

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 651**

51 Int. Cl.:

G01N 3/32 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

G01M 7/00 (2006.01)

G01M 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2009 PCT/GB2009/050307**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2009 WO09127851**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2009 E 09732257 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2269023**

54 Título: **Aparato y método de carga de muestra**

30 Prioridad:

14.04.2008 GB 0806681

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2018

73 Titular/es:

**OFFSHORE RENEWABLE ENERGY CATAPULT
(100.0%)**

**Offshore House Albert Street Blyth
Northumberland NE24 1LZ, GB**

72 Inventor/es:

**WAGGOT, ALAN;
HOPE, PETER;
WILLIAMSON, IAN y
COURT, RICHARD**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 690 651 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

Aparato y método de carga de muestra

La presente invención se refiere a sistemas para aplicar cargas estructurales a muestras y más en concreto para aplicar cargas estructurales cíclicas a una estructura alargada tal como un álabe de turbina eólica para hacer que la estructura vibre, especialmente a una frecuencia de resonancia.

El rotor de una turbina eólica típica comprende una pluralidad de álabes de turbina largos, delgados, montados en un cubo y que se extiende desde él. El rotor está acoplado a uno o más generadores eléctricos que generan electricidad cuando son accionados por el movimiento de rotación del cubo. Para incrementar la eficiencia de la turbina eólica, se están produciendo álabes más largos y más grandes para capturar una mayor cantidad de energía de un viento dominante. El incremento en el tamaño del álabe produce como resultado un incremento en las cargas estáticas y dinámicas a las que se ve sometido. Por lo tanto, es extremadamente deseable ensayar los álabes antes del montaje e instalación para garantizar que no fallan mientras están en servicio.

Típicamente, para ensayar un álabe de turbina eólica, éste se orienta horizontalmente sobre su lateral y se constriñen en todas direcciones en su raíz sujetando con pernos la misma a un banco de ensayos apropiado. A continuación se aplican cargas al álabe en puntos apropiados y en diferentes direcciones. Por ejemplo, un tipo de carga se aplica verticalmente hacia abajo y perpendicularmente a un eje longitudinal del álabe; denominada a menudo carga de flexión o de flap. Otro tipo de carga también se aplica perpendicularmente al eje longitudinal del álabe, pero también perpendicular a la dirección de la carga de flap. A menudo a este tipo de carga se le denomina carga lateral o de borde. Estos ensayos pueden ser estáticos o dinámicos para determinar la rigidez o la resistencia de un álabe o sus prestaciones a fatiga, respectivamente.

Otro tipo de ensayo es hacer que el álabe resuene en sus diferentes modos de resonancia. Para hacer que el álabe resuene, es conocido aplicar una carga de flexión cíclica para hacer vibrar al álabe en un punto deseado, típicamente cerca de la punta del álabe, para hacer que el álabe resuene en la dirección longitudinal. Por lo general el álabe empieza a resonar en su primer modo y a continuación en los siguientes modos a medida que se va incrementando la frecuencia de la carga de flexión cíclica. La vibración resonante del álabe reduce la cantidad de energía necesaria si no para aplicar cargas de flexión o laterales, por ejemplo. Por lo tanto, es deseable hacer que el álabe resuene, particularmente para ensayar álabes más grandes.

Sin embargo, los sistemas conocidos para ensayar álabes de turbina eólica son incapaces de simular completamente las condiciones de la vida real. Por ejemplo, cada álabe es sometido a cargas tanto de flexión como laterales durante el servicio por las fuerzas de un viento dominante y muchos sistemas conocidos son incapaces de aplicar simultáneamente estos dos tipos de carga al álabe. La práctica habitual es realizar los ensayos resonantes de flexión y laterales de forma independiente en momentos diferentes. Entre los diferentes ensayos, se deben desmontar los medios para aplicar una carga cíclica al álabe, se deben aflojar los pernos o mordazas que constriñen la raíz del álabe, a continuación es necesario hacer girar el álabe hasta colocarlo en la orientación deseada y se deben apretar los pernos o mordazas antes de que se pueda realizar el ensayo diferente. Como resultado, el tiempo necesario para realizar los ensayos independientes es largo y por lo tanto caro.

El documento US2006037402 A1 describe un sistema para ensayar álabes de turbina eólica que comprende un actuador resonante que tiene una masa que realiza un movimiento de vaivén dentro de un bastidor voluminoso el cual está montado en el lado superior de un álabe orientado horizontalmente y constreñido en su raíz. El actuador resonante hace vibrar al álabe en una dirección vertical haciendo que éste resuene en perpendicular al eje longitudinal. El sistema comprende un actuador de carga transversal opcional el cual está montado en el suelo y comprende una barra de empuje montada a pivotamiento en el borde del álabe. El actuador transversal transmite una fuerza y un movimiento al álabe en una dirección lateral. El actuador transversal no opera en modo resonante. El desplazamiento transversal se efectúa por la acción de la barra de empuje de un cilindro hidráulico forzado. La barra de empuje del actuador transversal está montada a pivotamiento en el álabe para admitir el desplazamiento vertical del álabe vibratorio.

Sin embargo, tanto el actuador transversal como el actuador resonante son típicamente grandes y voluminosos. El actuador resonante incluye una gran masa que realiza un movimiento de vaivén para hacer que el álabe vibre. Para álabes grandes, la masa puede ser de hasta unas pocas toneladas para hacer que el álabe vibre, e incluso más en algunos casos. Esto es particularmente indeseable cuando se está preparando el ensayo, por ejemplo. La masa por lo general realiza un movimiento de vaivén a lo largo de un eje que es perpendicular al eje longitudinal del álabe y que lo corta. Por lo tanto, preparar el ensayo y colocar con precisión el actuador resonante sobre el álabe consume un tiempo especialmente largo y es particularmente caro. Sólo se pueden aplicar cargas de flexión al álabe con la masa grande ya que montar una masa como esa en el borde de un álabe para carga lateral es inconvenientemente difícil, cuando no imposible. Además, el actuador resonante se debe montar sobre el álabe en una posición deseada y se deben fabricar soportes apropiados que sean específicos para la posición deseada a lo largo del eje del álabe. Si se desea una posición diferente, se deben fabricar nuevos soportes ya que el perfil del álabe cambia a lo largo del álabe. El actuador resonante incluyendo la masa tiene su propio centro de gravedad. Si el centro de gravedad del actuador resonante está desplazado con respecto al eje longitudinal del álabe esto produce como resultado que se

imponga un momento sobre el álabe cuando éste es desplazado en una dirección lateral por el actuador transversal. Esto impone carga poco realista sobre el álabe y tiene un efecto perjudicial para el comportamiento del álabe que se está ensayando. Un resultado de esto son resultados del ensayo incorrectos o poco realistas.

