

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 675**

51 Int. Cl.:

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 13/10 (2006.01)

F03D 80/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.10.2021** **E 21382892 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2024** **EP 4160010**

54 Título: **Dispositivos y procedimientos para mitigar vibraciones en turbinas eólicas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.10.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DANIELSEN, DARREN JOHN y
CANAL VILA, MARC**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 980 675 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

Dispositivos y procedimientos para mitigar vibraciones en turbinas eólicas

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere a dispositivos para palas de turbina eólica y procedimientos para reducir vibraciones en turbinas eólicas. Más en particular, la presente divulgación se refiere a dispositivos para mitigar vibraciones inducidas por vórtices y vibraciones inducidas por entrada en pérdida, palas de turbina eólica que comprenden dichos dispositivos y procedimientos para reducir vibraciones en turbinas eólicas cuando la turbina eólica está parada, especialmente durante la instalación y/o mantenimiento de turbinas eólicas.

10

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 normalmente se transmite a través de un eje de rotor a un generador, directamente ("se acciona directamente" o "sin engranajes") o bien a través del uso de una caja de engranajes. 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 caja de engranajes (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.

25

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 en exceso.

35

40 **[0005]** Cuando la turbina eólica está en operación (es decir, produciendo energía y conectada a una red eléctrica), 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 y desconectada de la red.

45

50 **[0006]** Cuando una turbina eólica está parada, el viento puede soplar contra la turbina eólica desde direcciones inusuales, es decir, diferentes de cuando esté en 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, incrementar la necesidad de reparaciones y reducir la vida útil de la turbina eólica. Dado que no se puede adaptar la orientación de una pala de turbina eólica a la dirección del viento entrante, por ejemplo, a través de orientación *y/o pitching*, a diferencia de 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.

55

60 **[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). Puede que las palas restantes no se instalen hasta unos días o una semana más tarde. Entretanto, el rotor parcialmente instalado (o "incompleto") puede estar en reposo. 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. Los documentos US 2017/002797, EP 2 565 440, US 2017/370386 son documentos de la técnica anterior que divulgan dispositivos conocidos para mitigar vibraciones de una turbina eólica parada.

65

Breve explicación

[0008] En un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un dispositivo para mitigar vibraciones de una turbina eólica parada. El dispositivo está configurado para disponerse alrededor de una pala de turbina eólica. El dispositivo de mitigación de vibraciones tiene una longitud a lo largo de una dirección longitudinal y una sección transversal sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal. La sección transversal incluye una dirección

radial y una dirección tangencial. El dispositivo comprende tres o más elementos de modificación de flujo de aire que comprenden una superficie exterior cóncava configurada para orientarse de espaldas a la pala de turbina eólica. El dispositivo comprende además una estructura de soporte configurada para soportar la pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire. La distancia angular entre elementos de modificación de flujo de aire contiguos en sección transversal es sustancialmente constante.

[0009] De acuerdo con este aspecto, los tres o más elementos de modificación de flujo de aire que tienen una conformación adecuada para incrementar el arrastre de un dispositivo de mitigación de vibraciones se pueden disponer de modo que la distancia angular entre elementos de modificación de flujo de aire contiguos sea sustancialmente la misma. Esto puede ayudar a estabilizar el dispositivo de mitigación de vibraciones al montarse alrededor de una pala de turbina eólica y el viento sopla desde diferentes direcciones. Se pueden evitar o al menos reducir los comportamientos no deseados y las inestabilidades inducidas por el viento que sopla desde diferentes direcciones. Una respuesta del dispositivo a las ráfagas de viento que proceden de diferentes direcciones puede ser más homogénea. Por tanto, las vibraciones en turbinas eólicas se pueden amortiguar más eficazmente.

[0010] Por toda esta divulgación, un elemento de modificación de flujo de aire se puede entender como un elemento configurado para perturbar significativamente un flujo de aire, por ejemplo, su magnitud y/o su dirección, alrededor de una pala de turbina eólica. En particular, se puede configurar un elemento de modificación de flujo de aire para perturbar significativamente un flujo de aire antes de que el flujo de aire alcance una superficie local de una pala de turbina eólica. Por ejemplo, el flujo de aire, o una componente del flujo de aire, que se mueva hacia una superficie de pala local en una dirección sustancialmente perpendicular a una longitud de la pala puede encontrar el elemento de modificación de flujo de aire. Se puede configurar un elemento de modificación de flujo de aire para incrementar el arrastre en la oscilación.

[0011] Por toda esta divulgación, la distancia angular se puede entender como un ángulo entre las dos líneas imaginarias que unen un centro (geométrico) de un dispositivo de mitigación de vibraciones y dos elementos de modificación de flujo de aire contiguos, en sección transversal.

[0012] Por toda la presente divulgación, los términos "reposo" y "estacionario" 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 en reposo. Por ejemplo, una turbina eólica puede estar parada o en reposo durante la instalación y/o puesta en marcha. También se puede estacionar una turbina eólica, por ejemplo, por motivos de mantenimiento después de operar normalmente, es decir, producir energía, o en caso de una pérdida de red prolongada.

[0013] En el presente documento se puede entender que una turbina eólica está en operación cuando su rotor rota a una velocidad lo suficientemente alta para producir energía y el generador de la turbina eólica produce potencia eléctrica.

