

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 788**

51 Int. Cl.:

F03D 80/50 (2006.01)

F03D 13/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.01.2021** **E 21382003 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.10.2023** **EP 4027011**

54 Título: **Mitigación de las vibraciones en turbinas eólicas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
22.05.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**SCHUON, GOTTFRIED;
CANAL, MARC;
PASTOUCHENKO, NIKOLAI y
VELDKAMP, BART JAN**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 969 788 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

Mitigación de las vibraciones en turbinas eólicas

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere a palas de turbina eólica y a procedimientos para reducir las vibraciones en turbinas eólicas. Más en particular, la presente divulgación se refiere a dispositivos para mitigar las vibraciones inducidas por vórtices y las vibraciones inducidas por entrada en pérdida, y a procedimientos para reducir las vibraciones en turbina eólica cuando la turbina eólica está parada ("parked"), especialmente durante la instalación de turbinas eólicas.

Antecedentes

15 **[0002]** Las turbinas eólicas modernas se usan comúnmente para suministrar electricidad a la red eléctrica. Las turbinas eólicas de esta clase comprenden, en general, una torre y un rotor dispuesto en la torre. El rotor, que típicamente comprende un buje y una pluralidad de palas, se pone en rotación bajo la influencia del viento sobre las palas. Dicha rotación genera un par de torsión que se transmite normalmente a través de un eje de rotor a un generador, directamente o bien a través del uso de una multiplicadora. De esta manera, el generador produce electricidad que se puede suministrar a la red eléctrica.

20 **[0003]** El buje de turbina eólica se puede acoplar de forma rotatoria a una parte frontal de la góndola. El buje de turbina eólica se puede conectar a un eje de rotor y, a continuación, el eje de rotor se puede montar de forma rotatoria en la góndola usando uno o más rodamientos de eje de rotor dispuestos en un bastidor en el interior de la góndola. La góndola es una carcasa dispuesta en la parte superior de una torre de turbina eólica que puede contener y proteger la multiplicadora (si está presente) y el generador (si no está colocado en el exterior de la góndola) y, dependiendo de la turbina eólica, otros componentes, tales como un convertidor de potencia y sistemas auxiliares.

30 **[0004]** Existe una tendencia de fabricar las palas de turbina eólica cada vez más largas para capturar más viento y convertir la energía del viento en electricidad. Esto hace que las palas sean más flexibles y más propensas a vibraciones de las palas. Las palas de turbina eólica que vibran en exceso se pueden dañar. Las vibraciones de las palas de rotor también pueden dar como resultado que toda la estructura de turbina eólica oscile, por ejemplo, oscilaciones hacia adelante y hacia atrás u oscilaciones laterales. Las vibraciones en la pala de turbina eólica también pueden dañar otros componentes de la turbina eólica debido a un esfuerzo excesivo.

35 **[0005]** Cuando la turbina eólica está en operación (es decir, produciendo energía), un controlador de turbina eólica puede operar sistemas de accionamiento auxiliares, tales como un sistema de *pitch* o un sistema de orientación para reducir o cambiar las cargas en las palas. De esta manera, se pueden contrarrestar las vibraciones de las palas. Sin embargo, el problema de las vibraciones también puede ser grave en circunstancias cuando la turbina eólica está parada.

40 **[0006]** Cuando una turbina eólica está parada, el viento puede soplar contra la turbina eólica desde direcciones inusuales, es decir, diferentes de la operación normal. El flujo de aire alrededor de la turbina eólica puede provocar que la turbina eólica vibre. Las vibraciones pueden someter a esfuerzo e incluso dañar uno o más componentes de turbina eólica, lo que puede comprometer el rendimiento de la turbina eólica, puede incrementar la necesidad de reparaciones y puede reducir la vida útil de la turbina eólica. Dado que puede que la orientación de una pala de turbina eólica no se adapte a la dirección del viento entrante, por ejemplo, a través de orientación ("yawing") y/o *pitching* como cuando la turbina eólica está en operación, los efectos de las vibraciones pueden ser mayores o diferentes cuando la turbina eólica está parada que cuando la turbina eólica está en operación normalmente y produciendo energía.

50 **[0007]** Esto se puede aplicar, en particular, cuando la turbina eólica se instala o pone en marcha. Por ejemplo, puede ocurrir que se instale un rotor incompleto (por ejemplo, un rotor que tenga una única pala o dos palas de un total de tres palas). Solo unos días o una semana más tarde se pueden instalar las palas restantes. Entretanto, el rotor parcialmente instalado (o "incompleto") puede estar en reposo ("standstill"). El rotor puede estar bloqueado o no y la turbina eólica se puede exponer a condiciones de viento variables. Esto se puede aplicar igualmente si la turbina eólica se detiene durante varias horas, días o semanas, por ejemplo, por motivos de mantenimiento. Una pala de turbina eólica puede comenzar a vibrar en cualquiera de estas condiciones dependiendo, en particular, de la dirección del viento.

60 **[0008]** El documento EP32409529 es un ejemplo de un aparato antioscilación para asegurar las palas de turbina eólica contra oscilaciones.

Breve explicación

65 **[0009]** De acuerdo con la invención, se proporciona un dispositivo para mitigar las vibraciones de una pala de una turbina eólica durante el reposo. El dispositivo comprende una base flexible que tiene una primera área de conexión y una segunda área de conexión, estando configurada la primera área de conexión para fijarse a la segunda área de conexión para formar una fijación extraíble. El dispositivo comprende además uno o más elementos de modificación

de flujo de aire fijados a la base flexible. La base flexible está configurada para ajustarse a una parte de la pala de rotor, de modo que la fijación extraíble se sitúe sustancialmente en un borde de ataque de la pala.

[0010] Todavía de acuerdo con la invención, se proporciona un dispositivo que se puede ajustar, por ejemplo, envolver alrededor de una parte de la pala de turbina eólica. La base es flexible para ajustarse a una superficie exterior de la pala. Los elementos de modificación de flujo de aire pueden afectar al flujo alrededor de las palas para reducir o evitar efectos aerodinámicos indeseables, y, en particular, efectos aerodinámicos que provocan vibraciones de la pala. La fijación de partes de la base flexible es extraíble y está situada en o cerca de un borde de ataque de la pala. De este modo, se facilita la extracción del dispositivo alrededor de la pala y se pueden evitar problemas relacionados con los bordes serrados del borde de salida de la pala.

[0011] En otro aspecto, la presente divulgación proporciona un procedimiento para mitigar las vibraciones en una pala de turbina eólica parada que comprende un borde de ataque, un borde de salida, una punta y una raíz. El procedimiento comprende proporcionar una base flexible que tiene una primera área de conexión y una segunda área de conexión, en la que la primera área de conexión está configurada para fijarse a la segunda área de conexión para formar una fijación extraíble, y la base flexible porta uno o más elementos de modificación de flujo de aire. El procedimiento comprende envolver la base flexible alrededor de una parte de la pala de turbina eólica y fijar la primera área de conexión a la segunda área de conexión sustancialmente a lo largo del borde de ataque de la pala de turbina eólica. El procedimiento comprende, a continuación, instalar la pala de turbina eólica.

[0012] De acuerdo con este aspecto, se proporciona un procedimiento para mitigar las vibraciones en una pala de turbina eólica parada, y, en particular, durante la instalación. La base flexible se puede envolver temporalmente alrededor de una pala de turbina eólica y se puede extraer antes de la operación de la turbina eólica. Al colocar la fijación extraíble cerca de un borde de ataque, se facilita la extracción de la base flexible evitando los bordes serrados del borde de salida de la pala.

[0013] Aún en otro aspecto, se proporciona una funda para envolverse alrededor de una parte de una pala de turbina eólica. La funda comprende una primera parte de fijación y una segunda parte de fijación, en la que las primera y segunda partes de fijación están configuradas para formar una conexión extraíble. La funda comprende además uno o más bolsillos ("pockets") con materiales de relleno para formar elementos de modificación de flujo de aire.

[0014] De acuerdo con este aspecto, se proporciona una funda que puede ayudar a evitar las vibraciones de las palas. Los bolsillos se pueden rellenar con material de relleno que proporcione una forma exterior adecuada de la funda. Los bolsillos, al rellenarse con material de relleno, pueden formar un elemento de modificación de flujo de aire para influir en el flujo alrededor de la pala y evitar, de este modo, las vibraciones.

[0015] Por toda la presente divulgación, los términos "reposo" y "parada" se usan de manera intercambiable y se pueden entender como una situación en la que la turbina eólica no produce electricidad y el rotor está sustancialmente en reposo. El rotor puede estar bloqueado o no estar bloqueado en reposo. Por ejemplo, una turbina eólica puede estar parada o en reposo durante la instalación y/o puesta en marcha ("commissioning"). Una turbina eólica también puede estar parada, por ejemplo, por motivos de mantenimiento después de operarse normalmente, es decir, de producir energía.

Breve descripción de los dibujos

[0016]

La figura 1 ilustra una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica;

La figura 2 ilustra una vista interna simplificada de un ejemplo de la góndola de la turbina eólica de la figura 1;

La figura 3 ilustra esquemáticamente una pala de turbina eólica de acuerdo con un ejemplo;

Las figuras 4A - 4C ilustran esquemáticamente diferentes vistas de un dispositivo para reducir las vibraciones en una pala de turbina eólica;

La figura 4D ilustra esquemáticamente una vista en sección transversal y una vista desde arriba de una funda de acuerdo con un ejemplo;

La figura 5 ilustra esquemáticamente una funda de acuerdo con un ejemplo montada en una pala de turbina eólica, por ejemplo, en una región de punta de una pala de turbina eólica;

Las figuras 6A y 6B muestran omegas y cómo se pueden usar omegas para fijar la funda de acuerdo con un ejemplo;

La figura 7 ilustra esquemáticamente otro ejemplo de dispositivos para mitigar las vibraciones ajustados alrededor de una pala de turbina eólica;

La figura 8 ilustra esquemáticamente otro ejemplo de una pala de turbina eólica con dos dispositivos ajustados alrededor de partes de la pala; y

Las figuras 9A y 9B representan esquemáticamente ejemplos de un procedimiento para mitigar las vibraciones de una turbina eólica parada instalando una funda alrededor de una parte de la pala, y un procedimiento para extraer dicha funda.