5 El actuador transversal es forzado hidráulicamente y montado de forma compleja en el álabe y el álabe requiere un grado de modificación para adaptarse a esta fijación. Esto es particularmente indeseable en los casos en que un cliente solicita que se le devuelva el álabe después del ensayo. Aunque el actuador transversal está fijado a pivotamiento al álabe, el comportamiento del álabe se ve afectado por la fijación del actuador transversal al álabe y por el acoplamiento del álabe al suelo por medio de esta fijación pivotante. En concreto, la barra de empuje del actuador transversal describe un arco a medida que se mueve lateralmente y el álabe vibra verticalmente haciendo
10 que se impongan cargas poco realistas al álabe. Por lo tanto, el sistema intenta aplicar simultáneamente cargas cíclicas tanto de flexión como laterales al álabe pero las condiciones de ensayo no son representativas de las condiciones experimentadas por el álabe sobre el terreno. Por lo tanto, se requiere un sistema para ensayar álabes de turbina eólica que sea capaz de aplicar simultáneamente cargas cíclicas de flexión y laterales a un álabe de una manera controlada y práctica a fin de simular condiciones de la vida real.

15 El documento DE1020050388033 A1 describe un dispositivo para ensayar la estabilidad y la resistencia a la flexión de mástiles. El dispositivo tiene un excitador de desequilibrio con forma de anillo apropiado para su montaje en el mástil redondo alrededor del cual masas giran alrededor del eje del mástil en una trayectoria circular o elíptica.

Un primer aspecto de la presente invención proporciona un aparato para aplicar al menos una carga cíclica a un espécimen alargado que tiene una sección transversal con forma de perfil aerodinámico de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:

- al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén, cada uno de los cuales comprende una masa y un actuador, donde el actuador está asociado operativamente con la masa para mover la masa a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lineal;
- medios de montaje para montar cada actuador en un espécimen; y
- 25 - un sistema de control asociado operativamente con cada actuador, operando el sistema de control cada actuador para hacer que su correspondiente masa realice un movimiento de vaivén a lo largo de su respectiva trayectoria de desplazamiento lineal;

30 en el cual los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén están espaciados entre sí y montados de forma independiente a ambos lados de un eje longitudinal del espécimen y perpendiculares a dicho eje longitudinal de tal manera que los actuadores mueven sus correspondientes masas sobre trayectorias de desplazamiento lineales, independientes, y substancialmente paralelas.

35 De forma apropiada, los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén están adaptados para ser montados independientemente de manera espaciada en una dirección transversal a una línea media longitudinal o eje longitudinal del espécimen. En concreto los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén están adaptados para ser montados y espaciados para permitir que la carga aplicada a ambos lados del eje longitudinal del espécimen esté equilibrada durante el uso.

Una persona con experiencia en la técnica entenderá que el término 'eje longitudinal' es conocido generalmente por ser una línea media longitudinal que discurre a lo largo de la longitud de un espécimen y que no está limitado a un eje de giro o de simetría.

40 Montar los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén de manera espaciada de modo que se aplica una carga a ambos lados del eje longitudinal del espécimen permite ventajosamente que se proporcione una configuración de ensayo más fácilmente equilibrada en comparación con los casos en que se monta una única carga sobre un espécimen como en los sistemas conocidos. Como se ha descrito anteriormente, una única masa montada fuera del eje longitudinal del espécimen desequilibra la configuración de ensayo y aplica momentos poco
45 realistas al espécimen durante el ensayo, particularmente si se aplica simultáneamente una carga lateral. La centralización cuidadosa de una única masa para evitar desequilibrio de la carga es una cuestión práctica significativa en sistemas de este tipo.

50 Espaciar los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén permite que la masa que se quiere que haga que el espécimen vibre, y preferiblemente que resuene, se pueda dividir de forma efectiva en las correspondientes masas de los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén. Las correspondientes masas de cada uno de los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén se mueven a lo largo de trayectorias de desplazamiento extendidas transversalmente paralelas que se pueden situar a continuación a ambos lados del espécimen y perpendiculares a su eje longitudinal. Dividir los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén hace que sea más fácil conseguir una carga cíclica más equilibrada del espécimen en una
55 dirección perpendicular al eje longitudinal. Preparar la configuración de ensayo y, en concreto, montar cada uno de los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén en el espécimen se vuelve más fácil debido a la capacidad de 'dividir' masas a ambos lados del eje longitudinal.

Para llevar a efecto esto, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén están espaciados lateralmente para permitir la definición de un punto de equilibrio de fuerzas alrededor del cual se pueden equilibrar las fuerzas aplicadas, de modo que cualquier momento de giro alrededor del punto de equilibrio de fuerzas se reduzca y preferiblemente se minimice cuando se hace que las masas realicen un movimiento de vaivén. Por ejemplo, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén comprenden grupos en parejas de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén espaciados a ambos lados de un punto de equilibrio de fuerzas de manera que las fuerzas aplicadas se pueden equilibrar alrededor del punto de equilibrio de fuerzas. Preferiblemente los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén comprenden exactamente una pareja dividida de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén, dividida a ambos lados de dicho punto de equilibrio de fuerzas de tal manera que las fuerzas aplicadas se puedan equilibrar alrededor del punto de equilibrio de fuerzas. En concreto no se introduce ninguna carga de par indeseable.

Ventajosamente, la tolerancia de equilibrio de carga mejorada conferida por masas divididas en comparación con una única masa produce un sistema que tolerará movimiento de las masas una mayor distancia a lo largo de sus trayectorias de desplazamiento asociadas sin aplicar momentos adicionales al espécimen. Esto puede permitir que se reduzca la masa total para una carga dada.

Preferiblemente, el sistema de control está adaptado para mover las correspondientes masas de los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén a lo largo de sus trayectorias de desplazamiento paralelas en fase las unas con las otras. De forma alternativa, las correspondientes masas de los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén se pueden controlar para que se muevan fuera de fase las unas con respecto a las otras para aplicar una carga de torsión al espécimen alrededor de un eje longitudinal, si se desea.

Preferiblemente, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén se colocan para mover sus correspondientes masas a lo largo de trayectorias de desplazamiento lineales paralelas en una primera dirección general y al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales se colocan para aplicar simultáneamente una carga cíclica en una segunda dirección substancialmente perpendicular a la primera dirección. Los al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales aplican de manera simultánea una segunda carga cíclica al espécimen en una dirección que es substancialmente perpendicular a la primera dirección de la carga cíclica aplicada por los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén.

De forma apropiada, el espécimen puede tener una sección transversal con forma de perfil aerodinámico que tenga superficies superior e inferior y bordes estrechos, siendo por ejemplo un álabe de turbina eólica en una posición de ensayo orientada horizontalmente. De forma apropiada, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén pueden estar provistos de medios de montaje para montar sobre superficies superior e inferior opuestas del espécimen y los al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales pueden estar provistos de medios de montaje para montaje sobre un borde, o viceversa.

De forma apropiada, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén pueden aplicar una carga de flexión cíclica al espécimen y los medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales pueden aplicar simultáneamente una carga lateral cíclica al espécimen. De esta manera, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén pueden constituir en este modo de operación un actuador resonante y los medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales pueden constituir un actuador transversal de manera familiar.

Ventajosamente, los al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales no están acoplados de ninguna manera con el suelo y operan independientemente de los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén. Esto garantiza que la carga simultánea aplicada al espécimen es más realista que la carga aplicada por los sistemas conocidos en la técnica.

