa de ajustar cíclicamente la frecuencia de rotación del árbol entre una frecuencia inferior (f_{min}) y una frecuencia superior (f_{max}) en un ciclo de frecuencia no interrumpido.
- 15 15. Método según la reivindicación 14, en el que se repite un ciclo de frecuencia durante una duración predefinida, duración predefinida que está relacionada con una vida útil estimada del componente (20, 21) sometido a prueba.

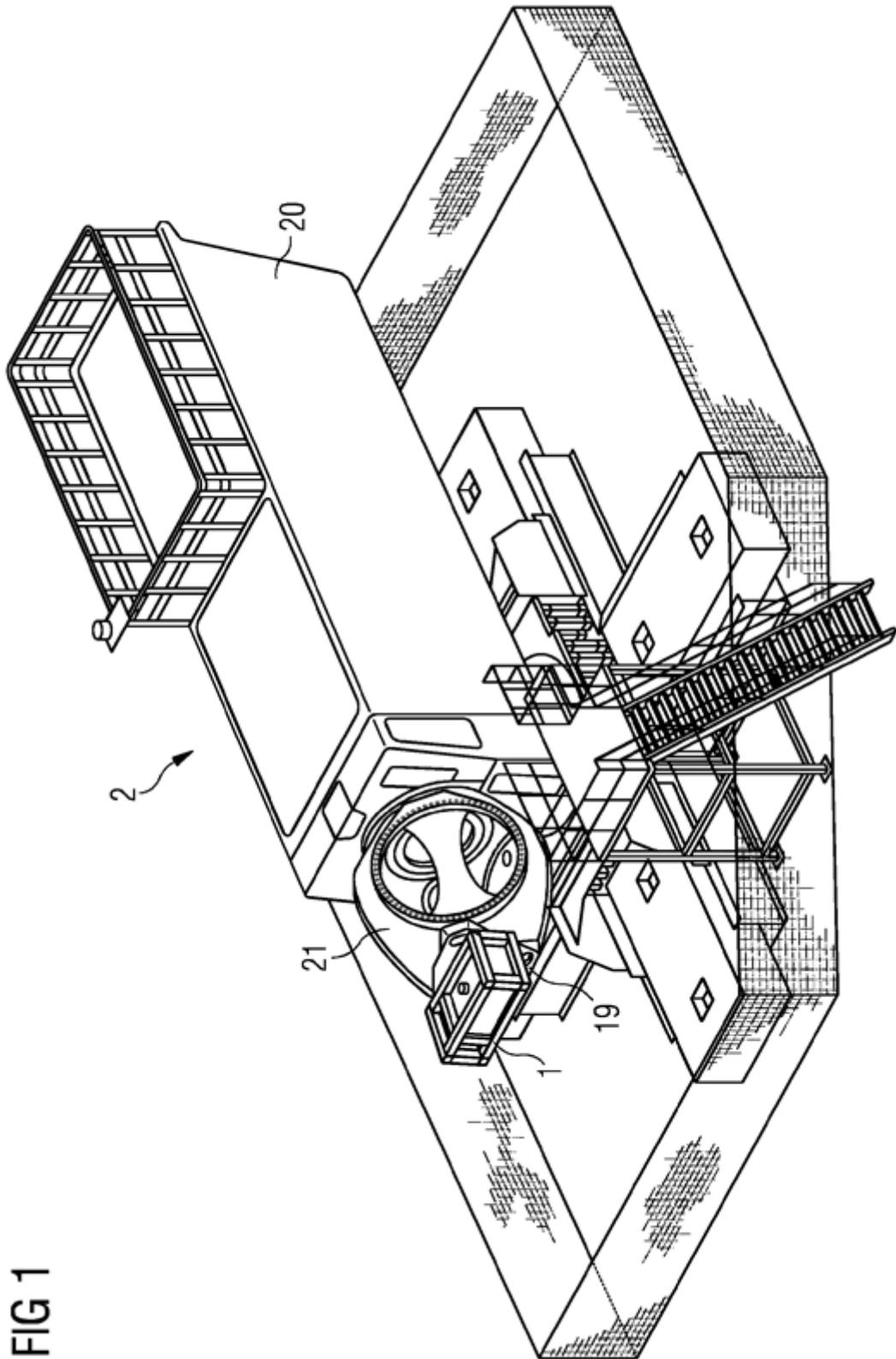


FIG 1

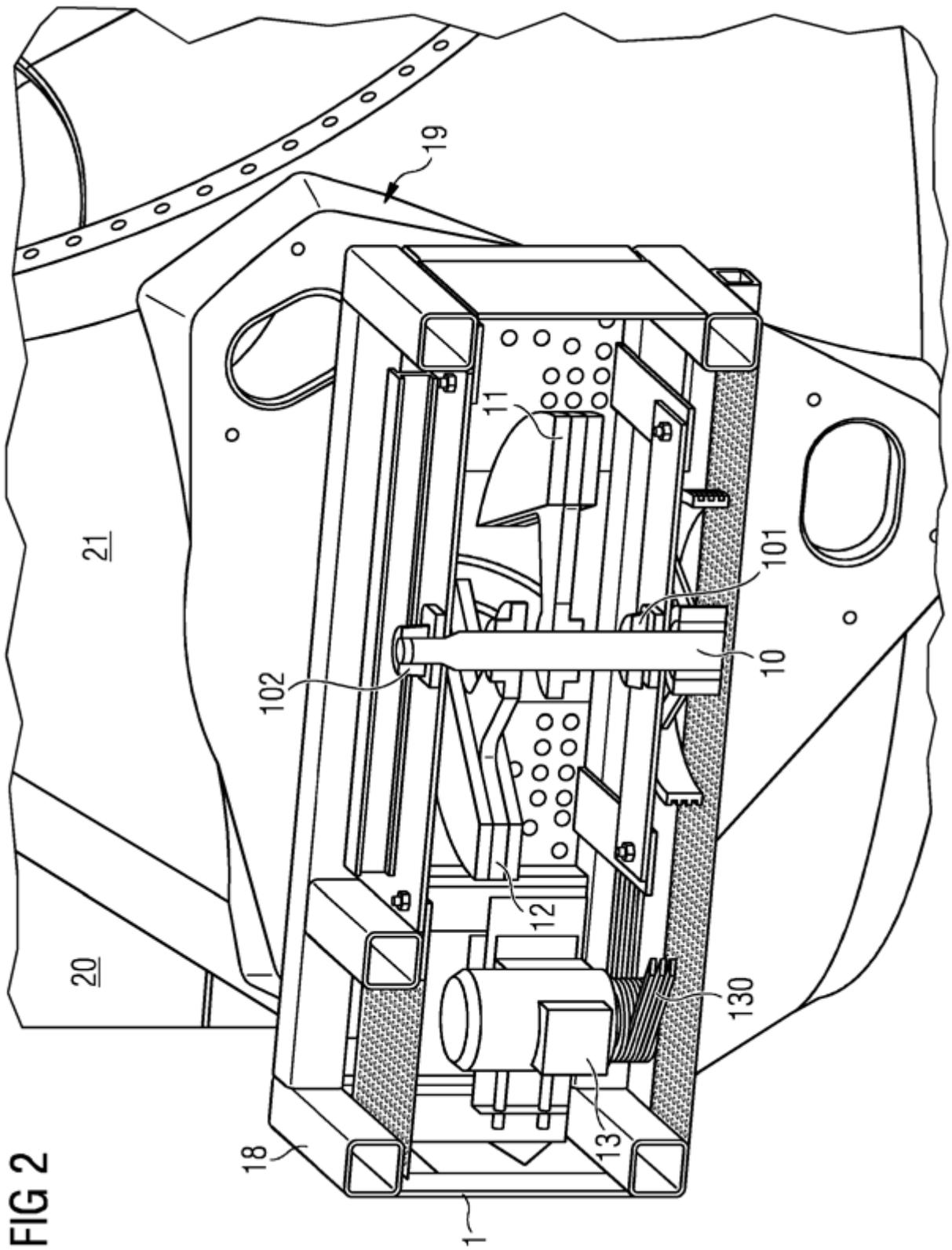