Descripción detallada de los ejemplos

[0017] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, se pueden usar las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0018] La figura 1 ilustra una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica 160. Como se muestra, la turbina eólica 160 incluye una torre 170 que se extiende desde una superficie de soporte 150, una góndola 161 montada en la torre 170 y un rotor 115 acoplado a la góndola 161. El rotor 115 incluye un buje 110 rotatorio y al menos una pala de rotor 120 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 110. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 115 incluye tres palas de rotor 120. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 115 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 120. Cada pala de rotor 120 se puede espaciar alrededor del buje 110 para facilitar la rotación del rotor 115 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 110 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 162 (figura 2) situado dentro de la góndola 161 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0019] La figura 2 ilustra una vista interna simplificada de un ejemplo de la góndola 161 de la turbina eólica 160 de la figura 1. Como se muestra, el generador 162 se puede disponer dentro de la góndola 161. En general, el generador 162 se puede acoplar al rotor 115 de la turbina eólica 160 para generar potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 115. Por ejemplo, el rotor 115 puede incluir un eje de rotor 163 principal acoplado al buje 110 para su rotación con el mismo. A continuación, el generador 162 se puede acoplar al eje de rotor 163 de modo que la rotación del eje de rotor 163 accione el generador 162. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el generador 162 incluye un eje de generador 166 acoplado de forma rotatoria al eje de rotor 163 a través de una multiplicadora 164.

[0020] Se debe apreciar que el eje de rotor 163, la multiplicadora 164 y el generador 162, en general, se pueden soportar dentro de la góndola 161 por un bastidor de soporte o bancada 165 situado encima de la torre de turbina eólica 170.

[0021] La góndola 161 está acoplada de forma rotatoria a la torre 170 a través del sistema de orientación 20 de modo que la góndola 161 pueda rotar alrededor de un eje de orientación YA. El sistema de orientación 20 comprende un rodamiento de orientación que tiene dos componentes de rodamiento configurados para rotar uno con respecto al otro. La torre 170 se acopla a uno de los componentes de rodamiento, y la bancada o bastidor de soporte 165 de la góndola 161 se acopla al otro componente de rodamiento. El sistema de orientación 20 comprende un engranaje anular 21 y una pluralidad de accionamientos de orientación 22 con un motor 23, una caja de engranajes 24 y un piñón 25 para engranarse con el engranaje anular 21 para rotar uno de los componentes de rodamiento con respecto al otro.

[0022] Las palas 120 están acopladas al buje 110 con un rodamiento de *pitch* 100 entre la pala 120 y el buje 110. El rodamiento de *pitch* 100 comprende un anillo interior y un anillo exterior. Una pala de turbina eólica se puede fijar al anillo de rodamiento interior o bien al anillo de rodamiento exterior, mientras que el buje está conectado al otro. Una pala 120 puede realizar un movimiento de rotación relativo con respecto al buje 110 cuando se acciona un sistema de *pitch* 107. Por tanto, el anillo de rodamiento interior puede realizar un movimiento de rotación con respecto al anillo de rodamiento exterior. El sistema de *pitch* 107 de la figura 2 puede comprender un piñón 108 que se engrana con un engranaje anular 109 provisto en el anillo de rodamiento interior para poner en rotación la pala de turbina eólica alrededor de un eje de *pitch* PA.

[0023] Una vista en perspectiva esquemática de una pala 120 de turbina eólica, por ejemplo, una de las palas de rotor 120 mostradas en la figura 1, se ilustra como ejemplo en la figura 3. La pala de rotor 120 incluye una raíz de pala 210, una punta de pala 220, un borde de ataque 260 y un borde de salida 270. La raíz de pala 210 está configurada para montar la pala de rotor 120 en el buje 110 de una turbina eólica 160. La pala 120 de turbina eólica se extiende longitudinalmente entre la raíz de pala 210 y la punta de pala 220. Una envergadura 230 define una longitud de la pala

de rotor 120 entre dicha raíz de pala 210 y la punta de pala 220. Una cuerda 280 en una posición dada de la pala es una línea recta imaginaria que une el borde de ataque 260 y el borde de salida 270, teniendo la sección transversal, en general, una sección transversal conformada como perfil alar. Como se entiende, en general, una dirección a lo largo de la cuerda es sustancialmente perpendicular a una dirección a lo largo de la envergadura. Además, la cuerda 280 puede variar en longitud 285 a medida que la pala de rotor 120 se extiende desde la raíz de pala 210 hasta la punta de pala 220. La pala 120 de turbina eólica también incluye un lado de presión 240 y un lado de succión 250 que se extienden entre el borde de ataque 260 y el borde de salida 270. Una región de punta 225 se puede entender como una parte de una pala 120 de turbina eólica que puede estar cerca de la punta 220. La pala de rotor 120, en diferentes posiciones a lo largo de la envergadura, tiene diferentes perfiles aerodinámicos y, por tanto, puede tener secciones transversales 290 conformadas como perfil alar, tal como una sección transversal conformada como perfil alar simétrica o combada. Cerca de una raíz de la pala, la sección transversal de la pala puede ser redondeada, incluso circular o casi circular. Más cerca de una punta de la pala, la sección transversal de la pala puede tener una forma de perfil alar.

[0024] Cuando una turbina eólica está parada o detenida, las vibraciones provocadas por el aire que fluye alrededor de la turbina eólica, en particular, alrededor de las palas de turbina eólica, pueden someter a esfuerzo y dañar las palas de turbina eólica y la turbina eólica. El rotor de turbina eólica se puede bloquear o no en estas situaciones.

[0025] En particular, cuando la turbina está parada, pueden ocurrir al menos dos oscilaciones o vibraciones. Las primeras son las llamadas vibraciones inducidas por vórtices (VIV) y pueden surgir cuando un ángulo de ataque de una pala o parte de perfil alar es de alrededor de 90 grados. Los desprendimientos de vórtices pueden contribuir a potenciar la oscilación de pala de turbina eólica. Las segundas son vibraciones inducidas por entrada en pérdida (SIV) y pueden surgir cuando el ángulo de ataque está cerca de los ángulos de entrada en pérdida (por ejemplo, 15 grados - 20 grados). El ángulo de ataque se puede entender como un ángulo geométrico entre una dirección de flujo del viento y la cuerda de una pala de rotor.

[0026] Los dispositivos o fundas 300 como se describe en el presente documento pueden reducir las vibraciones cuando la turbina eólica está parada y el rendimiento de la turbina eólica puede no verse afectado negativamente ya que la funda se puede extraer antes de que la turbina eólica comience la operación normal. Una funda 300 de este tipo puede ser, en particular, útil durante la instalación y/o puesta en marcha de una turbina eólica. También puede ser útil si la turbina eólica se detiene, por ejemplo, para su mantenimiento.

[0027] Las figuras 4A - 4C ilustran esquemáticamente diferentes vistas de un dispositivo para reducir las vibraciones en una pala de turbina eólica.

[0028] La figura 4A ilustra esquemáticamente un dispositivo para mitigar las vibraciones de una pala 120 de una turbina eólica durante el reposo. El dispositivo comprende una base flexible 300 que tiene una primera área de conexión y una segunda área de conexión, estando configurada la primera área de conexión para fijarse a la segunda área de conexión para formar una fijación extraíble. El dispositivo puede incluir uno o más elementos de modificación de flujo de aire 360 fijados a la base flexible, y la base flexible 300 está configurada para ajustar alrededor de una parte de la pala de rotor de modo que la fijación extraíble se sitúe sustancialmente en un borde de ataque 260 de la pala.

[0029] La base flexible es lo suficientemente flexible como para ajustarse al menos parcialmente a una superficie exterior de la pala, es decir, no es necesario que la base flexible siga muy estrictamente el contorno exterior de la pala.

[0030] El dispositivo se puede formar como una funda o se puede formar en una funda, por ejemplo, plegándose sobre sí mismo. En el presente documento, una funda se puede considerar una cubierta que se pueda envolver alrededor de una parte de la pala para cubrir la parte y, de este modo, adopta una forma un tanto cilíndrica. No se necesita que la funda sea continua alrededor de 360° y puede comprender una pluralidad de aberturas o partes transparentes o translúcidas para permitir la visualización de la pala, y, en algunos ejemplos con aberturas o recortes, puede incluir tiras 390 de material para completar los 360° alrededor de la parte de la pala.

[0031] La fijación extraíble se puede configurar para abrirse de forma remota. Por tanto, cuando la pala está montada en el buje, la fijación se puede extraer por un operario(s). En diferentes ejemplos, el/los operario(s) puede(n) estar en el buje, en una grúa o en el suelo para extraer la fijación.

[0032] En algunos ejemplos, la fijación extraíble puede comprender un elemento de bloqueo 590 extraíble. El elemento de bloqueo extraíble puede ser un pasador o cable que mantiene las sujeciones en su lugar. En un ejemplo específico, el elemento de bloqueo puede ser un cable de acero con una cubierta de plástico.

[0033] En algunos ejemplos, el dispositivo puede comprender una línea 580 fijada al elemento de bloqueo extraíble, véase, por ejemplo, la figura 4C. En el presente documento, una línea se puede considerar como cualquier clase de cable, cuerda o cordel. La línea se puede sostener por un operario o dispositivo situado en el buje para tirar del elemento de bloqueo 590.