Los medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales pueden comprender de forma apropiada al menos unos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén secundarios que tengan una masa y un actuador asociado operativamente de manera similar a los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén primarios descritos anteriormente en esta memoria. Preferiblemente, los medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales comprenden una pluralidad de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén secundarios espaciados transversalmente, cada uno de los cuales tiene una masa y un actuador asociado operativamente. Preferiblemente, los medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales comprenden grupos en parejas de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén secundarios, cada uno de los cuales tiene una masa y un actuador asociado operativamente a cada lado de un punto de equilibrio de fuerzas de modo que fuerzas aplicadas se pueden equilibrar alrededor del punto de equilibrio de fuerzas. De forma conveniente, los medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales comprenden exactamente una pareja dividida de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén secundarios, dividida a ambos lados de dicho punto de equilibrio de fuerzas de modo que fuerzas aplicadas se pueden equilibrar alrededor del punto de equilibrio de fuerzas.

Preferiblemente, el aparato comprende unos medios que realizan un movimiento de vaivén primarios que comprenden una pareja primaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén, como se ha descrito anteriormente, y al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales comprenden una pareja secundaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén. Proporcionar una pareja secundaria de

medios de masa que realizan un movimiento de vaivén garantiza que las diferentes cargas aplicadas por las parejas primaria y secundaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén están equilibradas y que la configuración global del ensayo tiene efectos mínimos sobre el comportamiento vibratorio del espécimen, particularmente en sus modos de frecuencia de resonancia.

5 Preferiblemente, la primera dirección es a lo largo de una trayectoria de desplazamiento vertical y la segunda dirección es a lo largo de una trayectoria de desplazamiento horizontal. De forma apropiada, la pareja primaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén aplican una carga de flexión cíclica al espécimen y la pareja secundaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén aplican de forma simultánea una carga lateral cíclica al espécimen.

10 Preferiblemente, cada actuador está montado en un primer extremo a una base de los medios de montaje y en un segundo extremo a su correspondiente masa. La base está apropiadamente adaptada para montar el actuador en el espécimen y por lo tanto el primer extremo del actuador está fijo con respecto al segundo extremo fijado a la masa que es libre de moverse a lo largo de la trayectoria de desplazamiento lineal asociada. De forma apropiada, el actuador puede ser un actuador lineal. Se puede utilizar un actuador hidráulico lineal. De forma alternativa, se pueden utilizar otros medios apropiados, tales como un actuador eléctrico lineal o solenoide.

Preferiblemente, cada masa está montada con el deslizamiento permitido con respecto a la base de sus medios de masa que realizan un movimiento de vaivén asociados.

Preferiblemente, cada masa está acoplada con el deslizamiento permitido a al menos un cojinete lineal.

20 Preferiblemente, cada masa está montada de forma no permanente sobre una placa de carro que está acoplada con el deslizamiento permitido al al menos un cojinete lineal. De forma apropiada, el cojinete lineal puede ser un carril con el cual está adaptada para acoplarse la placa de carro. El carril se monta con el deslizamiento permitido en la placa de carro y guía a dicha placa y a la masa situada sobre ella a lo largo de su trayectoria de desplazamiento lineal asociada. Por supuesto, se pueden utilizar otros medios apropiados para montar con el deslizamiento permitido cada masa sobre sus medios de masa que realizan un movimiento de vaivén asociados y para guiarla a lo largo de su trayectoria de desplazamiento lineal.

25 El sistema de control está configurado para permitir que el desplazamiento de cada masa a lo largo de su trayectoria de desplazamiento lineal asociada se pueda modificar a fin de controlar la carga cíclica aplicada al espécimen. Aunque el aparato puede ser operado en un modo 'de bucle abierto' (es decir, sin realimentación) para conseguir esta función, se prefiere dotar al aparato de un bucle de realimentación para permitir que el aparato se pueda operar en un modo 'de bucle cerrado'. Preferiblemente, el aparato comprende además un sensor de realimentación asociado operativamente con el sistema de control, produciendo el sensor de realimentación una señal de realimentación, teniendo el sistema de control capacidad para reaccionar a la señal de realimentación para de ese modo operar cada actuador en respuesta a la señal de realimentación para modificar un desplazamiento de cada masa a lo largo de su trayectoria de desplazamiento lineal asociada. El sistema de control recibe una señal de realimentación procedente de un sensor de realimentación y modifica el desplazamiento de la masa de unos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén de acuerdo con la señal de realimentación detectada.

Preferiblemente, el sensor de realimentación comprende uno o más de una galga extensométrica, un acelerómetro o un sensor de desplazamiento. De forma apropiada, el sensor de realimentación puede detectar otros parámetros y características de comportamiento del espécimen, tales como frecuencia modal o tensión, por ejemplo.

40 Preferiblemente, el sensor de desplazamiento comprende una referencia situada sobre el espécimen y un dispositivo de seguimiento de la referencia situado lejos del espécimen el cual realiza un seguimiento de una posición de la referencia. Una referencia está montada sobre el espécimen, o definida de otra manera sobre la superficie del espécimen, y un dispositivo de seguimiento de la referencia situado de forma remota realiza un seguimiento de una posición de la referencia. De forma apropiada, la referencia puede comprender un punto, una línea, un borde o un plano sobre el espécimen o puede comprender una pegatina o marca aplicada al espécimen. De forma alternativa, la referencia puede comprender un láser. De forma apropiada, el dispositivo de seguimiento de la referencia puede comprender una cámara, por ejemplo.

Esta técnica de seguimiento de referencia representa una técnica novedosa y efectiva para recuperar información de posición para un espécimen cargado dinámicamente durante un ensayo.

50 Preferiblemente, los medios de montaje comprenden una mordaza ajustable para fijación a una superficie exterior de un espécimen en cualquier posición a lo largo del espécimen. De forma apropiada, la mordaza está adaptada para que encaje entre una superficie exterior del espécimen y al menos unos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén para montar la misma en el espécimen. Ventajosamente, la mordaza es ajustable para permitir que los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén se puedan montar en cualquier posición a lo largo del espécimen. Esto es particularmente conveniente en casos en los que el perfil del espécimen, por ejemplo, un álabe de turbina eólica, es estrictamente confidencial y un cliente para el que se va a ensayar el espécimen es reacio a revelar el perfil del espécimen antes de que comience el ensayo. Con los sistemas conocidos, el perfil se debe suministrar al encargado de realizar el ensayo antes de que comience el ensayo para dejar tiempo para que se