FIG 2

FIG 3

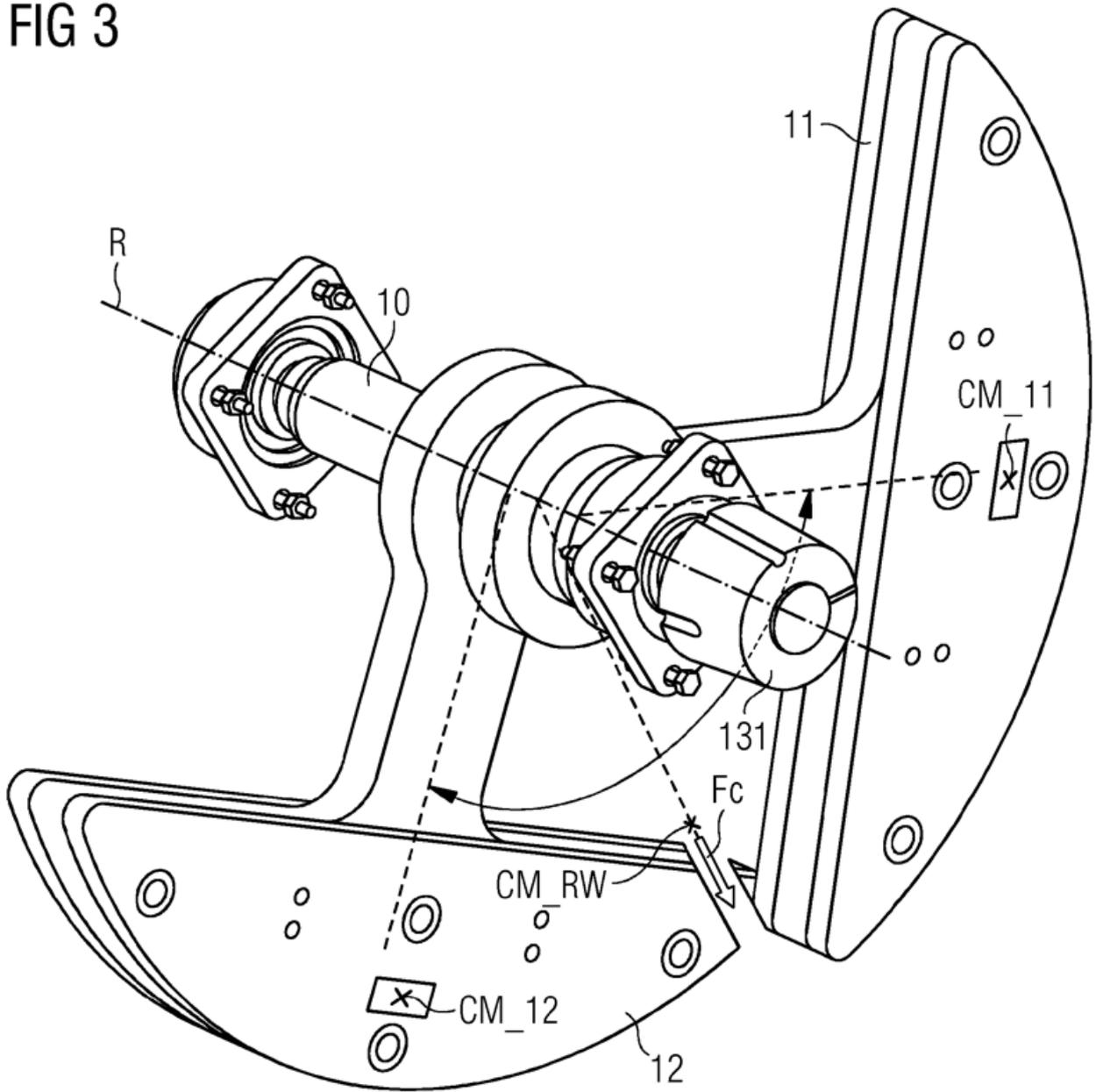


FIG 4

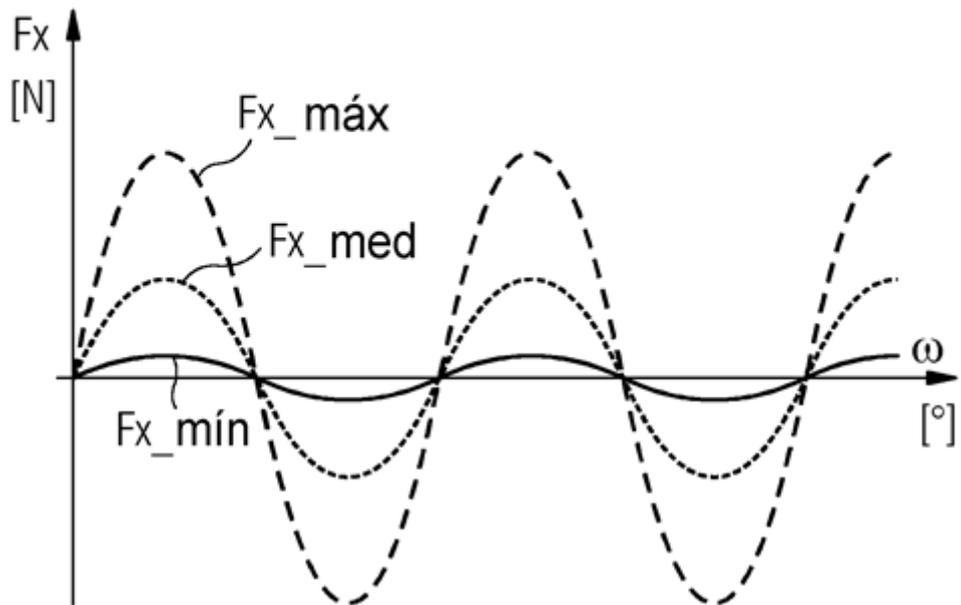
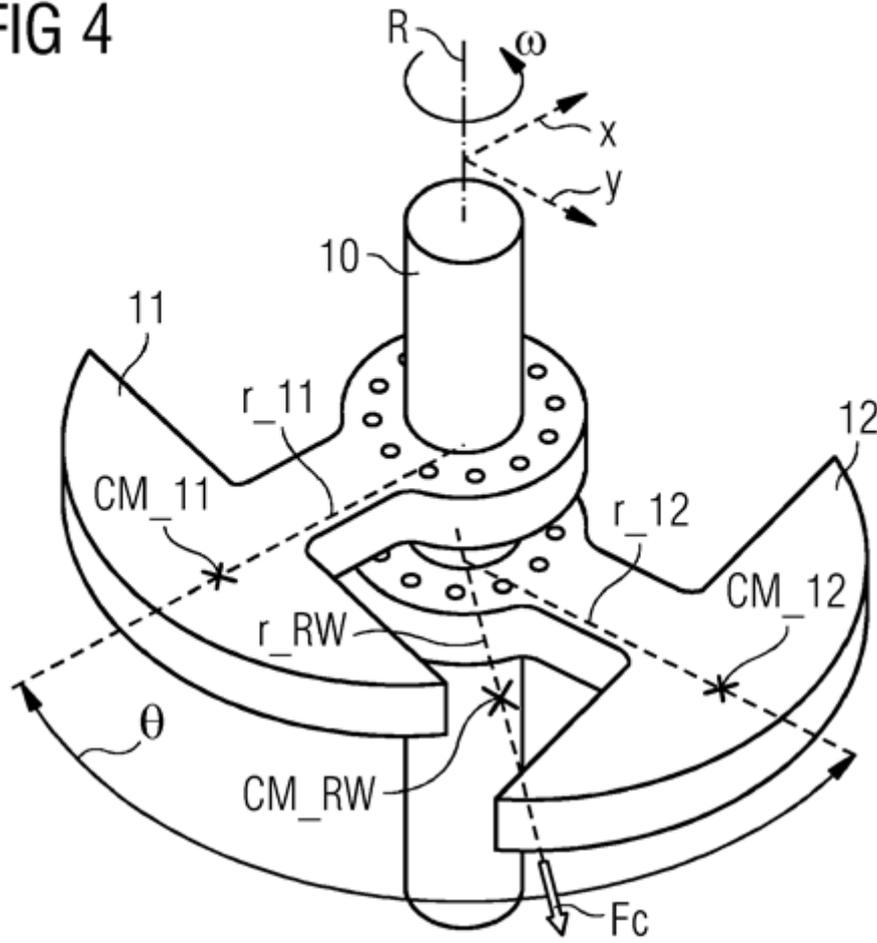