[0014] En otro aspecto de la divulgación, se proporciona un procedimiento para mitigar vibraciones de una turbina eólica parada. El procedimiento comprende mover un dispositivo de mitigación de vibraciones alrededor de una pala de turbina eólica y hacia una raíz de la pala. El dispositivo comprende tres o más elementos de modificación de flujo de aire, comprendiendo los elementos de modificación de flujo de aire una superficie exterior cóncava configurada para orientarse de espaldas a la pala de turbina eólica, por ejemplo, de una superficie local de la pala al montarse en ella. La distancia angular entre elementos de modificación de flujo de aire contiguos en sección transversal es sustancialmente constante. El procedimiento comprende además asegurar el dispositivo a la turbina eólica.

[0015] Todavía en otro aspecto de la divulgación, se proporciona un dispositivo para mitigar vibraciones de una turbina eólica parada. El dispositivo comprende tres o más elementos de modificación de flujo de aire. Los elementos de modificación de flujo de aire tienen una sección transversal conformada en C o conformada en U. Una abertura de la conformación en C o conformación en U se orienta de espaldas a la pala de turbina eólica, por ejemplo, desde una superficie local de la pala. El dispositivo comprende además una estructura de soporte configurada para mantener sustancialmente la misma distancia entre elementos de modificación de flujo de aire contiguos.

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 una vista en perspectiva esquemática de una pala de turbina eólica mostrada en la figura 1;

la figura 4 ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva de una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire de un dispositivo de mitigación de vibraciones de acuerdo con un ejemplo dispuesto alrededor de una pala de turbina eólica;

5 la figura 5 ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva de una pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire de un dispositivo de mitigación de vibraciones de acuerdo con otro ejemplo cerca de una pala de turbina eólica;

10 las figuras 6-9 y las figuras 11-12B ilustran esquemáticamente secciones transversales de un dispositivo de mitigación de vibraciones dispuesto alrededor de una pala de turbina eólica de acuerdo con diferentes ejemplos;

15 las figuras 10A y 10B ilustran esquemáticamente dos ejemplos de un elemento de modificación de flujo de aire en sección transversal;

la figura 13A ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva de un ejemplo de soportes para soportar tres o más elementos de modificación de flujo de aire;

20 la figura 13B ilustra esquemáticamente una vista frontal de un ejemplo de un soporte para soportar tres o más elementos de modificación de flujo de aire; y

la figura 14 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para mitigar vibraciones en turbinas eólicas.

Descripción detallada de los ejemplos

25 **[0017]** Ahora se hará referencia en detalle a los modos de realización, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona solo a modo de explicación, no como limitación. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente divulgación. Por ejemplo, los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de
30 realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente divulgación cubra dichas modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

35 **[0018]** La figura 1 es una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica 10. En el ejemplo, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En el ejemplo, la turbina eólica 10 incluye una torre 15 que se extiende desde un sistema de soporte 14 en un suelo 12, una góndola 16 montada en la torre 15 y un rotor 18 que se acopla a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje 20 rotatorio y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. En el ejemplo, el rotor 18 tiene tres palas de rotor 22. En un modo de realización alternativo, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas de rotor 22. La torre 15 se puede fabricar de acero tubular para definir una cavidad (no mostrada en la figura 1) entre un sistema de soporte 14 y la góndola 16. En un modo de realización alternativo, la torre 15 es cualquier tipo adecuado de torre que tenga cualquier altura adecuada. De acuerdo con una alternativa, la torre puede ser una torre híbrida que comprenda una parte hecha de hormigón y una parte de acero tubular. Además, la torre puede ser una torre de celosía parcial o completa.
45

[0019] Las palas de rotor 22 están espaciadas alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica. Las palas de rotor 22 se engranan al buje 20 acoplando una región de raíz de pala 24 al buje 20 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 26. Las regiones de transferencia de carga 26 pueden tener una región de transferencia de carga de buje y una región de transferencia de carga de pala (ninguna mostrada en la figura 1). Las cargas inducidas en las palas de rotor 22 se transfieren al buje 20 por medio de las regiones de transferencia de carga 26.
50

[0020] En ejemplos, las palas de rotor 22 pueden tener una longitud que varíe de aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 90 m o más. Las palas de rotor 22 pueden tener cualquier longitud adecuada que posibilite que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, los ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 20 m o menos, 37 m, 48,7 m, 50,2 m, 52,2 m o una longitud que sea mayor de 91 m. Cuando el viento golpea las palas de rotor 22 desde una dirección del viento 28, el rotor 18 se rota alrededor de un eje de rotor 30. A medida que las palas de rotor 22 se rotan y se someten a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 22 también se someten a diversas fuerzas y momentos. Como tales, las palas de rotor 22 se pueden desviar y/o rotar desde una posición neutra, o no desviada, a una posición desviada.
60

[0021] Además, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22, es decir, un ángulo que determina una orientación de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento, se puede cambiar por un sistema de *pitch* 32 para controlar la carga y potencia generada por la turbina eólica 10 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 22 en relación con los vectores de viento. Se muestran los ejes de *pitch* 34 de las palas de rotor 22.
65

Durante la operación de la turbina eólica 10, el sistema de *pitch* 32 puede cambiar, en particular, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22 de modo que el ángulo de ataque de (porciones de) las palas de rotor se reduzca, lo que facilita la reducción de una velocidad de rotación y/o facilita una entrada en pérdida del rotor 18.