[0034] En algunos ejemplos, la primera área de conexión del dispositivo puede incluir una primera serie de sujeciones 584, y la segunda área de conexión incluye una segunda serie de sujeciones 582, en el que la primera serie de sujeciones está configurada para acoplarse con, insertarse en o caber en la segunda serie de sujeciones 582, y en el que las primeras sujeciones 584 están aseguradas a las segundas sujeciones 582 con el elemento de bloqueo 590 extraíble. En el ejemplo de la figura 4C, las sujeciones se pueden intercalar, es decir, la primera serie de sujeciones se sitúa entre la segunda serie de sujeciones. En otros ejemplos, la primera serie de sujeciones puede ser sujeciones macho y la segunda serie de sujeciones puede ser sujeciones hembra. El elemento de bloqueo extraíble puede mantener las sujeciones macho situados dentro de las sujeciones hembra (receptores).

[0035] En aún otros ejemplos, la fijación extraíble puede incluir imanes, una cremallera o sujeciones de gancho y bucle, por ejemplo, Velcro™.

[0036] En algunos ejemplos, la base flexible puede ser de base textil, por ejemplo, se pueden usar telas de PVC, tales como se usan en lonas. El tejido se puede recubrir para una resistencia a la intemperie mejorada. Se puede ajustar fácilmente una base flexible de base textil alrededor de una parte de la pala de turbina eólica. Al ajustarse alrededor de la parte de la pala, se puede formar una cubierta o funda. Opcionalmente, la base flexible puede comprender uno o más tensores para tensar la base flexible alrededor de la parte de la pala de rotor. Un tensor 390 puede incluir un primer punto de fijación (que se puede coser o de otro modo fijar a la base flexible), un segundo punto de fijación y una tira de material que se extiende entre los dos puntos de fijación. Al tirar de la tira, los puntos de fijación se pueden acercar entre sí y, por tanto, se puede apretar más la base flexible. El tensor puede incluir una correa de trinquete.

[0037] Se pueden usar bases flexibles de base textil con tensores en diferentes palas y se pueden usar en diferentes partes de palas. En dichos ejemplos, no hay necesidad de fabricar dispositivos específicos para palas y, en cambio, se puede usar el mismo dispositivo en palas con diferentes dimensiones.

[0038] Con referencia, de nuevo, a la figura 4, uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire 360 se pueden incorporar en la base flexible. Estar incorporado en la base flexible se puede entender en el presente documento como estar incluido en un interior de la base flexible. Es decir, una superficie exterior del elemento de modificación de flujo de aire está formada por la base flexible. En otros ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire se pueden montar en una superficie exterior de la base flexible.

[0039] Los elementos de modificación de flujo de aire o "deflectores" pueden tener cualquier forma adecuada para alterar significativamente el flujo alrededor de una pala de turbina eólica. En particular, los elementos de modificación de flujo de aire se pueden elegir de modo que una componente a lo largo de la envergadura de un flujo de aire se haga más turbulenta, o para hacer que los desprendimientos de vórtices sean incoherentes a lo largo de la envergadura de pala. Estos dos efectos pueden afectar, en particular, a la aparición de vibraciones inducidas por vórtices y por entrada en pérdida.

[0040] Como se muestra en la figura 4, y se explicará además en el presente documento, la base flexible puede comprender uno o más bolsillos que contengan un material de relleno para formar uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire. Un material de relleno puede ser, por ejemplo, una espuma o material a granel. Al rellenar los bolsillos, el material de relleno proporciona cierta resistencia y rigidez estructural a los bolsillos de otro modo holgados y flexibles. Por tanto, los bolsillos pueden adoptar una forma exterior adecuada para alterar o afectar al flujo alrededor de la pala.

[0041] En ejemplos, uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire (también) se pueden montar en una superficie exterior de la base flexible. Se puede usar cualquier elemento de modificación de flujo de aire adecuado, incluyendo, por ejemplo, una red, bloques, una valla ("fence") o placa recta o curvada.

[0042] En algunos ejemplos, se pueden proporcionar uno o más protectores 593 en una superficie interior de la base flexible configurados para colocarse en o cerca de un borde de salida de la parte de la pala. Dichos protectores, mostrados, por ejemplo, en la figura 4B, pueden separar los bordes serrados de la pala de la funda para proteger el desgarro del dispositivo o funda por los bordes serrados, y/o para evitar daños a los bordes serrados.

[0043] De acuerdo con un aspecto adicional, se puede proporcionar una funda 300 para envolverse alrededor de una parte de una pala 120 de turbina eólica. La funda puede comprender una primera parte de fijación y una segunda parte de fijación, en la que las primera y segunda partes de fijación están configuradas para formar una conexión extraíble, y la funda comprende además uno o más bolsillos 325 con materiales de relleno para formar elementos de modificación de flujo de aire.

[0044] En algunos ejemplos, como se ilustrará en el presente documento, uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire 330 se pueden configurar para extenderse a lo largo de una dirección de cuerda local (véase, por ejemplo, la figura 4D).

[0045] En algunos ejemplos, uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire 360 están configurados para extenderse a lo largo de una dirección a lo largo de la envergadura, véase, por ejemplo, la figura 4A.

[0046] En algunos ejemplos, la funda puede comprender una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire que se extienden a lo largo de una dirección a lo largo de la envergadura cerca de un borde de ataque (véase, por ejemplo, la figura 5) y una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire que se extienden a lo largo de una dirección a lo largo de la envergadura cerca de un borde de salida (véase, por ejemplo, la figura 8).

[0047] En algunos ejemplos, la funda puede comprender elementos de modificación de flujo de aire tanto en una superficie de succión como en una superficie de presión de la pala de turbina eólica (véase, por ejemplo, la figura 8).

[0048] La figura 4D ilustra esquemáticamente una vista desde arriba de un ejemplo de una funda 300 y una vista lateral (sección transversal a lo largo de las líneas A-A') para envolver una pala 120 de turbina eólica, por ejemplo, la pala de turbina eólica de la figura 2 o una pala 120 de turbina eólica de la turbina eólica 160 de la figura 1.

[0049] En la figura 4D, la funda 300 está desenrollada. La funda 300 comprende una base flexible 301, incluyendo la base 301 una superficie interior 305 configurada para colocarse orientada hacia la pala 120 de turbina eólica, por ejemplo, un lado de succión 250 y un lado de presión 240, y una superficie exterior 310 configurada para colocarse en dirección opuesta a la pala 120 de turbina eólica. La base flexible, en este ejemplo, al desenrollarse, tiene una forma sustancialmente trapezoidal. En otros ejemplos, la base flexible, al desenrollarse, puede, por ejemplo, ser sustancialmente rectangular.

[0050] La base 301, en este ejemplo, comprende además una primera área de conexión (en este ejemplo, un primer borde de fijación) 315 y una segunda área de conexión (en este ejemplo, un segundo borde de fijación) 320, estando configurados los primer y segundo bordes de fijación 315 y 320 para colocarse a lo largo de un borde de ataque 260. En la figura 5 se puede observar una funda 300 fijada a una parte de una pala.

[0051] La funda 300, en este ejemplo, comprende además un primer bolsillo 325 configurado para contener material de relleno 410 en el interior del primer bolsillo 325. El primer bolsillo 325 está configurado para sobresalir hacia afuera desde la superficie exterior 310 al rellenarse con un material de relleno 410. En consecuencia, el primer bolsillo 325 y el relleno 410 pueden formar un elemento de modificación de flujo de aire 412. El elemento de modificación de flujo de aire 412 puede actuar, por tanto, como un elemento de reducción de vibraciones 412: al modificar adecuadamente el flujo de aire alrededor de la pala, se pueden evitar las ViV y SiV, por ejemplo, al provocar que un flujo de aire se separe de la superficie de pala, al hacer que el flujo sea más turbulento o desviar el flujo en una determinada dirección.

[0052] En este ejemplo, un elemento de modificación de perfil alar se puede formar como un bolsillo relleno con un material de relleno que confiere rigidez estructural al bolsillo. El material de relleno 410 puede rellenar completamente un interior del bolsillo para incrementar la rigidez.

[0053] En algunos ejemplos, un material de relleno 410 puede ser un bloque de gomaespuma de sustancialmente el mismo tamaño que el primer bolsillo 325. En algunos otros ejemplos, un material de relleno 410 puede ser una pluralidad de bloques de gomaespuma que pueden rellenar completamente un interior del primer bolsillo 325.

[0054] Al envolverse y fijarse de forma liberable a una pala 120 de turbina eólica, en particular, a una región de punta 225 de la pala 120 de turbina eólica, la funda 300, y, en particular, el primer elemento de reducción de vibraciones 412, pueden mitigar las vibraciones en la pala 120 cuando una turbina eólica 160 está parada.

[0055] Por ejemplo, dicha funda 300 y el primer elemento de reducción de vibraciones 412 pueden mitigar las vibraciones en la pala 120 de turbina eólica cuando se instala una turbina eólica 160 y/o durante la puesta en marcha de la turbina eólica 160. De forma ventajosa, la funda 300 se puede extraer de alrededor de la pala 120 de turbina eólica antes de que la turbina eólica 160 comience la operación normal, es decir, para producir energía. En consecuencia, se pueden mitigar las vibraciones en la pala 120 de turbina eólica cuando la pala de turbina eólica 160 está parada sin afectar negativamente al rendimiento de la turbina eólica 160 durante la operación normal posterior.

[0056] Como se ilustra en el ejemplo de la figura 5, el primer bolsillo 325 (y, en general, cualquier bolsillo que pueda incluir la funda) tiene una altura 415, una anchura 420 y una longitud 425. En algunos ejemplos, el primer bolsillo 325 se puede localizar en la funda 300, es decir, orientar con respecto a la base 301 de funda, de modo que una dirección sustancialmente paralela a una longitud 425 del primer bolsillo 325 (al rellenarse con material de relleno como en la figura 5) se encuentre sustancialmente paralelo a un borde de ataque 260 cuando la funda 300 se envuelva alrededor de y se fije a una pala 120 de turbina eólica. El elemento de modificación de flujo de aire o deflector, en este caso, se extiende sustancialmente a lo largo de una dirección a lo largo de la envergadura, y, en particular, cerca de un borde de ataque de la pala.