FIG 5

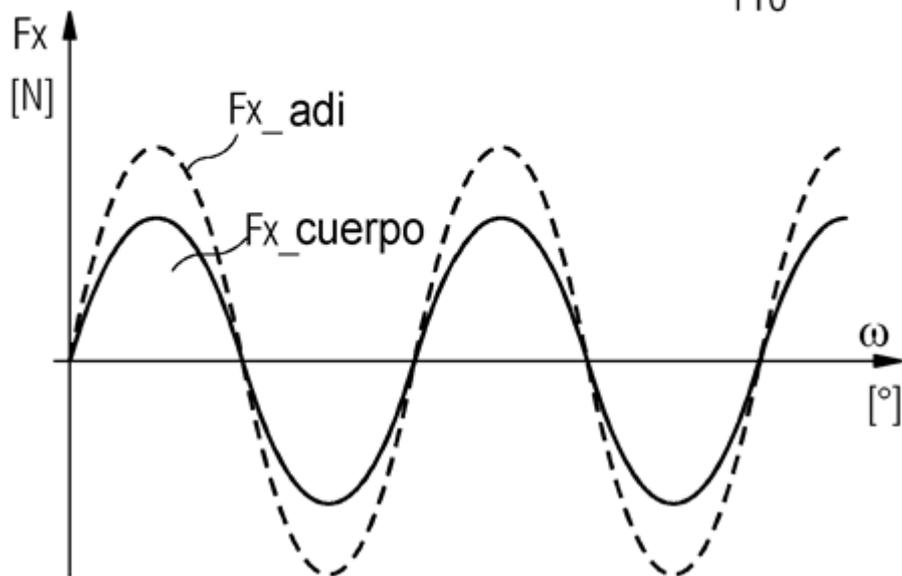
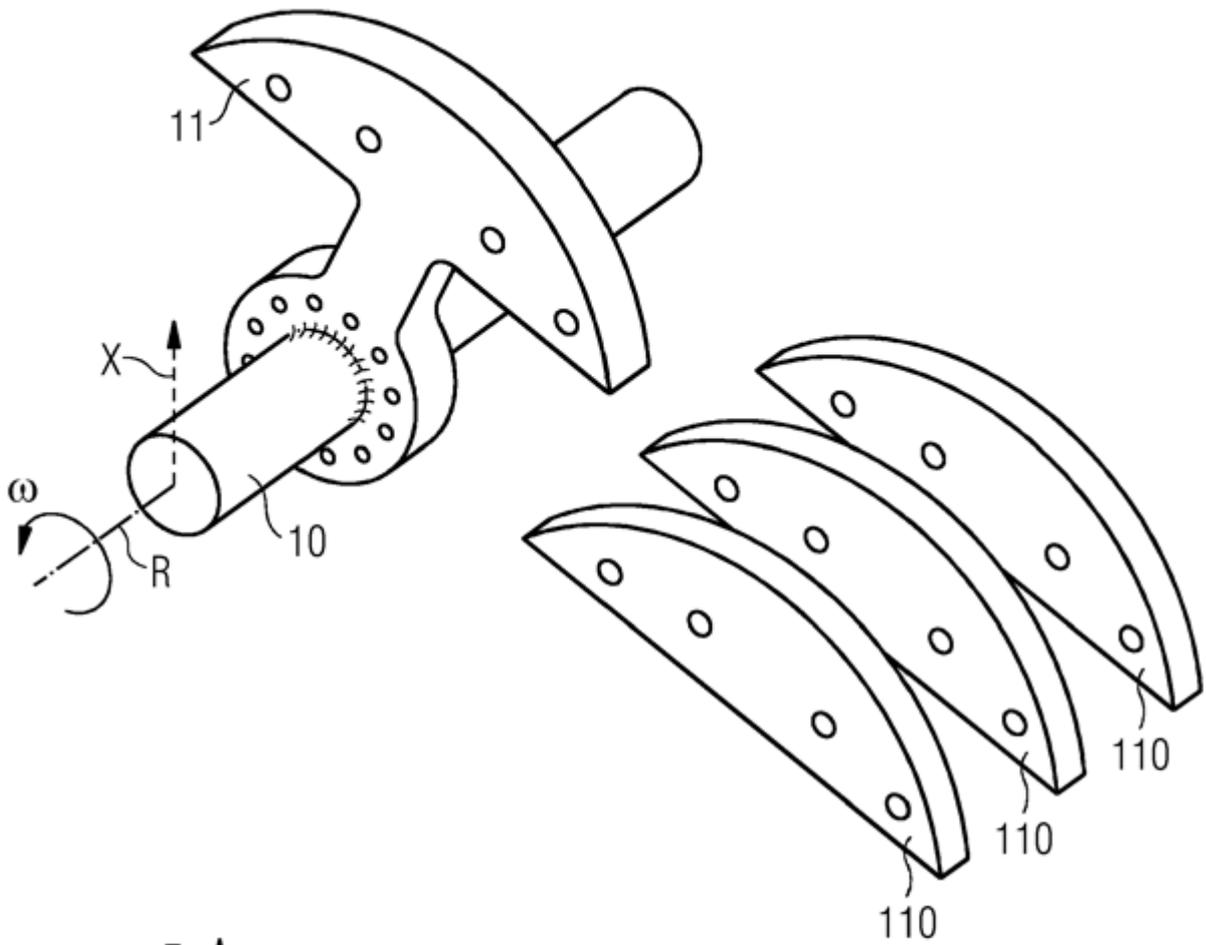