- 5 fabriquen, por ejemplo, soportes de montaje a medida para la posición de montaje específica sobre el espécimen. En casos en los que el perfil del espécimen cambia a lo largo de su eje longitudinal y se desea una posición diferente para montar los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén, por ejemplo, un punto de carga diferente para un ensayo independiente, se deben fabricar nuevos medios de montaje específicamente para la nueva posición. Utilizando una mordaza ajustable, el perfil del espécimen en una posición deseada a lo largo del espécimen no es necesario antes del ensayo ya que la mordaza se puede ajustar de manera sencilla durante la preparación del aparato antes de que comience el ensayo. Eliminar la necesidad de medios de montaje fabricados a medida reduce el tiempo y coste necesarios para preparar el ensayo.
- 10 Preferiblemente, la mordaza comprende una plataforma adaptada para fijarla a la base de los medios de montaje. Preferiblemente, la plataforma comprende una pluralidad de orificios, cada uno de los cuales está adaptado para alojar con el deslizamiento permitido a un pasador conformado complementariamente que tiene un primer extremo y un segundo extremo, donde el primer extremo de cada pasador interacciona con una superficie exterior del espécimen. De forma apropiada, el primer extremo de cada pasador comprende una porción resiliente para proteger la superficie exterior del espécimen cuando la mordaza está *in situ*. La porción resiliente puede ser una tapa colocada por encima del primer extremo y puede ser un material de goma, por ejemplo.
- 15 Preferiblemente, el segundo extremo de cada pasador comprende un tope para limitar el movimiento con el deslizamiento permitido del pasador dentro del correspondiente orificio. De forma apropiada, el tope puede ser un resalte que se extiende hacia el exterior, similar a la cabeza de un perno, para limitar el movimiento con el deslizamiento permitido de cada pasador dentro de su correspondiente orificio.
- 20 En una posible realización, los pasadores y orificios están roscados. Para ajustar la mordaza para que se ajuste a un perfil deseado del espécimen, se ajusta cada pasador haciéndolo girar en la dirección horaria o antihoraria para, respectivamente, bajar o subir el pasador dentro de su correspondiente orificio. Después del ajuste, cada pasador queda constreñido en su dirección longitudinal por los filetes de rosca.
- 25 Se pueden utilizar otros medios apropiados para ajustar y constreñir los pasadores, como por ejemplo un ajuste por interferencia de cada pasador dentro de su correspondiente orificio. Por ejemplo, un pasador puede ser en la forma de una espiga de madera la cual está configurada de forma que se corresponda con el perfil de un orificio. Se insertan los pasadores, se sierran los extremos posteriores, y se monta detrás una placa.
- 30 De acuerdo con la invención en un aspecto adicional un método para hacer vibrar un espécimen alargado que tiene una sección transversal con forma de perfil aerodinámico de acuerdo con la reivindicación 12, comprende los pasos de:
- proporcionar al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén, cada uno de los cuales comprende una masa y un actuador asociado operativamente con su correspondiente masa para mover su masa a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lineal;
 - montar cada uno de los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén en relación espaciada sobre el espécimen y a cada lado de un eje longitudinal del espécimen y perpendiculares a dicho eje longitudinal del espécimen; y
 - proporcionar un sistema de control asociado operativamente con cada actuador para operar cada actuador para hacer que las correspondientes masas de cada uno de los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén realicen un movimiento de vaivén a lo largo de trayectorias de desplazamiento lineales, independientes, y substancialmente paralelas.
- 40 Preferiblemente los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén están montados y espaciados para permitir que la carga aplicada a ambos lados de un punto de equilibrio de fuerzas, que corresponde preferiblemente de forma general a un eje longitudinal del espécimen como se ha definido anteriormente en esta memoria, esté equilibrada durante el uso.
- 45 Montar las masas de manera espaciada de modo que se aplique una carga a ambos lados del eje longitudinal del espécimen equilibra la configuración y reduce las cargas de torsión, particularmente si se aplica simultáneamente una carga lateral.
- Preferiblemente, el método comprende aplicar una carga cíclica de tal manera y a tal frecuencia que se haga que un espécimen vibre en un modo de resonancia característico.
- 50 Preferiblemente, un espécimen es alargado, y está sujeto en un primer extremo y libre en un segundo extremo, y el método comprende montar los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén entre el primer extremo y el segundo extremo y hacer que las masas realicen un movimiento de vaivén para aplicar una carga de flexión en una dirección perpendicular a una dirección alargada del espécimen.

Preferiblemente, el método comprende los pasos de:

- colocar los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén para mover sus correspondientes masas a lo largo de trayectorias de desplazamiento lineales paralelas en una primera dirección;
- 5 - proporcionar al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales; y
- colocar los al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales para aplicar simultáneamente una carga cíclica en una segunda dirección substancialmente perpendicular a la primera dirección.

10 Preferiblemente, los al menos dos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén comprenden una pareja primaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén y los al menos unos medios que realizan un movimiento de vaivén adicionales comprenden una pareja secundaria de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén.

Preferiblemente, el espécimen es alargado y cada una de las direcciones primera y segunda es una dirección perpendicular a una dirección alargada del espécimen.

15 Preferiblemente, un espécimen es alargado y está sujeto en un primer extremo y libre en un segundo extremo para definir un plano de referencia, que corresponde por ejemplo en el caso en el que el espécimen es una estructura giratoria alargada a un plano de giro en uso, y la primera dirección es una dirección perpendicular al plano de referencia del espécimen para producir una deformación de flexión y la segunda dirección es una dirección paralela al plano de referencia del espécimen para producir una deformación transversal.

20 Preferiblemente, la primera dirección es a lo largo de una trayectoria de desplazamiento vertical y la segunda dirección es a lo largo de una trayectoria de desplazamiento horizontal.

Preferiblemente, el método comprende los pasos adicionales de:

- detectar uno o más de una deformación, una aceleración o un desplazamiento del espécimen; y
- 25 - controlar un desplazamiento de las masas a lo largo de su correspondiente trayectoria de desplazamiento lineal de acuerdo con la detección.

Preferiblemente, el método comprende los pasos adicionales de:

- colocar una referencia sobre el espécimen;
- situar una cámara lejos del espécimen; y
- realizar un seguimiento de una posición de la referencia con la cámara.

30 Preferiblemente, la referencia comprende un láser.

Preferiblemente, el método comprende los pasos de montaje adicionales de:

- proporcionar una mordaza ajustable que comprende una plataforma que tiene una pluralidad de orificios, cada uno de los cuales está adaptado para alojar a un pasador conformado complementariamente que tiene un primer extremo y un segundo extremo;
- 35 - ajustar cada pasador de acuerdo con un perfil del espécimen de modo que el primer extremo de cada pasador interacciona con una superficie exterior del espécimen para montar la plataforma al espécimen en una orientación deseada; y
- fijar unos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén a la plataforma.

40 Se describirá ahora una realización de la presente invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la Figura 1 muestra unos únicos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén;
- la Figura 2 muestra una mordaza ajustable para montar unos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén en un espécimen; y
- 45 - la Figura 3 muestra dos parejas independientes de medios de masa que realizan un movimiento de vaivén montadas sobre un álabe de turbina eólica para aplicar de forma simultánea cargas cíclicas de flexión y laterales al álabe.

Como se muestra en la Figura 1, unos medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén incluyen una placa base 2 para montar los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén en un espécimen, tal como un álabo de turbina eólica (no mostrado). La placa base 2 incluye dos carriles 4 espaciados fijados a ella, teniendo cada carril 4 una primera ala y una segunda ala conectadas mediante un alma para definir una sección en I.