[0057] En algunos otros ejemplos, el primer bolsillo 325 se puede disponer con la funda 300 de modo que una dirección sustancialmente paralela a una longitud 425 del primer bolsillo 425 (al actuar como un elemento de reducción de vibraciones 412) se encuentre sustancialmente paralela a un borde de salida 270 cuando la funda 300 se envuelva

alrededor de y se fije a una pala 120 de turbina eólica. Si el borde de ataque 260 y el borde de salida 270 fueran sustancialmente paralelos entre si, una longitud 425 del primer bolsillo 325 puede ser sustancialmente paralela tanto al borde de ataque 260 como al borde de salida 270.

5 **[0058]** Alinear una longitud 425 del primer bolsillo 325 con un borde de ataque 260 y/o de salida 270 puede ser, en particular, eficaz para reducir las vibraciones inducidas por entrada en pérdida.

10 **[0059]** En algunos ejemplos, el primer bolsillo 325 puede incluir sujeciones de apertura y cierre 430, por ejemplo, una cremallera, que permitan abrir y cerrar los bolsillos y, por tanto, posibilitar la colocación de material de relleno 410 en el interior del primer bolsillo 325. En algunos ejemplos, los bolsillos (con o sin material de relleno) se pueden fijar de forma extraíble a la funda usando, por ejemplo, cremalleras. Por tanto, se pueden fijar bolsillos con materiales de relleno en una configuración adecuada según sea necesario. En algunos ejemplos, los bolsillos se pueden fijar, por ejemplo, coser, a un exterior de la funda.

15 **[0060]** En algunos ejemplos, el primer bolsillo 325, y, por lo tanto, el primer elemento de modificación de flujo de aire 412, puede tener una altura 415 entre 10 y 100 cm, más en particular entre 20 y 40 cm.

20 **[0061]** En algunos ejemplos, una anchura 420 del primer bolsillo 325, y, por lo tanto, una anchura del primer elemento de modificación de flujo de aire 412, puede ser sustancialmente la misma que la altura 415 del primer bolsillo 325. En algunos otros ejemplos, la anchura 420 del primer bolsillo 325 puede ser más grande o más pequeña que la altura 415 del primer bolsillo 325.

25 **[0062]** En algunos ejemplos, una longitud 425 del primer bloque 325 (es decir, un bloque que se extiende a lo largo de la envergadura) puede estar entre 0,5 y 3 m, más en particular, entre 1 y 2 m. Es decir, su extensión a lo largo de la envergadura está entre 50 cm y 3 metros, y, en particular, entre 1 y 2 metros.

30 **[0063]** En algunos ejemplos, la funda 300 puede comprender además un "deflector" 330 adicional fijado a la superficie exterior 310 de la base 301 de la funda 300. Un deflector 330 adicional puede perturbar o alterar el aire que fluye alrededor de la pala 120 de turbina eólica cuando la pala 120 de turbina eólica está montada en una turbina eólica 160 y la turbina eólica 160 está parada o detenida.

[0064] En algunos ejemplos, un deflector 330 puede ser una placa alargada sustancialmente plana.

35 **[0065]** En algunos ejemplos, se puede pegar, coser o atornillar un deflector 330 a la superficie exterior 310 de la base 301 de la funda 300.

40 **[0066]** En algunos ejemplos, un deflector 330 se puede fabricar de metales ligeros o materiales compuestos, tales como polímeros reforzados con fibras. En algunos ejemplos, un deflector 330 se puede fabricar de fibra de carbono o fibra de vidrio. Por tanto, un deflector 330 puede ser fuerte y ligero.

[0067] En algunos ejemplos, un deflector 330 se puede fabricar de materiales porosos. En algunos ejemplos, un deflector 330 puede incluir orificios, por ejemplo, orificios que atraviesen una anchura 435 del deflector 330. En ejemplos, el deflector 330 puede ser o comprender una red.

45 **[0068]** En algunos otros ejemplos, la funda 300 puede comprender un segundo bolsillo 330' en lugar del deflector 330 adicional fijado a un exterior de la funda. El segundo bolsillo 330' está configurado para contener material de relleno 410 en el interior del segundo bolsillo 330'. Al igual que el primer bolsillo 325, el segundo bolsillo 330' está configurado para sobresalir hacia afuera al rellenarse con un material de relleno 410. En consecuencia, el segundo bolsillo 330' y el relleno 410 pueden actuar como un segundo elemento de reducción de vibraciones o "elemento de modificación de flujo de aire".

55 **[0069]** En algunos ejemplos, una dirección sustancialmente paralela a una longitud 440 del deflector 330 o del segundo bolsillo 330' se puede configurar para encontrarse sustancialmente perpendicular a un borde de ataque 260 cuando la funda 300 se envuelve alrededor de y fija a una pala 120 de turbina eólica.

[0070] Al hacerlo puede perturbar o alterar, en particular, el aire que fluye en una dirección a lo largo de la envergadura, esto puede ayudar a disminuir las vibraciones inducidas por vórtices.

60 **[0071]** En algunos ejemplos, una parte superior 331 del deflector 330 puede comprender irregularidades, por ejemplo, salientes o rebajos/muecas. Es decir, el deflector 330 puede tener una altura 445 no constante a lo largo de su longitud 440. Una parte superior 331 se puede entender como un lado del deflector 330 opuesto al lado del deflector 330 que está fijado a la superficie exterior 310 de la base 301 de la funda 300. Las irregularidades pueden incluir salientes y/o rebajos. Las irregularidades se pueden extender sobre la parte superior 331 al completo del deflector 300 o se pueden extender sobre una parte del mismo.

65

[0072] En algunos ejemplos, el deflector 330 adicional o el segundo bolsillo 330' pueden tener sustancialmente la misma altura 445 que el primer bolsillo 325. En algunos otros ejemplos, el deflector 330 o el segundo bolsillo 330' pueden ser más altos que el primer bolsillo 325. Es decir, una altura 445 del deflector 330 puede ser más grande que una altura 415 del primer bolsillo 325. En algunos ejemplos, una altura 445 del deflector 330 que se extiende a lo largo de la cuerda o el segundo bolsillo 330' puede ser entre 1,2 y 3 veces mayor que una altura 415 del primer bolsillo 325 que se extiende a lo largo de la envergadura.

[0073] Cuanto mayor sea el deflector 330 o el segundo bolsillo 330', mayor puede ser la desviación de flujo de aire y la reducción de vibraciones.

[0074] En algunos ejemplos, una longitud 440 del deflector 330 o el segundo bolsillo 330' (es decir, un elemento de modificación de flujo de aire que se extiende predominantemente en una dirección a lo largo de la cuerda) puede ser de entre 50 cm y 3 m.

[0075] En algunos ejemplos, una longitud 335 de una base 301 de funda puede ser de entre 2 y 6 m, y, más en particular, de entre 4 y 5 m. En algunos ejemplos, una anchura 340, 340' de una base 301 de funda puede ser de entre 2 y 6 m.

[0076] En algunos ejemplos, la base 301 y los bolsillos (por ejemplo, los primero y segundo bolsillos 325, 330') se pueden formar de forma solidaria. En algunos ejemplos, la base 301 y los bolsillos 301 se pueden fabricar de material plástico. En un ejemplo, se puede usar poli(cloruro de vinilo) (PVC).

[0077] Como también se ilustra en las figuras 4D y 5, se pueden proporcionar bolsillos adicionales, por ejemplo, un tercer bolsillo 360 en la funda 300. El número de bolsillos (y deflectores), así como su localización en la superficie exterior 310 de funda, se pueden elegir de acuerdo con el nivel deseado de atenuación de vibraciones. Se pueden usar simulaciones por ordenador, incluyendo, por ejemplo, dinámica de fluidos computacional y análisis por elementos finitos para seleccionar el número y la posición de los bolsillos y deflectores.

[0078] La funda 300 puede tener una primera parte 365 configurada para colocarse en el lado de succión 250 y una segunda parte 370 configurada para colocarse en el lado de presión 240. Por lo tanto, se puede(n) colocar bolsillo(s) y deflector(es) en al menos uno del lado de succión 250 y del lado de presión 240. Los ejemplos de la figura 4D muestran que la funda 300 incluye bolsillos y deflectores tanto en la primera parte 365 como en la segunda parte 370. Esto puede potenciar la reducción de vibraciones con respecto a los ejemplos donde los elementos de reducción de vibraciones se colocan solo en una de las primera o segunda partes de funda.

[0079] En algunos ejemplos, la funda 300 puede incluir uno o más tensores 390, por ejemplo, correas de trinquete ("ratchet straps"). Los tensores pueden ayudar a ajustar la funda 300 alrededor de la pala 120 de turbina eólica. Los tensores 390 se pueden coser a la base 301 de la funda en algunos ejemplos.

[0080] En algunos ejemplos, la funda 300 puede comprender además un elemento de protección 355 fijado a la superficie interior 305 de la base 301 de funda configurado para colocarse a lo largo de un borde de salida 270. El elemento de protección 355 se puede extender a lo largo de una longitud 335 al completo de la funda 300. En algunos ejemplos, el elemento de protección 355 se puede fabricar de espuma. En algunos ejemplos, el elemento de protección 355 se puede colocar entre la primera parte 365 de la funda 300 y la segunda parte 370 de la funda 300, por ejemplo, como se ilustra en la figura 4D.

[0081] El elemento de protección 355 puede prevenir que los dientes serrados de una pala 120 de turbina eólica se inserten en la base 301 de funda. Esto puede evitar que la funda 300 se atasque en los dientes serrados al separar y hacer descender la funda 300 de la pala 120 de turbina eólica. La vida útil de la funda 300 se puede extender y el descenso de la funda 300 puede ser más fácil y más rápido que sin la presencia del elemento de protección 355.