5 **[0022]** En el ejemplo, un *pitch* de pala de cada pala de rotor 22 se controla individualmente por un controlador de turbina eólica 36 o por un sistema de control de *pitch* 80. De forma alternativa, el *pitch* de pala para todas las palas de rotor 22 se puede controlar simultáneamente por dichos sistemas de control.

10 **[0023]** Además, en el ejemplo, a medida que cambia la dirección del viento 28, se puede rotar una dirección de orientación de la góndola 16 alrededor de un eje de orientación 38 para situar las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28.

15 **[0024]** En el ejemplo, el controlador de turbina eólica 36 se muestra como centralizado dentro de la góndola 16, sin embargo, el controlador de turbina eólica 36 puede ser un sistema distribuido por toda la turbina eólica 10, en el sistema de soporte 14, dentro de un parque eólico, y/o en un centro de control remoto. El controlador 36 de turbina eólica puede incluir un procesador 40 configurado para realizar algunos de los procedimientos y/o etapas descritos en el presente documento. Además, muchos de los otros componentes descritos en el presente documento incluyen un procesador.

20 **[0025]** Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no se limita a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere ampliamente a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables, y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. Se debe entender que un procesador y/o un sistema de control también pueden incluir memoria, canales de entrada y/o canales de salida.

30 **[0026]** La figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica 10. En el ejemplo, la turbina eólica 10 incluye la góndola 16 y el rotor 18 que se acopla de forma rotatoria a la góndola 16. Más específicamente, el buje 20 del rotor 18 se acopla de forma rotatoria a un generador eléctrico 42 situado dentro de la góndola 16 por el eje principal 44, una caja de engranajes 46, un eje rápido 48 y un acoplamiento 50. En el ejemplo, el eje principal 44 está dispuesto al menos parcialmente coaxial a un eje longitudinal (no mostrado) de la góndola 16. Una rotación del eje principal 44 acciona la caja de engranajes 46 que posteriormente acciona el eje rápido 48 traduciendo el movimiento de rotación relativamente lento del rotor 18 y del eje principal 44 en un movimiento de rotación relativamente rápido del eje rápido 48. Este último se conecta al generador 42 para generar energía eléctrica con la ayuda de un acoplamiento 50. Además, se pueden disponer un transformador 90 y/o electrónica, conmutadores y/o inversores adecuados en la góndola 16 para transformar energía eléctrica generada por el generador 42 que tenga un voltaje de entre 400 V a 1000 V en energía eléctrica que tenga voltaje medio (10 - 35 KV). Dicha energía eléctrica se conduce por medio de cables de alimentación desde la góndola 16 a la torre 15.

40 **[0027]** La caja de engranajes 46, el generador 42 y el transformador 90 se pueden soportar por un bastidor de estructura de soporte principal de la góndola 16, opcionalmente realizado como un bastidor principal 52. La caja de engranajes 46 puede incluir una carcasa de caja de engranajes que se conecte al bastidor principal 52 por uno o más brazos de par de torsión 103. En el ejemplo, la góndola 16 también incluye un rodamiento de soporte delantero 60 principal y un rodamiento de soporte posterior 62 principal. Además, el generador 42 se puede montar en el bastidor principal 52 desacoplando los medios de soporte 54, en particular, para prevenir que las vibraciones del generador 42 se introduzcan en el bastidor principal 52 y, de este modo, provoquen una fuente de emisión de ruido.

50 **[0028]** Preferentemente, el bastidor principal 52 está configurado para llevar toda la carga provocada por el peso del rotor 18 y los componentes de la góndola 16 y por las cargas del viento y de rotación, y, además, para introducir estas cargas en la torre 15 de la turbina eólica 10. El eje de rotor 44, generador 42, caja de engranajes 46, eje rápido 48, acoplamiento 50 y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o aseguración asociado incluyendo, pero sin limitarse a, el soporte 52, y rodamiento de soporte delantero 60 y rodamiento de soporte posterior 62, a veces se denominan tren de potencia 64.

60 **[0029]** En algunos ejemplos, la turbina eólica puede ser una turbina eólica de accionamiento directo sin caja de engranajes 46. El generador 42 opera a la misma velocidad de rotación que el rotor 18 en turbinas eólicas de accionamiento directo. Por lo tanto, en general, tienen un diámetro mucho mayor que los generadores usados en turbinas eólicas que tienen una caja de engranajes 46 para proporcionar una cantidad similar de potencia que una turbina eólica con una caja de engranajes.

65 **[0030]** La góndola 16 también puede incluir un mecanismo de accionamiento de orientación 56 que se puede usar para rotar la góndola 16 y, de este modo, también el rotor 18 alrededor del eje de orientación 38 para controlar la perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28.

[0031] Para situar la góndola 16 apropiadamente con respecto a la dirección del viento 28, la góndola 16 también puede incluir al menos un sistema de medición meteorológica que puede incluir una veleta y un anemómetro. El sistema de medición meteorológica 58 puede proporcionar información al controlador de turbina eólica 36 que puede incluir la dirección del viento 28 y/o velocidad del viento. En el ejemplo, el sistema de *pitch* 32 está dispuesto al menos parcialmente como un conjunto de *pitch* 66 en el buje 20. El conjunto de *pitch* 66 incluye uno o más sistemas de accionamiento de *pitch* 68 y al menos un sensor 70. Cada sistema de accionamiento de *pitch* 68 se acopla a una respectiva pala de rotor 22 (mostrada en la figura 1) para modular el ángulo de *pitch* de una pala de rotor 22 a lo largo del eje de *pitch* 34. Solo uno de los tres sistemas de accionamiento de *pitch* 68 se muestra en la figura 2.