5 Los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén incluyen además una pluralidad de unidades 6 de masa montadas individualmente mediante pernos 8 a una placa de carro 10. Las unidades 6 de masa pueden ser de un material de alta densidad apropiado tal como plomo, por ejemplo. La placa de carro 10 tiene cuatro patines 12 fijados a su base. Cada patín 12 comprende un canal que está conformado complementariamente al primer ala de cada carril 4 para permitir que la placa de carro 10 deslice linealmente a lo largo de los carriles 4. La relación acoplada de los patines 12 y los carriles 4 también impide que la placa de carro 10 y las unidades 6 de masa se salgan de los carriles 4. Los carriles 4 también están provistos de topes 14 en sus extremos libres para impedir que los patines 12 se deslicen fuera de los carriles 4 en una dirección longitudinal. Los patines 12 y los carriles 4 pueden incluir medios de reducción del rozamiento tales como un lubricante y/o cojinetes, por ejemplo.

15 La placa de carro 10 está acoplada mecánicamente a un primer extremo de un actuador 16 hidráulico lineal. Un segundo extremo del actuador 16 está fijado a la placa base 2. El actuador 16 está controlado operativamente para mover la placa de carro 10 y las unidades 6 de masa montadas sobre ella a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lineal guiadas por los carriles 4. De forma alternativa el actuador 16 hidráulico lineal puede ser un actuador eléctrico, tal como un solenoide. Un sistema de control (no mostrado) opera el actuador 16 para hacer que la placa de carro 10 y las unidades 6 de masa montadas sobre ella realicen un movimiento de vaivén a lo largo de la trayectoria de desplazamiento lineal.

20 Una vez montados en un espécimen alargado, orientados horizontalmente y constreñidos en un extremo, los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén hacen que el espécimen vibre en perpendicular a su eje longitudinal. El desplazamiento de la placa de carro 10 y de las unidades 6 de masa a lo largo de la trayectoria de desplazamiento lineal se puede controlar y modificar para hacer que el espécimen vibre a diferentes frecuencias, por ejemplo a su frecuencia de resonancia. Opcionalmente un sensor de realimentación (no mostrado) puede estar asociado operativamente con el sistema de control, para producir una señal de realimentación, teniendo el sistema de control capacidad para reaccionar a la señal de realimentación para de ese modo operar el actuador 16 en respuesta a la señal de realimentación para modificar un desplazamiento de la placa de carro 10 y de las unidades 6 de masa a lo largo de la trayectoria de desplazamiento lineal.

25 De acuerdo con la realización de la presente invención, al menos dos medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén están espaciados entre sí de tal manera que los actuadores 16 mueven sus correspondientes unidades 6 de masa sobre trayectorias de desplazamiento lineales, independientes, y substancialmente paralelas. Dividir los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén hace que sea más fácil conseguir una carga cíclica más equilibrada del espécimen en cualquier dirección perpendicular al eje longitudinal. Colocar los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén a ambos lados del eje longitudinal del espécimen garantiza que el centro de gravedad de la configuración de ensayo esté bajo, reduciendo de manera significativa las cargas indeseables durante el ensayo. También se consigue que sea más fácil preparar la configuración de ensayo y, en concreto, montar cada uno de los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén en el espécimen debido a la capacidad de 'dividir' masas a cada lado del eje longitudinal, como se ha descrito anteriormente.

30 Para llevar a efecto esto, los al menos dos medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén están espaciados para permitir la definición de un punto de equilibrio de fuerzas alrededor del cual se pueden equilibrar las fuerzas aplicadas, de modo que cualquier momento de giro alrededor del punto de equilibrio de fuerzas se reduzca y preferiblemente se minimice cuando se haga que las masas 6 realicen un movimiento de vaivén.

35 Por lo tanto, para aplicar una carga de flexión cíclica equilibrada a un espécimen, unos medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén se montan a ambos lados del espécimen y se colocan sobre el espécimen para orientar sus trayectorias de desplazamiento lineales asociadas en una dirección vertical. De ese modo se hace que sus correspondientes masas 6 realicen un movimiento de vaivén hacia arriba y hacia abajo en fase a lo largo de una trayectoria de desplazamiento vertical y se aplica al espécimen una carga de flexión cíclica.

40 El desplazamiento de cada uno de los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén se puede controlar para una frecuencia deseada del espécimen. También se pueden añadir o eliminar fácilmente unidades 6 de masa individuales para modificar la masa total y la carga aplicada de acuerdo con el tamaño y rigidez del espécimen y también la frecuencia deseada del espécimen que se quiere conseguir.

45 De forma alternativa, una pareja de medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén se montan sobre las superficies superior e inferior del espécimen y se colocan sobre el espécimen para orientar sus trayectorias de desplazamiento lineales asociadas en una dirección lateral, horizontal, que es perpendicular al eje longitudinal del espécimen. De ese modo se hace que las correspondientes masas 6 de cada uno de los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén realicen un movimiento de vaivén lateralmente en fase a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lateral, horizontal, y se aplica al espécimen una carga lateral cíclica.

También de forma alternativa, y preferiblemente, las dos configuraciones anteriores se combinan para aplicar de manera simultánea cargas de flexión y laterales cíclicas al espécimen. En esta configuración, dos parejas de medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén están montados sobre superficies superior e inferior y bordes del espécimen, respectivamente. Aplicar de manera simultánea cargas cíclicas tanto de flexión como laterales al espécimen garantiza que el espécimen se está ensayando de forma realista y que las condiciones de ensayo simulan con precisión las condiciones experimentadas en servicio por el espécimen. Por ejemplo, el espécimen puede ser un álabe de turbina eólica y la aplicación simultánea de carga cíclica de flexión y lateral a un álabe simula de forma realista las cargas que con aplicadas al álabe por un viento dominante mientras está en servicio.

Unos medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén pueden estar dimensionados de acuerdo con el tamaño del espécimen y, en los casos en que el perfil del espécimen lo permite, la placa base 2 de los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén se puede montar directamente en una superficie exterior del espécimen por medio de orificios 18 para pernos y pasadores 20 de posicionamiento. Sin embargo, en casos en que el espécimen es substancialmente curvado o tiene bordes estrechos, por ejemplo, un álabe de turbina eólica, por ejemplo, el montaje directo de la placa base 2 al espécimen es difícil. En este caso, es particularmente difícil conseguir un engrane seguro de la placa base 2 de unos medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén en un borde estrecho del espécimen.

Como se muestra en la Figura 2, se utiliza una mordaza 40 ajustable para montar uno o más medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén en un espécimen. La mordaza 40 incluye una plataforma 42 que tiene una pluralidad de orificios 44, cada uno de ellos adaptado para alojar con el deslizamiento permitido a un pasador 46 conformado complementariamente que tiene un primer extremo 48 y un segundo extremo 50. El primer extremo 48 de cada pasador 46 interacciona con una superficie exterior del espécimen. Una porción resiliente (no mostrada) puede estar situada sobre el primer extremo 48 de cada pasador 46 para proteger la superficie exterior del espécimen cuando la mordaza 40 está *in situ*. La porción resiliente puede ser una tapa colocada por encima del primer extremo 48 y puede ser un material de goma, por ejemplo.