[0082] En algunos ejemplos, la primera área de conexión o borde de fijación 315 puede comprender orificios o anillos 375 como se ilustra en la figura 4D. En algunos de estos ejemplos, la segunda área de conexión o borde de fijación 320 puede comprender soportes ("brackets"), por ejemplo, soportes con forma de omega 380 que se pueden fijar a la base 301, de modo que los anillos se puedan colocar sobre los omegas correspondientes para cerrar la funda 300. Se puede pasar un elemento de bloqueo o pasador 590 a través de los soportes 380, es decir, a través de los orificios 395 (véase la figura 6A), para fijar los primer y segundo bordes de fijación 315 y 320 entre sí y retenerlos en esa posición.

[0083] En algunos otros ejemplos, el segundo borde de fijación 320 puede incluir los anillos 375 y el primer borde de fijación 315 puede incluir los soportes 380. Todavía en algunos otros ejemplos, puede que los bordes de fijación 315, 320 no tengan orificios ni soportes fijados, pero los orificios se pueden hacer en el sitio ("on site") y los omegas 380 y los pernos o pasadores de soporte 385 para fijar los soportes 380, por ejemplo, al primer borde de fijación 315 usado una vez que una pala 120 de turbina eólica se haya cubierto por la funda 300. También debe quedar claro que la forma en omega de los soportes es meramente una opción, y que también son posibles otras formas redondeadas o rectas de soportes.

[0084] Además, como se señala antes, tener las áreas de conexión para formar una fijación extraíble en los bordes de la base flexible es meramente un ejemplo. En otros ejemplos, las áreas de conexión no están necesariamente localizadas a lo largo de bordes opuestos de una base flexible. Cuando una base flexible de este tipo se forma en una funda, una parte en exceso de base flexible se puede extender más allá del borde de ataque. Dependiendo de la implementación, en dicha parte en exceso se pueden incluir fijaciones o montajes para la manipulación.

[0085] En algunos ejemplos, los soportes con forma de omega 380 pueden incluir orificios 395 (por ejemplo, a través de los que se puede pasar un cordel o cable (u otro elemento de bloqueo) 590. Al tirar del elemento de bloqueo 590, por ejemplo, por un operario, se puede provocar la separación de los primer y segundo bordes de fijación 315 y 320. El elemento de bloqueo puede tener una característica para garantizar que no se mueva ni se caiga durante la instalación y manipulación de la pala. Por ejemplo, el elemento de bloqueo puede tener una conexión desgarrable o extraíble con respecto a la funda con, por ejemplo, cinta adhesiva. En otros ejemplos, el elemento de bloqueo 590 puede tener un ensanchamiento local o dimensión incrementada que dé suficiente fricción con los soportes (con forma de omega) 380 para mantener el elemento de bloqueo en su lugar durante la manipulación, pero la fricción se puede superar por un operario que tire.

[0086] Como el elemento de bloqueo 590 se puede operar desde una distancia de la funda 300 y la pala 120, por ejemplo, por medio de una línea 580, y desde el buje, la funda 300 se puede hacer descender fácil y rápidamente.

[0087] El elemento de bloqueo 590 se puede fijar, por ejemplo, atar, a un extremo 505 de los primer o segundo bordes de fijación 315, 320, como se ilustra en la figura 4D. Por tanto, si el cordel 500 se ha pasado a través de los orificios 395 de los omegas 380 y atado a un extremo 505, al tirar del cordel 590, los primer y segundo extremos de fijación 315 y 320 pueden comenzar a separarse en el extremo opuesto (extremo 510) y continuar separándose hacia donde se haya fijado el cordel 590 a 505.

[0088] De forma similar, en las figuras 4A-4C, el elemento de bloqueo 590 se puede fijar directa o indirectamente (por ejemplo, a través de un cordel adicional) a un extremo de una primera o segunda áreas de conexión. En estas figuras, el elemento de bloqueo 590 también puede tener un diámetro, en algunos ejemplos un diámetro local, que pueda proporcionar suficiente fricción con las sujeciones 582, 584 para mantener fijadas las áreas de conexión.

[0089] En algunos ejemplos, como se ilustra en la figura 6B, los soportes 380 se pueden fijar a una primera área de conexión y a una segunda área de conexión. Al extraer un elemento de bloqueo 590, las áreas de conexión se pueden separar entre sí.

[0090] En algunos ejemplos, se pueden usar sujeciones magnéticas para fijar una primera área de conexión a una segunda área de conexión. En otros ejemplos, se pueden usar sujeciones frangibles. Por ejemplo, al tirar, las sujeciones se rompen.

[0091] La figura 7 ilustra esquemáticamente otro ejemplo de un dispositivo 300 para mitigar las vibraciones ajustado alrededor de una pala de turbina eólica. La pala de turbina eólica de este ejemplo incluye, de nuevo, un borde de salida 270 serrado. El dispositivo 300 se puede formar, de nuevo, como una funda flexible adaptada para ajustarse a una superficie exterior de la pala. Como ya se ha ilustrado en otros ejemplos, se puede formar una fijación extraíble en o cerca de un borde de ataque de la pala. Se puede fijar un elemento de bloqueo 590 a un cordel 580 que se puede tirar, por ejemplo, por un operario en el buje o góndola. La extracción del elemento de bloqueo puede separar entre sí una primera área de conexión configurada para fijarse a la segunda área de conexión.

[0092] En el ejemplo de la figura 7, el dispositivo 300 comprende una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire 575 alargados. Los pares de elementos de modificación de flujo de aire forman una forma en V. Los elementos de modificación de flujo de aire 575, por tanto, pueden actuar como generadores de vórtices. Los elementos de modificación de flujo de aire 575 se pueden formar como bolsillos rellenos con un material de relleno adecuado y/o pueden ser elementos o deflectores adicionales fijados a un exterior del dispositivo.

[0093] la figura 8 ilustra esquemáticamente otro ejemplo de una pala de turbina eólica con dos dispositivos ajustados alrededor de partes de la pala. En este ejemplo, se muestra una superficie de presión 540 de una pala 500. La pala 500 tiene un borde de ataque 560 y un borde de salida 570. Se han ajustado dos dispositivos o "fundas" en diferentes posiciones a lo largo de la envergadura alrededor de diferentes partes de la pala. Una primera funda 513 puede estar más cerca de una raíz de la pala, por ejemplo, en una posición a lo largo de la envergadura de entre un 30 y un 70 % de la envergadura de la pala. La funda 513 incluye una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire 514 que se extienden (predominantemente) a lo largo de la envergadura, tanto cerca del borde de ataque como cerca del borde de salida de la parte de la pala. La funda 513 en este ejemplo también incluye una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire 512 que se extienden (predominantemente) a lo largo de la cuerda. En este ejemplo, dos de los elementos de modificación de flujo de aire 512 están dispuestos uno detrás del otro a lo largo de una cuerda local de la pala. Los elementos de modificación de flujo de aire que se extienden a lo largo de la cuerda pueden ser mayores que los demás elementos de modificación de flujo de aire.

[0094] Se puede ajustar una segunda funda 530 más cerca de una punta de la pala, por ejemplo, en una posición a lo largo de la envergadura de entre un 70 y un 100 % de la envergadura de la pala, y, en este ejemplo, entre un 80 y un 95 % de la envergadura de la pala. La funda 530 puede tener una configuración similar a la funda 513. La funda 530 incluye una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire 532 que se extienden (predominantemente) a lo largo de la envergadura, tanto cerca del borde de ataque como cerca del borde de salida de la parte de la pala. La funda 530 en este ejemplo también incluye una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire 534 que se extienden (predominantemente) a lo largo de la cuerda. En este ejemplo, dos de los elementos de modificación de flujo de aire 512 están dispuestos uno detrás del otro a lo largo de una cuerda local de la pala.

[0095] Las dimensiones de los elementos de modificación de flujo de aire pueden ser diferentes en ambas fundas y adaptarse a las necesidades locales. En otros ejemplos, se pueden fijar múltiples fundas a la misma pala, y los elementos de modificación de flujo de aire en cada una de las fundas pueden ser muy diferentes.

[0096] Aunque no mostradas con todo detalle, debe quedar claro que las fundas 513 y 530 también incorporan o portan elementos de modificación de flujo de aire en una superficie de succión de la pala.

[0097] Los elementos de modificación de flujo de aire de estos ejemplos se pueden formar, una vez más, como bolsillos incorporados en la funda y rellenas con material de relleno, o pueden ser adiciones como se ha ilustrado con referencia a otros ejemplos.

[0098] En aún otros ejemplos, se pueden ajustar tres o más fundas alrededor de diferentes partes de una pala.

[0099] En otro aspecto, se proporciona un procedimiento para mitigar las vibraciones de una pala de turbina eólica parada que comprende un borde de ataque 260, un borde de salida 270, una punta 220 y una raíz 210. El procedimiento se puede usar, en particular, durante la instalación y/o durante la puesta en marcha de la turbina eólica. El procedimiento también se puede usar potencialmente cuando la turbina eólica se pueda detener después de haber estado en operación (es decir, produciendo energía), por ejemplo, durante el mantenimiento o reparación.

[0100] El procedimiento de la figura 9A comprende proporcionar, en el bloque 610, una pala de turbina eólica. La pala de turbina eólica puede ser una pala "estándar", es decir, no se necesita adaptar de ninguna manera para que sea adecuada para los procedimientos y dispositivos proporcionados en el presente documento.

[0101] En el bloque 620, se proporciona una funda. La funda puede comprender una base flexible que tiene una primera área de conexión y una segunda área de conexión, en la que la primera área de conexión está configurada para fijarse a la segunda área de conexión para formar una fijación extraíble, y la base flexible porta uno o más elementos de modificación de flujo de aire. Se puede usar cualquiera de los ejemplos de las figuras 4-8 divulgados en el presente documento.