[0032] En el ejemplo, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un rodamiento de *pitch* 72 acoplado al buje 20 y a una respectiva pala de rotor 22 (mostrada en la figura 1) para rotar la respectiva pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 34. El sistema de accionamiento de *pitch* 68 incluye un motor de accionamiento de *pitch* 74, una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 y un piñón de accionamiento de *pitch* 78. El motor de accionamiento de *pitch* 74 está acoplado a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 74 confiera fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. La caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 está acoplada al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que el piñón de accionamiento de *pitch* 78 rote por la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. El rodamiento de *pitch* 72 está acoplado al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 78 provoque una rotación del rodamiento de *pitch* 72.

[0033] El sistema de accionamiento de *pitch* 68 se acopla al controlador de turbina eólica 36 para ajustar el ángulo de *pitch* de una pala de rotor 22 tras recibir una o más señales desde el controlador de turbina eólica 36. En el ejemplo, el motor de accionamiento de *pitch* 74 es cualquier motor adecuado accionado por potencia eléctrica y/o un sistema hidráulico que posibilita que el conjunto de *pitch* 66 funcione como se describe en el presente documento. De forma alternativa, el conjunto de *pitch* 66 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición y/o componentes adecuados, tal como, pero sin limitarse a, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. En determinados modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 74 se acciona por la energía extraída de una inercia de rotación del buje 20 y/o una fuente de energía almacenada (no mostrada) que suministra energía a los componentes de la turbina eólica 10.

[0034] El conjunto de *pitch* 66 también incluye uno o más sistemas de control de *pitch* 80 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 de acuerdo con señales de control del controlador de turbina eólica 36, en caso de situaciones prioritarias específicas y/o durante la sobrevelocidad del rotor 18. En el ejemplo, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un sistema de control de *pitch* 80 acoplado en comunicación a un respectivo sistema de accionamiento de *pitch* 68 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 independientemente del controlador de turbina eólica 36. En el ejemplo, el sistema de control de *pitch* 80 está acoplado al sistema de accionamiento de *pitch* 68 y a un sensor 70. Durante la operación normal de la turbina eólica 10, el controlador de turbina eólica 36 puede controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 para ajustar un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22.

[0035] De acuerdo con un modo de realización, un generador de potencia 84, que comprende, por ejemplo, una batería y condensadores eléctricos, está dispuesto en o dentro del buje 20 y está acoplado al sensor 70, al sistema de control de *pitch* 80 y al sistema de accionamiento de *pitch* 68 para proporcionar una fuente de potencia a estos componentes. En el ejemplo, el generador de potencia 84 proporciona una fuente continua de potencia al conjunto de *pitch* 66 durante la operación de la turbina eólica 10. En un modo de realización alternativo, el generador de potencia 84 proporciona potencia al conjunto de *pitch* 66 solo durante un evento de pérdida de potencia eléctrica de la turbina eólica 10. El evento de pérdida de potencia eléctrica puede incluir pérdida o caída de red de potencia, mal funcionamiento de un sistema eléctrico de la turbina eólica 10 y/o fallo del controlador de turbina eólica 36. Durante el evento de pérdida de potencia eléctrica, el generador de potencia 84 opera para proporcionar potencia eléctrica al conjunto de *pitch* 66 de modo que el conjunto de *pitch* 66 pueda operar durante el evento de pérdida de potencia eléctrica.

[0036] En el ejemplo, el sistema de accionamiento de *pitch* 68, el sensor 70, el sistema de control de *pitch* 80, los cables y el generador de potencia 84 se sitúan cada uno en una cavidad 86 definida por una superficie interior 88 del buje 20. En un modo de realización alternativo, dichos componentes se sitúan con respecto a una superficie exterior del buje 20 y se pueden acoplar, directa o indirectamente, a la superficie exterior.

[0037] Una vista en perspectiva esquemática de una pala de turbina eólica 22, por ejemplo, una de las palas de rotor 22 mostradas en la figura 1, se ilustra como ejemplo en la figura 3. La pala de rotor 22 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 22 en el buje 20 de una turbina eólica 10. La pala de turbina eólica 22 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 22 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 22 se extiende desde la raíz de pala 210 hasta la punta de pala 220. La pala de turbina eólica 22 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 de turbina eólica 22 que incluye la punta 220. Una región de punta puede tener una longitud de un 33 %, 30 % o 25 % de la envergadura o menos. Una región de raíz 24 se puede entender como una parte de la pala que incluye la raíz 210. Una región de raíz puede tener una longitud, por ejemplo, de un 33 %, 30 % de la envergadura o menos.

[0038] La pala de rotor 22, 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 ser más delgada y puede tener una conformación de perfil alar.

[0039] Cuando una turbina eólica está parada ("*parked*") 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.