El segundo extremo 50 de cada pasador 46 comprende una forma de tope para limitar el movimiento con el deslizamiento permitido del pasador 46 dentro del orificio 44 correspondiente. El tope puede ser un resalte que se extiende hacia el exterior, similar a la cabeza de un perno, o los pasadores 46 y orificios 44 pueden estar roscados, por ejemplo. En casos en los que los pasadores 46 y los orificios 44 están roscados, la mordaza 40 se ajusta a un perfil del espécimen haciendo girar cada pasador 46 en una dirección horaria o antihoraria para bajar o subir el pasador 46, respectivamente, dentro de su correspondiente orificio 44. Después del ajuste, cada pasador 46 queda constreñido en su dirección longitudinal por los filetes de rosca. Por supuesto, se pueden utilizar otros medios de ajustar y constreñir los pasadores 46, tales como, por ejemplo, un ajuste por interferencia de cada pasador 46 dentro de su correspondiente orificio 44.

Ventajosamente, la mordaza 40 es ajustable para permitir que los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén se puedan montar en cualquier posición a lo largo del espécimen, particularmente en casos en que los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén se deben montar sobre una superficie substancialmente curvada o sobre un borde estrecho. La mordaza 40 ajustable es también particularmente conveniente en casos en que el perfil del espécimen, por ejemplo, un álabe de turbina eólica, es estrictamente confidencial y un cliente para el que se va a ensayar el espécimen es reacio a revelar el perfil del espécimen antes de que comiencen los ensayos. Con los sistemas conocidos, como se ha descrito anteriormente, el perfil se debe suministrar al encargado de realizar el ensayo antes de que comiencen los ensayos para dejar tiempo para que se fabriquen, por ejemplo, soportes de montaje a medida para la posición de montaje específica sobre el espécimen. En casos en que el perfil del espécimen cambia a lo largo de su eje longitudinal y se desea una posición diferente para montar los medios 1 de masa que realizan un movimiento de vaivén, por ejemplo, un punto de carga diferente para un ensayo independiente, se deben fabricar nuevos medios de montaje específicamente para la nueva posición. Utilizando una mordaza 40 ajustable, no se requiere un conocimiento por anticipado del perfil del espécimen en una posición deseada a lo largo del espécimen antes del ensayo, como podría ocurrir para un sistema de fijación fabricado a medida, ya que la mordaza 40 se puede ajustar de forma simple durante la preparación del aparato antes de que comience el ensayo. Eliminar la necesidad de medios de montaje fabricados a medida reduce el tiempo y el coste necesario para preparar el ensayo.

La plataforma 42 de la mordaza 40 tiene placas 52, 54 finales para permitir que una o más mordazas 40 se unan en serie para su montaje en un espécimen grande, por ejemplo un álabe de turbina eólica. Una o más mordazas 40 se pueden unir en serie en sus correspondientes placas 52 finales para proporcionar un conjunto de mordaza que tenga una única plataforma. Se pueden conectar dos conjuntos de mordaza en paralelo para fijar de forma efectiva de manera segura alrededor del espécimen.

Como se muestra en la Figura 3, dos conjuntos 60, 62 de mordaza se montan alrededor del perfil de un álabe 64 de turbina eólica, un conjunto 60 de mordaza superior montado sobre la superficie superior del álabe 64 y un conjunto 62 de mordaza inferior montado sobre la superficie inferior del álabe 64. Uno o más tirantes conectan los dos conjuntos de mordaza entre sí y fijar de forma segura alrededor del perfil del álabe.

5 Cada conjunto 60, 62 de mordaza se ajusta para garantizar que su plataforma está horizontal y orientada lateralmente al eje longitudinal del álabe 64. Unos únicos medios 68, 70 de masa que realizan un movimiento de vaivén están centralmente fijados a la plataforma de cada uno de los conjuntos de mordaza 60 superior y 62 inferior. De ese modo sus correspondientes actuadores hacen que las correspondientes masas de los medios de masa que realizan un movimiento de vaivén superior 68 e inferior 70 realicen un movimiento de vaivén en fase las unas con las otras a lo largo de sus trayectorias de desplazamiento lineales paralelas, independientes, para aplicar carga lateral cíclica al álabe 64.

10 De forma alternativa, unos únicos medios 72, 74 de masa que realizan un movimiento de vaivén pueden estar centralmente fijados a las placas finales exteriores de los conjuntos de mordaza superior 60 e inferior 62 para proporcionar dos medios 72, 74 de masa que realizan un movimiento de vaivén espaciados a ambos lados del álabe 64. Las trayectorias de desplazamiento lineales de los medios 72, 74 de masa que realizan un movimiento de vaivén laterales son independientes y paralelas y están orientadas verticalmente. Por lo tanto, de ese modo sus correspondientes actuadores hacen que las correspondientes masas de los medios 72, 74 de masa que realizan un movimiento de vaivén laterales realicen un movimiento de vaivén en fase las unas con las otras a lo largo de sus trayectorias de desplazamiento lineales paralelas, independientes, para aplicar una carga de flexión cíclica al álabe 64.

20 Como se muestra en la Figura 3, una realización más preferida es fijar unos medios de masa que realizan un movimiento de vaivén sobre las plataformas de los conjuntos de mordaza superior 60 e inferior 62 y sobre los laterales de los conjuntos de mordaza 72, 74 para de ese modo proporcionar un aparato que sea capaz de aplicar simultáneamente cargas cíclicas tanto de flexión como laterales al álabe 64. Proporcionar una primera pareja de medios 60, 62 de masa que realizan un movimiento de vaivén sobre las superficie superior e inferior del álabe 64 y una segunda pareja de medios 72, 74 de masa que realizan un movimiento de vaivén a cada lado del álabe 64, garantiza que las cargas de flexión y laterales aplicadas al álabe 64 están equilibradas y que la configuración de ensayo global tiene efectos mínimos sobre el comportamiento vibratorio del álabe 64, en particular en sus modos de frecuencia de resonancia.

30 El aparato puede operar en un modo de 'bucle-abierto' (es decir, sin realimentación) pero se prefiere dotar al aparato de un bucle de realimentación para permitir que el aparato se pueda operar en un modo de 'bucle-cerrado'. Opcionalmente se puede proporcionar un sensor de realimentación sobre el espécimen para producir una señal de realimentación que esté operativamente asociada con el sistema de control. El sensor de realimentación puede comprender una galga extensométrica, un acelerómetro o un sensor de desplazamiento, por ejemplo. El sistema de control tiene capacidad para reaccionar a la señal de realimentación para operar cada actuador de sus correspondientes medios de masa que realizan un movimiento de vaivén en respuesta a la señal de realimentación para modificar un desplazamiento de su correspondiente masa a lo largo de su trayectoria de desplazamiento lineal asociada.