[0102] En el bloque 630, la base flexible se puede envolver alrededor de una parte de la pala de turbina eólica y la primera área de conexión se puede fijar a la segunda área de conexión sustancialmente a lo largo del borde de ataque de la pala de turbina eólica. De este modo, la funda se puede envolver alrededor de una parte de la pala. En algunos ejemplos, se pueden envolver múltiples fundas alrededor de la misma pala. Una funda puede estar más cerca de la punta de una pala, por ejemplo, en una posición entre un 70 y un 100 % de una envergadura de la pala, y específicamente entre un 70 y un 90 % de una envergadura. Otra funda puede estar más cerca de una raíz de la pala, por ejemplo, en una posición entre un 30 y un 70 % de una envergadura de la pala.

[0103] En algunos ejemplos, la envoltura puede tener lugar en el suelo, y, en particular, después de que una pala haya llegado al sitio de la turbina eólica. Uno o más operarios pueden tomar la funda y colocar la superficie interior de la base de funda orientada hacia la pala de turbina eólica, es decir, el lado de presión y el lado de succión de la pala.

[0104] Para fijar las áreas de la base flexible, en algunos ejemplos, se pueden usar soportes 380 y pasadores de soporte 385 correspondientes, como se explica con respecto a las figuras 4D, 6A y 6B. Como también se comenta antes, se pueden usar otras sujeciones. Por ejemplo, los dos bordes de fijación 315, 320 se pueden juntar cerrando una cremallera. En otros ejemplos, los bordes de fijación se pueden conectar entre sí usando Velcro o similar.

[0105] En algunos ejemplos, los bolsillos se pueden rellenar y/o los deflectores se pueden fijar al funda antes de envolver la funda 300 alrededor de la pala 120. En algunos otros ejemplos, esto se puede hacer antes de la envoltura. Todavía en algunos otros ejemplos, esto se puede hacer después de la envoltura.

[0106] En el bloque 640, a continuación, se puede instalar la pala. La funda puede permanecer envuelta alrededor de la pala hasta que comience la operación. En ejemplos, el procedimiento puede comprender además extraer la base flexible de la pala de turbina eólica antes de comenzar la operación.

[0107] En algunos ejemplos, la funda puede incluir alguna forma de mecanismo tensor 390. Tensar uno o más tensores puede ser suficiente para ajustar la funda 300 a la pala 120 y puede que no sea necesario fijar un cordel para asegurar la funda 300 a la pala 120 al levantar la pala 120.

[0108] Cuando la funda 300 se envuelve y fija al suelo, el procedimiento puede comprender además levantar la pala 120 y montarla en la turbina eólica. La pala 120 se puede fijar, en primer lugar, al buje 110 y el buje 110 y la pala 120 se pueden levantar conjuntamente, o el buje 100 se puede montar, en primer lugar, y, a continuación, la pala 120 con la funda 300 se pueden levantar y conectar al buje 110.

[0109] Una vez que la pala 120 con la funda 300 está montada en la turbina eólica 160, los elementos de reducción de vibraciones, a saber, uno o más bolsillos rellenos y, opcionalmente, uno o más deflectores, pueden reducir las vibraciones en la pala 120 de turbina eólica, por ejemplo, vibraciones inducidas por vórtices y/o vibraciones inducidas por entrada en pérdida.

[0110] En algunos ejemplos, la base flexible se puede extraer situando la pala de rotor en una posición sustancialmente horizontal con el borde de salida apuntando hacia abajo; y separando la primera área de conexión de la segunda área de conexión.

[0111] En ejemplos, se puede usar un procedimiento de acuerdo con la figura 9B para extraer una funda alrededor de la pala. En el bloque 650, una pala de turbina eólica se puede situar en una posición sustancialmente horizontal, es decir, cerca de una posición a las tres en punto o cerca de una posición a las nueve en punto. Esto puede implicar la rotación del buje con las palas hasta una posición adecuada, lo que se puede hacer bajo la acción del viento, o puede implicar una herramienta específica que pueda actuar sobre una parte del tren de engranajes para rotar el rotor.

[0112] Cuando la pala de turbina eólica está en una posición sustancialmente horizontal, la pala se puede *pitchear* en el bloque 660, si el borde de salida de la pala aún no apunta hacia abajo. Esto puede implicar el *pitch* de las palas, por ejemplo, en un ángulo de 90°.

[0113] Cuando el borde de salida de la pala de turbina eólica apunta hacia abajo, la fijación extraíble en el borde de ataque está en un lado superior de la pala. Si, a continuación, se extrae la fijación, es decir, se abre la funda separando las primera y segunda áreas de conexión o separando los primer y segundo bordes de fijación 315 y 320, la funda se puede caer de la pala. De esta manera, la funda se puede extraer de la pala, en el bloque 670, y los bordes serrados pueden no interferir, es decir, partes de la funda pueden no atascarse en los bordes serrados. En particular, un elemento de protección 355 puede evitar que la funda se atasque con los dientes serrados de la pala de turbina eólica.

[0114] Para extraer la funda, se puede extraer un elemento de bloqueo 590 como se ilustra en otros ejemplos. El elemento de bloqueo 590 se puede tirar, por ejemplo, desde un buje de la turbina eólica. El elemento de bloqueo 590 se puede fijar a un cordel 580 desde el que un operario puede tirar del elemento de bloqueo 590. El cordel 580 o elemento de bloqueo 590 se puede fijar a otro punto de la funda usando, por ejemplo, otro cordel o cable con cierta holgura. De esta manera, después de que se haya abierto la funda, todavía se puede controlar, de modo que se pueda hacer descender de manera controlada.

[0115] En algunos ejemplos, se puede fijar otro cordón o cordel a otra parte de la funda, y se puede usar otro operario, por ejemplo, desde una grúa o desde el suelo, para controlar además el descenso de la funda. Tanto la trayectoria como la velocidad de descenso se pueden controlar desde el buje y/o desde el suelo o una grúa.

[0116] En algunos ejemplos, también se puede fijar un cordel a la funda 300, por ejemplo, atarse a ella, al levantar la pala de rotor 120 y/o al hacerla descender para controlar la posición de la funda 300 a lo largo de la pala 120 y/o controlar la velocidad a la que se hace descender la funda. Después de que se haya extraído una funda de una pala, o después de que se hayan extraído todas las fundas alrededor de la pala, se puede rotar el rotor a una siguiente posición en la que una de las palas esté en posición horizontal. A continuación, se pueden extraer las fundas de alrededor de la siguiente pala.

[0117] En algunos otros ejemplos no ilustrados, la pala 120 ya puede estar fijada al buje 110 antes de la envoltura. Opcionalmente, la pala 120 de turbina eólica ya puede estar montada en el buje 110 y el buje 110 ya puede estar montado en la góndola 161. En algunos de estos ejemplos, uno o más operarios pueden usar una o más grúas para envolver la funda 300 alrededor de la pala 120 de turbina eólica.

[0118] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo los modos de realización preferentes, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistemas y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para mitigar las vibraciones de una pala de una turbina eólica durante el reposo, comprendiendo el dispositivo:
5 una base flexible que tiene una primera área de conexión y una segunda área de conexión, estando configurada la primera área de conexión para fijarse a la segunda área de conexión para formar una fijación extraíble,
10 y uno o más elementos de modificación de flujo de aire fijados a la base flexible, en el que la base flexible está configurada para ajustar alrededor de una parte de la pala de rotor, de modo que la fijación extraíble se sitúe sustancialmente en un borde de ataque de la pala.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la fijación extraíble está configurada para abrirse de forma remota.
- 15 3. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en el que la fijación extraíble comprende un elemento de bloqueo extraíble.
4. El dispositivo de la reivindicación 3, que comprende una línea fijada al elemento de bloqueo extraíble.
- 20 5. El dispositivo de la reivindicación 3 o 4, en el que la primera área de conexión incluye una primera serie de sujeciones, y la segunda área de conexión incluye una segunda serie de sujeciones, en el que la primera serie de sujeciones está configurada para caber en la segunda serie de sujeciones, y en el que las primeras sujeciones están aseguradas a las segundas sujeciones con el elemento de bloqueo extraíble.
- 25 6. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en el que la fijación extraíble incluye sujeciones de gancho y bucle o una cremallera.
7. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que la base flexible es de base textil y que comprende opcionalmente uno o más tensores para tensar la base flexible alrededor de la parte de la pala de rotor.
- 30 8. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, en el que uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire se incorporan en la base flexible.
- 35 9. El dispositivo de la reivindicación 8, en el que la base flexible comprende uno o más bolsillos que contienen un material de relleno para formar uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire.
10. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, en el que uno o más de los elementos de modificación de flujo de aire están montados en una superficie exterior de la base flexible.
- 40 11. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 10, que comprende además uno o más protectores en una superficie interior de la base flexible configurados para colocarse en o cerca de un borde de salida de la parte de la pala.
- 45 12. Una pala de turbina eólica que comprende uno o más dispositivos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11.
13. Un procedimiento para mitigar las vibraciones en una pala de turbina eólica parada que comprende un borde de ataque, un borde de salida, una punta y una raíz, comprendiendo el procedimiento:
50 proporcionar una base flexible que tiene una primera área de conexión y una segunda área de conexión, estando configurada la primera área de conexión para fijarse a la segunda área de conexión para formar una fijación extraíble, y portando la base flexible uno o más elementos de modificación de flujo de aire;
55 envolver la base flexible alrededor de una parte de la pala de turbina eólica;
fijar la primera área de conexión a la segunda área de conexión sustancialmente a lo largo del borde de ataque de la pala de turbina eólica; e
instalar la pala de turbina eólica.
14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende además extraer la base flexible de la pala de turbina eólica antes de comenzar la operación.
- 60 15. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en el que extraer la base flexible comprende: situar la pala de rotor en una posición sustancialmente horizontal con el borde de salida apuntando hacia abajo; y separar la primera área de conexión de la segunda área de conexión.
- 65