[0040] Se pueden producir al menos dos tipos de oscilaciones o vibraciones, en particular, cuando la turbina está parada. Las primeras son las llamadas vibraciones inducidas por vórtices (VIV) y estas 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. El segundo tipo de oscilaciones son vibraciones inducidas por entrada en pérdida (SIV), que pueden surgir cuando el ángulo de ataque está cerca de los ángulos de entrada en pérdida (por ejemplo, 15 grados - 30 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 o una cuerda local de una sección de pala de rotor.

[0041] Los dispositivos 300 como se describe en el presente documento pueden reducir las vibraciones cuando la turbina eólica está parada. Puede que el rendimiento de la turbina eólica no se vea afectado negativamente, ya que el/los dispositivo(s) se pueden retirar antes de que la turbina eólica inicie la operación normal. Uno o más dispositivos 300 pueden ser, en particular, útiles 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.

[0042] Se proporciona un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 para mitigar vibraciones de una turbina eólica 10 parada. El dispositivo 300 está configurado para disponerse alrededor de una pala de turbina eólica 22. El dispositivo de mitigación de vibraciones 300 tiene una longitud 340 a lo largo de una dirección longitudinal 345 y una sección transversal sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal 345. La sección transversal incluye una dirección radial 343 y una dirección tangencial 342. El dispositivo comprende tres o más elementos de modificación de flujo de aire 305 que comprenden una superficie exterior cóncava 323 configurada para orientarse de espaldas a la pala de turbina eólica 22. El dispositivo comprende además una estructura de soporte 310 configurada para soportar la pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire 305. La distancia angular 307 entre elementos de modificación de flujo de aire 305 contiguos en sección transversal es sustancialmente constante.

[0043] Tener tres o más elementos de modificación de flujo de aire 305 que estén sustancialmente espaciados por igual, en términos de separación angular 307 (véase, por ejemplo, la figura 7), alrededor de una pala de turbina eólica 22 en sección transversal hace que el comportamiento del dispositivo sea independiente de la dirección del viento. Por lo tanto, el dispositivo 300 puede reducir satisfactoriamente las vibraciones en turbinas eólicas para más direcciones entrantes del viento, lo que puede incrementar la eficacia de la mitigación de vibraciones. Un dispositivo 300 que pueda reaccionar de forma similar independientemente de la dirección de soplado del viento puede posibilitar un comportamiento más predecible y estable que otros dispositivos, por ejemplo, un dispositivo con solo dos elementos de modificación de flujo de aire 305 o un dispositivo con tres o más elementos de modificación de flujo de aire que tengan diferentes separaciones angulares 307 de elementos 305 contiguos en sección transversal. En particular, se pueden evitar o reducir los efectos de las cargas de torsión provocadas por el dispositivo 300. Por tanto, también se pueden reducir comportamientos no deseados o inesperados del dispositivo 300. Además, se puede obtener más arrastre y, por lo tanto, más amortiguación, por ejemplo, en comparación con un dispositivo con solo uno o dos elementos de modificación. Una superficie exterior cóncava 323 de los elementos de modificación de flujo de aire 305, por ejemplo, una superficie 323 que tenga una conformación en U o conformación en C en sección transversal, puede ser, en particular, adecuada para incrementar el arrastre.

[0044] La figura 4 y la figura 5 ilustran esquemáticamente una vista en perspectiva de dos ejemplos de los elementos de modificación de flujo de aire 305 de un dispositivo de mitigación de vibraciones 300. En estas figuras, no se muestra una estructura de soporte 310 para soportar los elementos de modificación de flujo de aire. En el ejemplo de la figura 4, el dispositivo 300 está dispuesto alrededor de una pala de turbina eólica 22, en particular,

alrededor de una región de punta 225 de la pala 22. En general, todos los dispositivos 300 divulgados en el presente documento se pueden disponer alrededor de una región de punta 225 de una pala de turbina eólica 22. En la figura 5, el dispositivo 300 se mueve de modo que pueda rodear a una punta 220 de la pala 22.

5 **[0045]** En algunos ejemplos, una longitud 341 de todos los elementos de modificación de flujo de aire a lo largo de una dirección longitudinal 345 puede ser sustancialmente la misma, por ejemplo, como en la figura 4. Además, en la figura 4, una longitud 340 del dispositivo 300 es sustancialmente igual a una longitud 341 de los elementos de modificación de flujo de aire 305. En otros ejemplos, diferentes elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden tener diferentes longitudes a lo largo de una dirección longitudinal 345 del dispositivo. Al montarse
10 alrededor de una pala de turbina eólica 22, una dirección longitudinal 345 del dispositivo 300 puede ser sustancialmente paralela a una dirección a lo largo de la envergadura de la pala 22.

[0046] Se puede medir la anchura 338 del dispositivo 300 a lo largo de una dirección radial 343. Si el dispositivo tiene una sección transversal sustancialmente circular, como, por ejemplo, en los ejemplos de las figuras 4-8, la anchura 338 puede ser un diámetro del dispositivo 300. Si el dispositivo tiene una sección transversal sustancialmente elíptica, como, por ejemplo, en el ejemplo de la figura 9, se puede medir la anchura del dispositivo, por ejemplo, a lo largo de un eje principal de la elipse. Además, en los ejemplos donde el dispositivo de mitigación de vibraciones 300 comprende una sección transversal sustancialmente circular, por ejemplo, tal como en las figuras 4-8, una dirección tangencial 342 se puede denominar dirección circunferencial 342.