35 En casos en los que se desee un desplazamiento del espécimen vibratorio, una referencia se monta en, o se define de otra manera sobre la superficie de, el espécimen, y un dispositivo de seguimiento de referencia, por ejemplo, una cámara, situada lejos del espécimen realiza un seguimiento de una posición de la referencia. La referencia puede ser un punto, una línea, un borde o un plano montado sobre el espécimen o una pegatina o marca aplicada al espécimen. De forma alternativa, la referencia puede ser un láser.

40

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para aplicar al menos una carga cíclica a un espécimen alargado que tiene una sección transversal con forma de perfil aerodinámico, que comprende:
 - al menos dos medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén, cada uno de los cuales comprende una masa (6) y un actuador (16), donde el actuador (16) está asociado operativamente con la masa (6) para mover la masa (6) a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lineal;
 - medios (2) de montaje para montar cada actuador (16) en un espécimen; y
 - un sistema de control asociado operativamente con cada actuador (16), operando el sistema de control cada actuador (16) para hacer que su correspondiente masa (6) realice un movimiento de vaivén a lo largo de su respectiva trayectoria de desplazamiento lineal;

en el cual los medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén están espaciados entre sí y montados de forma independiente a ambos lados de un eje longitudinal del espécimen y perpendiculares a dicho eje longitudinal de tal manera que los actuadores (16) mueven sus correspondientes masas (6) sobre trayectorias de desplazamiento lineales, independientes, y substancialmente paralelas.
2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los al menos dos medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén comprenden una pareja primaria de medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén, cada uno de ellos colocado para mover sus correspondientes masas (6) a lo largo de trayectorias de desplazamiento lineales paralelas en una primera dirección a cada lado del eje longitudinal del espécimen y en el cual el aparato comprende además una pareja secundaria de medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén colocados para aplicar simultáneamente una carga cíclica en una segunda dirección a cada lado del eje longitudinal del espécimen y substancialmente perpendicular a la primera dirección.
3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual la primera dirección es a lo largo de una trayectoria de desplazamiento vertical y la segunda dirección es a lo largo de una trayectoria de desplazamiento horizontal.
4. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el cual el sistema de control está adaptado para mover las correspondientes masas (6) de cada uno de los medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén a lo largo de trayectorias de desplazamiento paralelas en fase las unas con las otras.
5. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el cual el actuador (16) es un actuador hidráulico lineal.
6. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende un sensor de realimentación asociado operativamente con dicho sistema de control, produciendo el sensor de realimentación una señal de realimentación, teniendo dicho sistema de control capacidad para reaccionar a la señal de realimentación para de ese modo operar cada actuador (16) en respuesta a la señal de realimentación para modificar un desplazamiento de cada masa (6) a lo largo de su trayectoria de desplazamiento lineal asociada.
7. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual el sensor de realimentación comprende una referencia montado sobre el espécimen y una cámara situada lejos del espécimen que realiza un seguimiento de una posición de la referencia.
8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual la referencia comprende un láser.
9. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el cual los medios (2) de montaje comprenden una mordaza (40) ajustable para fijación a una superficie exterior del espécimen en cualquier posición a lo largo de dicho espécimen.
10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el cual la mordaza (40) comprende una plataforma (42) adaptada para fijarla a una base (2) de los medios de montaje y en el cual la plataforma (42) comprende una pluralidad de orificios (44), cada uno de los cuales está adaptado para alojar con el deslizamiento permitido a un pasador (46) conformado complementariamente que tiene un primer extremo (48) y un segundo extremo (50), en el cual el primer extremo (48) de cada pasador (46) interacciona con una superficie exterior del espécimen.
11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual el segundo extremo (50) de cada pasador (46) comprende un tope para limitar el movimiento con el deslizamiento permitido del pasador (46) dentro del correspondiente orificio (44).
12. Un método para hacer vibrar un espécimen alargado que tiene una sección transversal con forma de perfil aerodinámico, que comprende los pasos de:

- proporcionar al menos dos medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén, cada uno de los cuales comprende una masa (6) y un actuador (16) asociado operativamente con su correspondiente masa (6) para mover su masa (6) a lo largo de una trayectoria de desplazamiento lineal;
 - 5 - montar cada uno de los medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén en relación independientemente espaciada sobre el espécimen y a cada lado de un eje longitudinal del espécimen y perpendiculares a dicho eje longitudinal; y
 - proporcionar un sistema de control asociado operativamente con cada actuador (16) para operar cada actuador (16) para hacer que las correspondientes masas (6) de cada uno de los medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén realicen un movimiento de vaivén a lo largo de trayectorias de desplazamiento lineales, independientes, y substancialmente paralelas.
 - 10
13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende los pasos de:
- colocar una pareja primaria de medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén para mover a sus correspondientes masas (6) a lo largo de trayectorias de desplazamiento lineales en una primera dirección a ambos lados del eje longitudinal del espécimen;
 - 15 - proporcionar una pareja secundaria de medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén; y
 - colocar la pareja secundaria de medios (1) que realizan un movimiento de vaivén para aplicar simultáneamente una carga cíclica en una segunda dirección a ambos lados del eje longitudinal del espécimen y substancialmente perpendicular a la primera dirección.
14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 ó 13, que comprende los pasos de:
- 20 - montar un láser sobre el espécimen;
- situar una cámara lejos del espécimen; y
- realizar un seguimiento de una posición del láser con la cámara.
15. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, que comprende los pasos de:
- 25 - proporcionar una mordaza (40) ajustable que comprende una plataforma (42) que tiene una pluralidad de orificios (44), cada uno de los cuales está adaptado para alojar a un pasador (46) conformado complementariamente que tiene un primer extremo (48) y un segundo extremo (50);
- ajustar cada pasador (46) de acuerdo con un perfil del espécimen de modo que el primer extremo (48) de cada pasador (46) interactúe con una superficie exterior del espécimen para montar la plataforma (42) en el espécimen en una orientación deseada; y
- 30 - fijar unos medios (1) de masa que realizan un movimiento de vaivén a la plataforma (42).