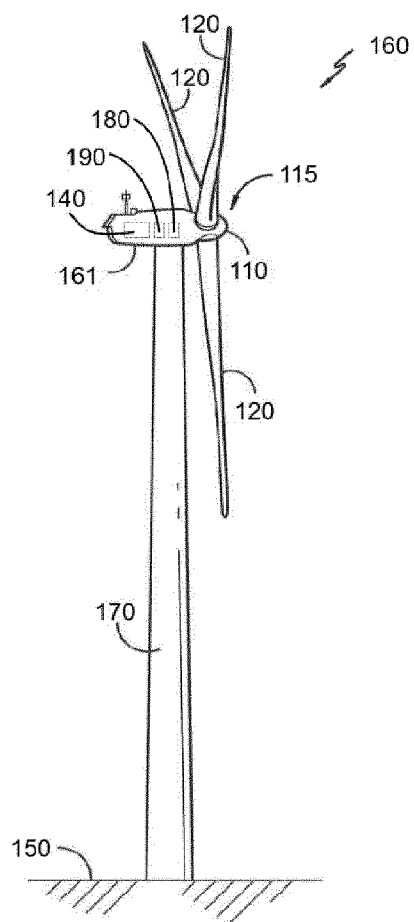


Fig. 1

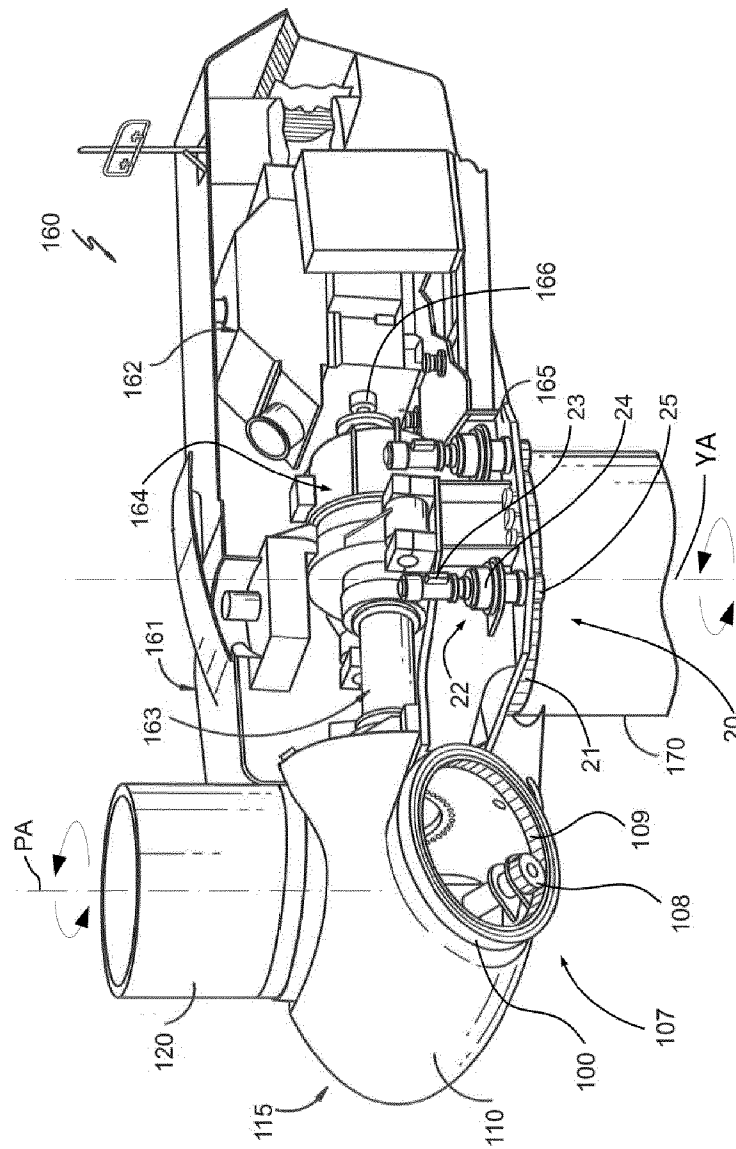


Fig. 2

Fig. 2

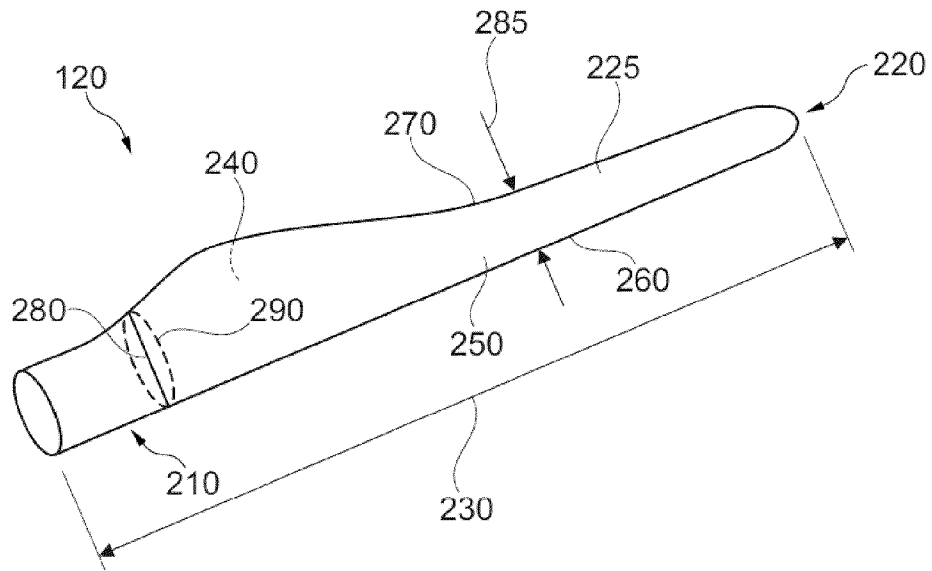


Fig. 3

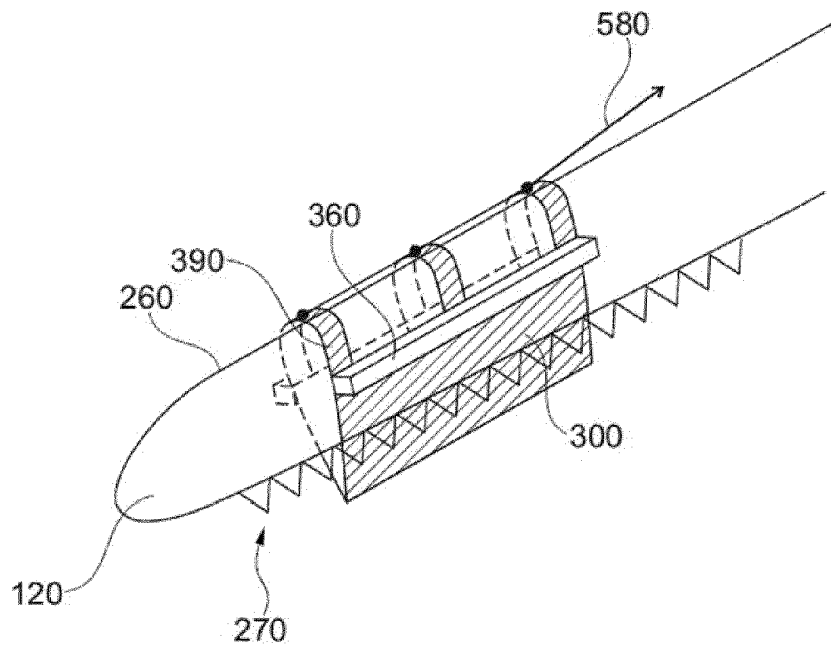


Fig. 4A

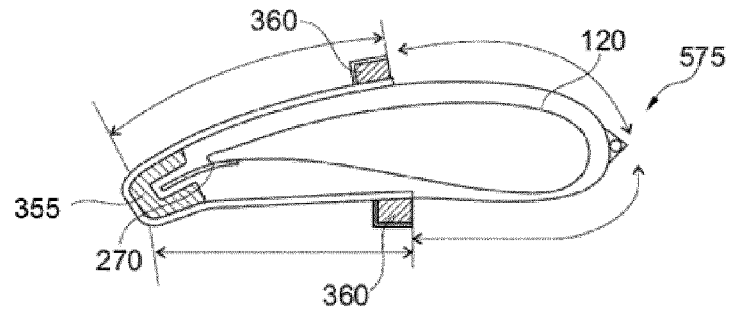


Fig. 4B

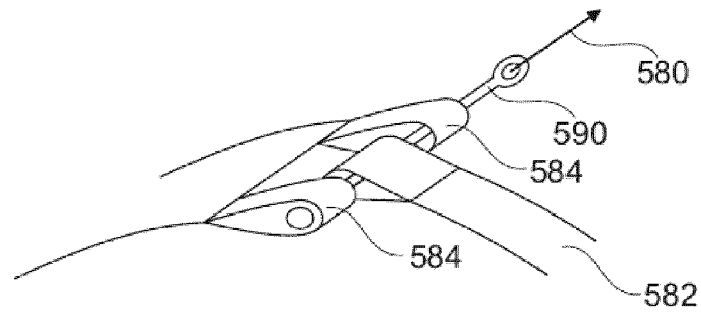


Fig. 4C

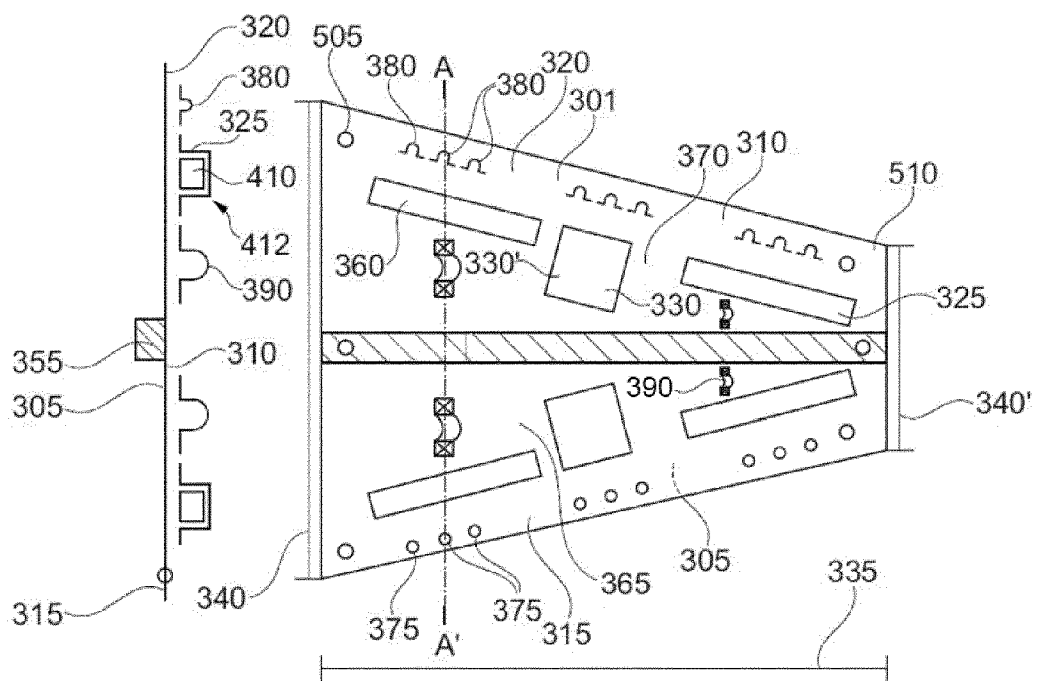