[0047] En algunos ejemplos, un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 puede tener una conformación sustancialmente cilíndrica, cónica o troncocónica. En algunos ejemplos, el dispositivo 300 se puede configurar, al montarse alrededor de una pala 22, para ahusarse hacia una punta de pala 220. En otros ejemplos, por ejemplo, como en las figuras 4 y 5, el dispositivo 300 tiene una conformación cilíndrica. Una conformación cilíndrica puede incrementar la independencia de la reacción del dispositivo 300 al someterse a vientos que proceden de diferentes direcciones.

[0048] En algunos ejemplos, una superficie interior 324 de los elementos de modificación de flujo de aire 305 puede ser convexa, véanse, por ejemplo, las figuras 4 y 5. Una superficie exterior 323 de un elemento de modificación de flujo de aire se puede entender como la superficie cóncava del elemento de modificación de flujo de aire que está configurada para orientarse de espaldas a una superficie de pala local y que está configurada para ser la más alejada de una superficie de pala local, por ejemplo, más lejos que una superficie interior 324 del elemento de modificación de flujo de aire. Una superficie interior 324 de un elemento de modificación de flujo de aire se puede entender como la superficie del elemento de modificación de flujo de aire que está configurada para ser la más cercana a una superficie de pala local. La superficie interior 324 puede tener otras conformaciones, por ejemplo, una conformación sustancialmente aplanada o plana.

[0049] Los elementos de modificación de flujo de aire 305 se pueden configurar para mantener su conformación, por ejemplo, una conformación en C o conformación en U en sección transversal, al estar en uso. En algunos ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire pueden comprender uno o más plásticos. Un plástico puede conferir determinada rigidez, es decir, determinada resistencia a la deformación en respuesta a una fuerza aplicada, a los elementos de modificación de flujo de aire de modo que se mantenga su conformación. En otros ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden comprender una cubierta de base textil, tal como una tela o lona, fijada a una parte de una estructura de soporte 310 adecuada, por ejemplo, a uno o más carriles. Los carriles se pueden extender a lo largo de una dirección longitudinal 345. Los uno o más carriles pueden ser sustancialmente rectos. En algunos ejemplos, un espesor 336 del elemento de modificación de flujo de aire 350 (véase, por ejemplo, la figura 5) puede ser insignificante o muy pequeño en comparación con su longitud 341 y su anchura 319. Todavía en otros ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden estar hechos de espuma. Por ejemplo, el elemento de modificación de flujo de aire de la figura 10A puede estar hecho de espuma.

[0050] Los materiales y la curvatura de los elementos de modificación de flujo de aire 305 se pueden adaptar para obtener elementos de peso ligero para mitigar eficazmente las vibraciones en turbinas eólicas. Se puede incrementar una curvatura de la superficie exterior 303 de los elementos de modificación de flujo de aire 305 para incrementar la capacidad de amortiguación del dispositivo. Por ejemplo, el elemento de modificación de flujo de aire de la figura 10B, que tiene una superficie exterior 323 con una curvatura más grande que una superficie exterior 323 del elemento de modificación de flujo de aire de la figura 10A, puede ser más eficaz para mitigar las VIV y/o SIV. En el presente documento, una curvatura se puede entender como una cantidad en la que una curva se desvía de ser una línea recta, o en la que una superficie se desvía de ser un plano. Como las figuras 10A y 10B son secciones transversales de dos elementos de modificación de flujo de aire 305, se pueden ver un borde exterior 303 y un borde interior 304 en lugar de una superficie exterior 323 y una superficie interior 324.

[0051] En algunos ejemplos, todos los elementos de modificación de flujo de aire 305 de un dispositivo 300, en sección transversal, tienen sustancialmente la misma conformación y tamaño. Esto puede ayudar a obtener una reacción del dispositivo 300 que sea más independiente de la dirección, por ejemplo, una dirección radial 343, en la que el viento sopla hacia la pala 22. En algunos de estos ejemplos, por ejemplo, en los ejemplos de las figuras

6-9, cada uno de los elementos de modificación de flujo de aire 305 del dispositivo de mitigación de vibraciones 300 puede ser sustancialmente simétrico alrededor de una dirección radial 343, véanse, por ejemplo, los elementos 313 en la figura 8 y 10A. Se puede potenciar además la simetría y una respuesta homogénea del dispositivo al viento que sopla hacia una superficie de pala local. En algunos ejemplos, todos los elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden tener además la misma longitud a lo largo de una dirección longitudinal 345, como, por ejemplo, en las figuras 4 y 5. En estos ejemplos, todos los elementos de modificación de flujo de aire 305 del dispositivo 300 son sustancialmente los mismos.

[0052] En algunos ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire 305 se pueden poner en contacto con elementos de modificación de flujo de aire contiguos. En algunos de estos ejemplos, por ejemplo, como en la figura 6, un extremo exterior 306 de un primer elemento de modificación de flujo de aire y un extremo exterior 316 de un segundo elemento de modificación de flujo de aire contiguo están separados por un entrehierro tangencial 317, es decir, un hueco 317 a lo largo de la dirección tangencial 342. Un entrehierro 317 de este tipo puede ayudar a reducir los desprendimientos de vórtices provocados por el propio dispositivo 300. En algunos otros ejemplos, los extremos exteriores 306, 316 de dos elementos de modificación de flujo de aire 305 contiguos se pueden tocar. Por ejemplo, los elementos de modificación de flujo de aire se podrían configurar de modo que los extremos exteriores 306, 316 de dos elementos de modificación de flujo de aire contiguos se toquen, como, por ejemplo, en la figura 12B. En algunos ejemplos, los extremos exteriores 306, 316 de dos elementos de modificación de flujo de aire contiguos se pueden unir, en sección transversal, por un segmento 318.