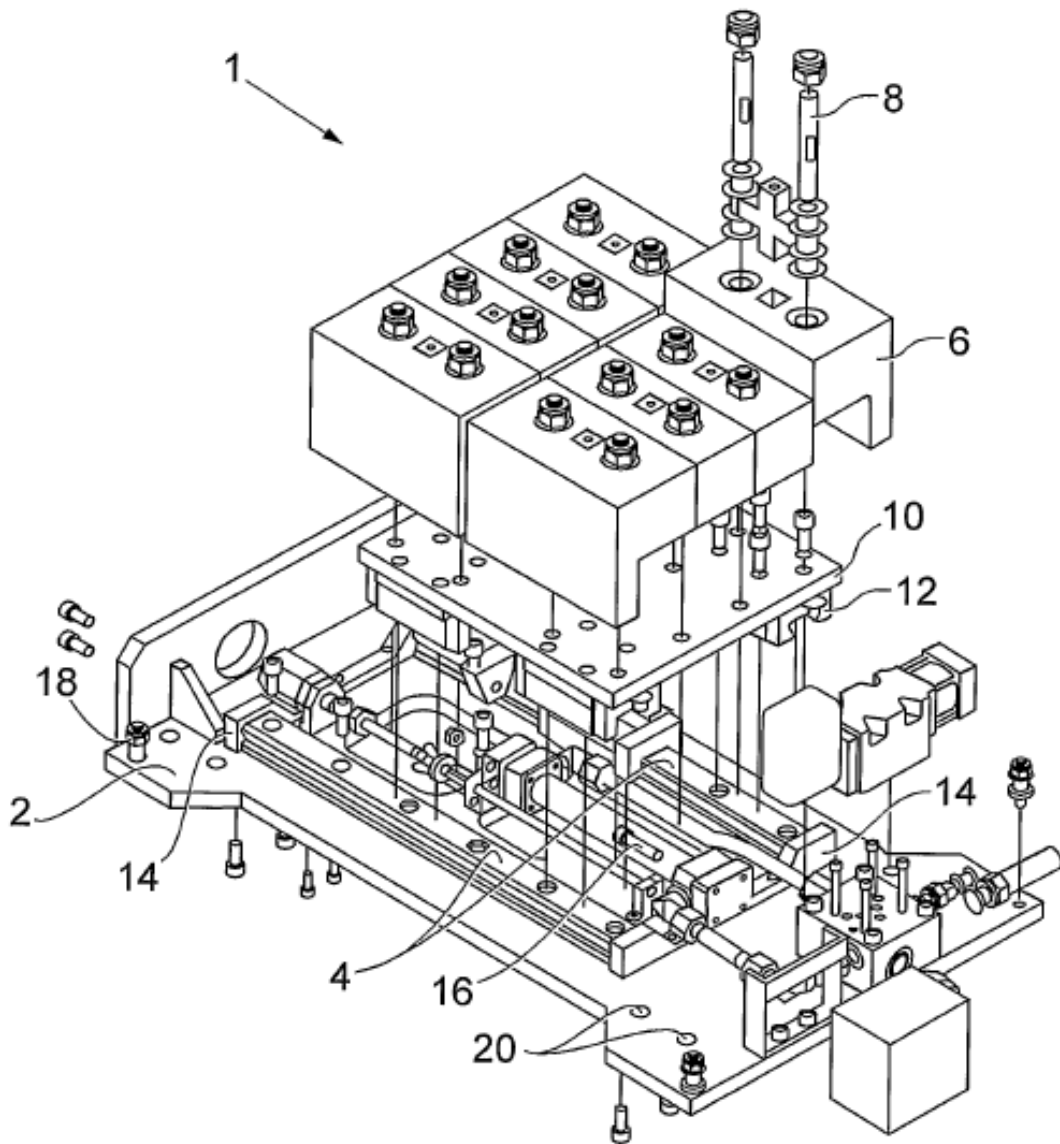


Fig. 1

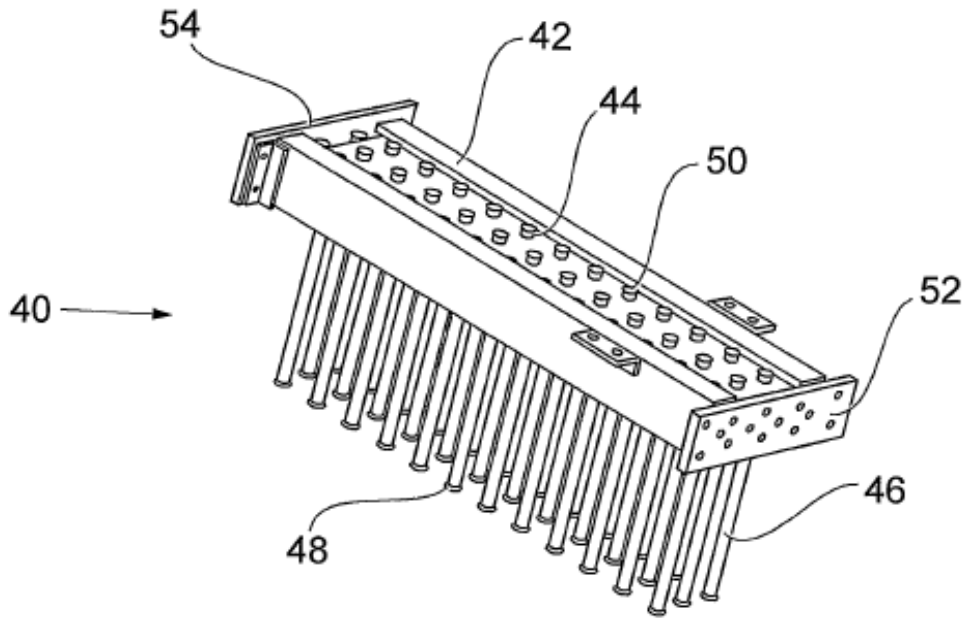


Fig. 2

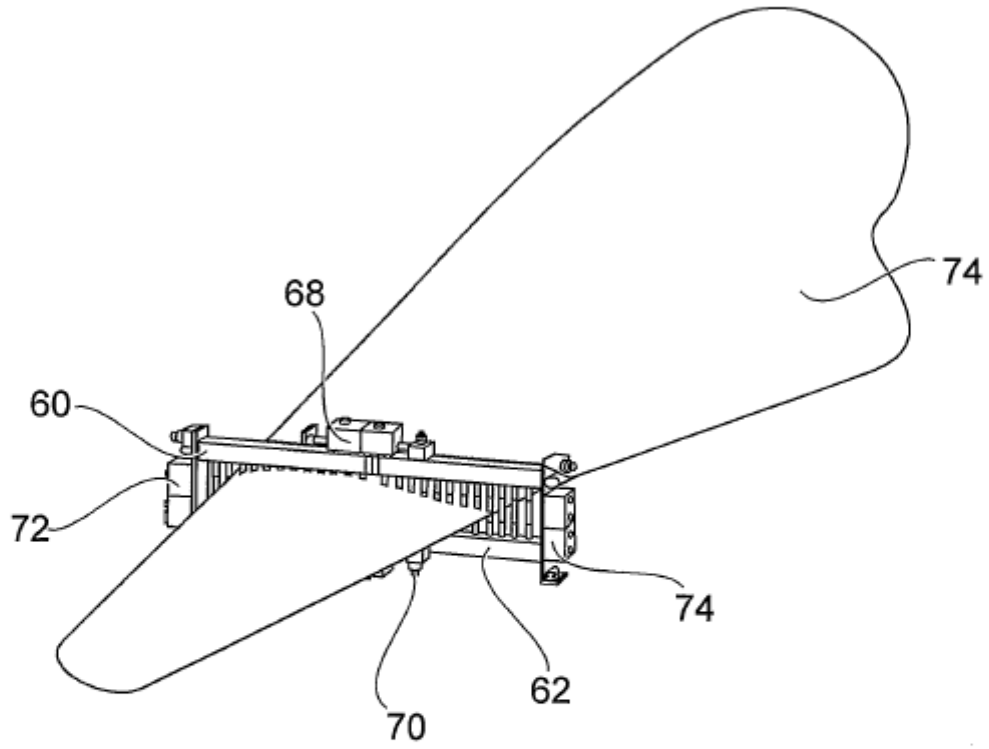


Fig. 3