FIG 6
TÉCNICA ANTERIOR

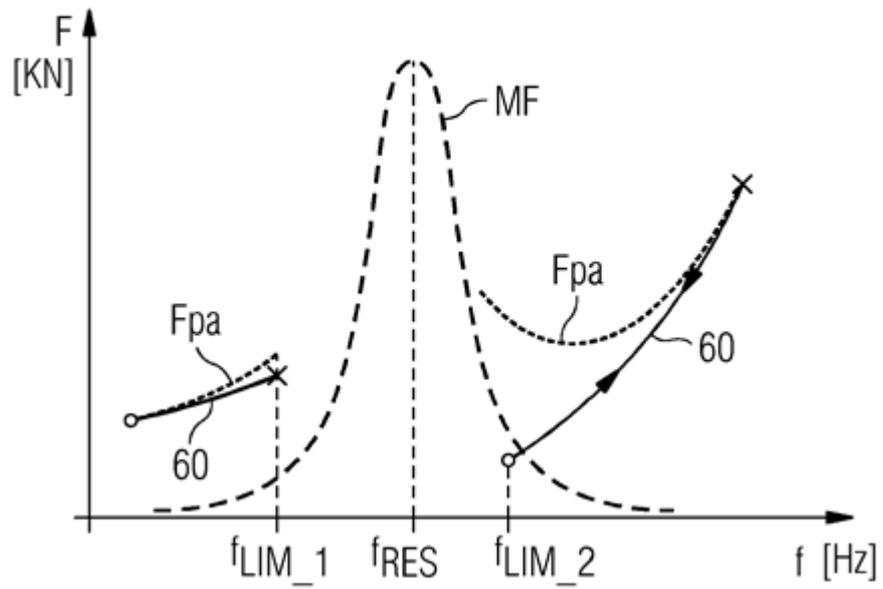


FIG 7