[0053] En algunos ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden estar completamente separados de los elementos de modificación de flujo de aire contiguos por un espacio de aire tangencial 315, es decir, por un espacio 315 a lo largo de una dirección tangencial 342, véase, por ejemplo, la figura 8. Es decir, no existe contacto entre elementos contiguos a lo largo de la dirección tangencial 342. Un espacio de aire tangencial 315 puede ayudar a disminuir los desprendimientos de vórtices provocados por el propio dispositivo de mitigación de vibraciones 300.

[0054] En algunos ejemplos, la distancia 315 entre dos elementos de modificación de flujo de aire consecutivos a lo largo de una dirección tangencial es menos del doble, y, en particular, menos de una vez, la anchura 319 de un elemento de modificación de flujo de aire. Se puede medir la anchura 319 de un elemento de modificación de flujo de aire en sección transversal entre los dos extremos exteriores 306 del elemento, véase, por ejemplo, la figura 8. Tener un espacio de aire 315 de este tipo puede proporcionar un equilibrio adecuado entre maximizar el arrastre debido a la conformación cóncava de las superficies exteriores 323 de los elementos de modificación de flujo de aire 305 y minimizar los desprendimientos de vórtices provocados por el dispositivo de mitigación de vibraciones 300. Dicho espacio de aire tangencial 315 se puede medir entre dos extremos exteriores 306, 316 contiguos de dos elementos de modificación de flujo de aire 305 contiguos.

[0055] En algunos ejemplos, un primer elemento de modificación de flujo de aire 325 se puede configurar para disponerse en frente de un borde de ataque 260 de la pala de turbina eólica 22 y un segundo elemento de modificación de flujo de aire 326 se puede configurar para disponerse detrás de un borde de salida 270 de la pala de turbina eólica 22, véanse, por ejemplo, las figuras 5 y 6. La disposición de dos elementos de modificación de flujo de aire de esta manera puede ayudar, en particular, a mitigar las vibraciones en el sentido del eje entre el borde de ataque y salida.

[0056] En estos ejemplos, se puede usar un número par de elementos de modificación de flujo de aire 305, siendo el número cuatro o más. Por ejemplo, como se muestra en las figuras 4-9, se pueden usar ocho elementos de modificación de flujo de aire. En otros ejemplos, se puede usar un número diferente de elementos de modificación de flujo de aire, por ejemplo, cuatro, seis, diez o más. En otros ejemplos donde dos elementos de modificación de flujo de aire no estén configurados para disponerse, respectivamente, en frente de un borde de ataque 260 y detrás de un borde de salida 270, se puede proporcionar un número par o un número impar de elementos de modificación de flujo de aire. Por ejemplo, se pueden proporcionar tres, cuatro, cinco, seis o más elementos de modificación de flujo de aire.

[0057] En algunos ejemplos, un eje radial de simetría 321 de al menos uno o más elementos de modificación de flujo de aire 305 en sección transversal se puede encontrar en una dirección diferente que la correspondiente dirección radial local 343, véase, por ejemplo, la figura 11. En otras palabras, uno o más, incluyendo todos, los elementos de modificación de flujo de aire se pueden inclinar con respecto a una dirección radial 343. En algunos de estos ejemplos, un ángulo de inclinación 322 puede estar entre 0° y 20° , en particular, más pequeño de 10° y más específicamente más pequeño de 5° .

[0058] En algunos ejemplos, en sección transversal, un primer extremo exterior 306 de un elemento de modificación de flujo de aire 305 se puede configurar para sobresalir de una superficie de pala local más que un segundo extremo exterior 316 del elemento de modificación de flujo de aire, véase, por ejemplo, las figuras 12A y 12B. Aunque se puede proporcionar una amortiguación eficaz independientemente de la dirección del viento, se puede adecuar la amortiguación en direcciones individuales introduciendo estas irregularidades. Por ejemplo, en

algunos ejemplos, la disposición y dimensiones de los elementos de modificación de flujo de aire se pueden adaptar para incrementar la amortiguación en la dirección en el sentido del eje entre el borde de ataque y salida.

5 **[0059]** En algunos ejemplos, al avanzar a lo largo de una dirección tangencial 342, los extremos exteriores 331, 332 contiguos de un primer elemento de modificación de flujo de aire 305 y un segundo elemento de modificación de flujo de aire 325 contiguo al primer elemento de modificación de flujo de aire se pueden configurar para tener una primera distancia radial 327 con respecto a un centro 301 del dispositivo. Los extremos exteriores 333, 334 contiguos del segundo elemento de modificación de flujo de aire 325 y un tercer elemento de modificación de flujo de aire 335 contiguo al segundo elemento de modificación de flujo de aire 325 se pueden configurar para tener
10 una segunda distancia radial 328 con respecto a un centro 301 del dispositivo que sea mayor que la primera distancia 327. Los primer, segundo y tercer elementos de modificación de flujo de aire 305, 325 y 335 son elementos diferentes.