Fig. 4D

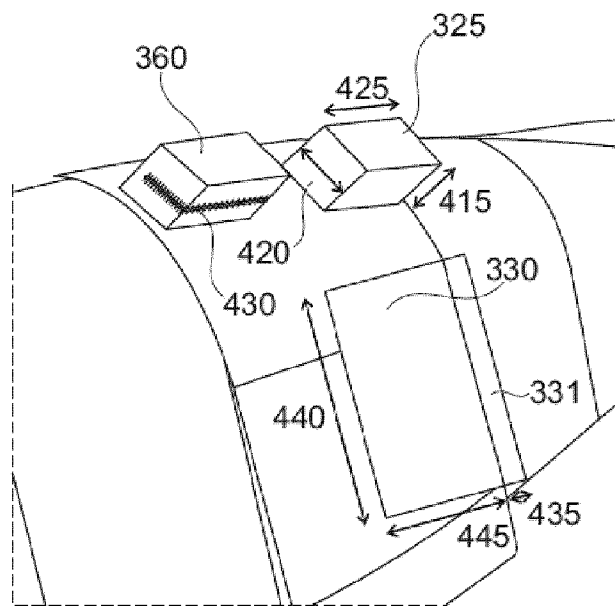


Fig. 5

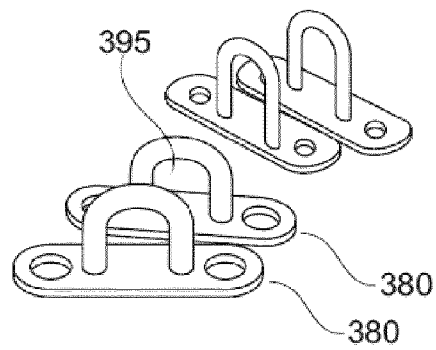


Fig. 6A

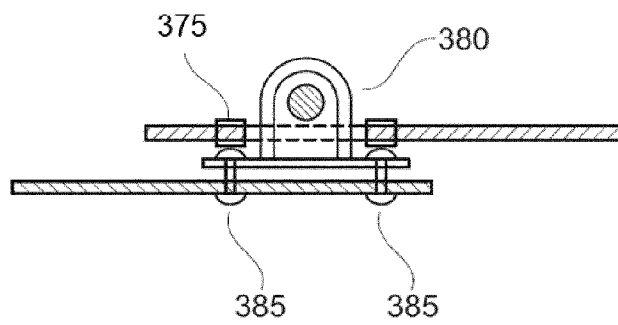


Fig. 6B

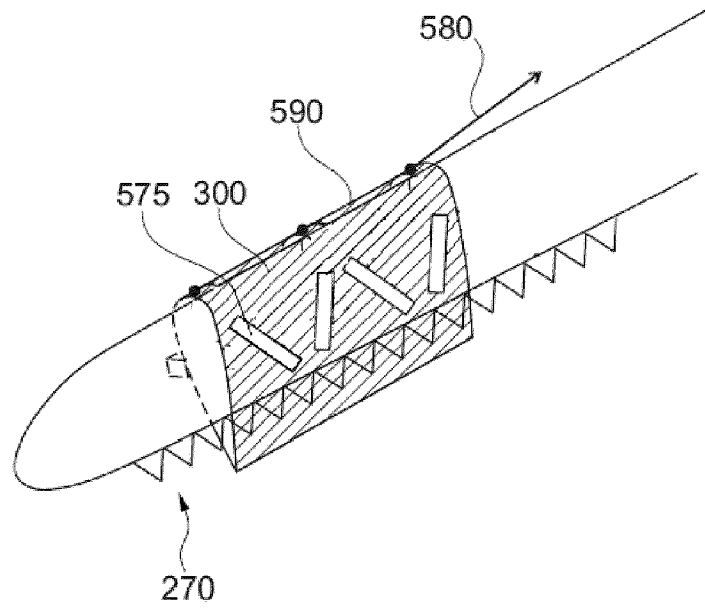


Fig. 7

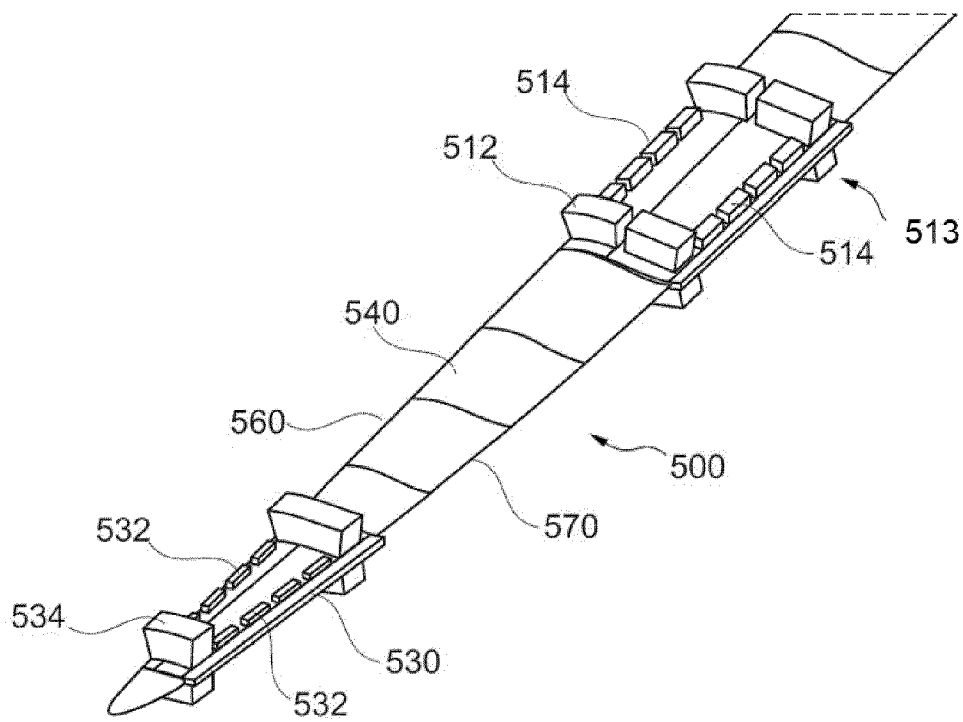


Fig. 8

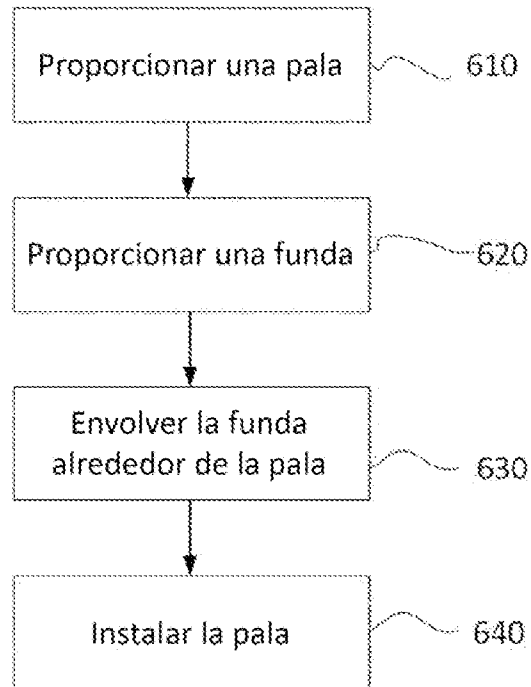


Fig. 9A

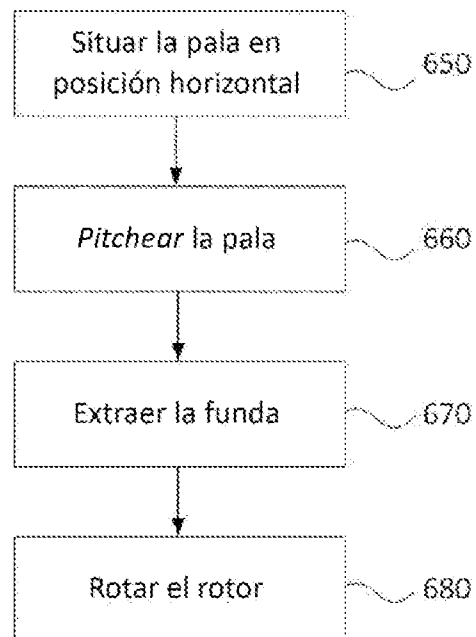


Fig. 9B