15 **[0060]** En sección transversal, un borde exterior 303 de un elemento de modificación de flujo de aire con una sección transversal conformada en U o conformada en C puede comprender un punto de valle exterior 308 y dos brazos exteriores 311, 312. Un punto de valle exterior 308 se puede entender como el punto del borde exterior 303 que es más cercano a un centro 301 del dispositivo en sección transversal. En algunos ejemplos, un eje radial de simetría 321 de un elemento de modificación de flujo de aire pasa a través del punto de valle exterior 308. Los dos brazos exteriores 311, 312 pueden coincidir en el punto de valle 308. Dos brazos exteriores 331, 332 contiguos de
20 elementos de modificación de flujo de aire 305, 325 contiguos pueden formar un pico 350. Los extremos exteriores de dos brazos exteriores contiguos que forman un pico 350 pueden tener sustancialmente la misma distancia radial 327, 328 con respecto a un centro 301 del dispositivo. En algunos de estos ejemplos, como, por ejemplo, en la figura 12B, los extremos exteriores de un pico 350 se tocan.

25 **[0061]** En algunos de estos ejemplos, al avanzar a lo largo de una dirección tangencial 342, los picos consecutivos pueden tener distancias alternas con respecto a un centro 301 del dispositivo en sección transversal. Un primer grupo de picos 351 puede tener una primera distancia radial 327 con respecto a un centro del dispositivo en sección transversal y un segundo grupo de picos 352, que están desplazados a lo largo de la dirección tangencial 342 desde el primer grupo de picos 351, puede tener una segunda distancia radial 328 con respecto al
30 centro 301 del dispositivo más grande que la primera distancia 327, véanse, por ejemplo, las figuras 12A y 12B.

[0062] En algunos ejemplos, la distancia radial entre cada uno de los elementos de modificación de flujo de aire 305 y un centro 301 del dispositivo de mitigación de vibraciones 300, en sección transversal, puede ser sustancialmente la misma. Es decir, todos los elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden tener la
35 misma distancia con respecto a un centro 301 del dispositivo en sección transversal. En algunos ejemplos, se puede medir la distancia radial en sección transversal entre un centro 301 del dispositivo y un punto de valle 308 de un borde exterior 303 de un elemento de modificación de flujo de aire. En otros ejemplos, se puede medir la distancia radial en sección transversal entre un centro 301 del dispositivo y un punto de valle 309 de un borde interior 304 de un elemento de modificación de flujo de aire. Un punto de valle 309 de un borde interior 304 se
40 puede entender como el punto del borde interior 304 que es el más cercano a un centro 301 del dispositivo en sección transversal, véase, por ejemplo, la figura 10A. Un borde interior 304 puede tener dos brazos interiores 361, 362 que pueden coincidir en el punto de valle interior 309. Los brazos interiores 361, 362 pueden coincidir con los brazos exteriores 311, 312 en los extremos exteriores 306 del elemento de modificación de flujo de aire 305, véase, por ejemplo, la figura 10A.

45 **[0063]** En algunos ejemplos, uno o más elementos de modificación de flujo de aire 305, incluyendo todos los elementos de modificación de flujo de aire, se pueden configurar para cambiar entre una configuración retraída y una configuración extendida. Por ejemplo, se pueden configurar para extenderse y retraerse a lo largo de una
50 dirección longitudinal 345 del dispositivo 300. En algunos ejemplos, los elementos de modificación de flujo de aire 305 pueden comprender una cubierta de base textil, tal como una tela o lona, fijada de forma móvil a uno o más carriles. Los carriles se pueden extender a lo largo de una dirección longitudinal 345.

[0064] Los elementos de modificación de flujo de aire 305 retráctiles y extensibles de un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 pueden ayudar a adaptar cuánto o hasta qué punto una superficie de un elemento
55 de modificación de flujo de aire está expuesta al viento. Por lo tanto, se puede potenciar el control del dispositivo al llevarse (por ejemplo, elevarse) a una pala 22 de una turbina eólica 10 parada, y/o al transportar o elevar la pala que lleva dicho dispositivo.

[0065] Puede ser, en particular, beneficioso llevar el dispositivo en una configuración retraída para reducir el
60 riesgo de daño al dispositivo 300, así como a la turbina eólica 10, por ejemplo, una torre de turbina eólica 15 o una pala de turbina eólica 22. También se puede potenciar el control del dispositivo una vez instalado en la pala 22. Si se requiere más mitigación de vibraciones, uno o más elementos de modificación de flujo de aire 350 del dispositivo 300 se pueden extender además si aún no están completamente extendidos. Si el dispositivo 300 y/o la turbina eólica 10 se someten a cargas o vibraciones inesperadas o no deseadas, uno o más elementos de modificación
65 de flujo de aire 305 se pueden retraer para atenuar las vibraciones y/o tensiones no deseadas. Por lo tanto, se puede evitar la retirada de un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 de la pala o puede ser necesario con

menos frecuencia. Esto puede incrementar la eficacia a la hora de reaccionar ante condiciones potencialmente peligrosas o no deseadas. Esto puede facilitar además la activación del dispositivo 300, es decir, la extensión de los elementos de modificación de flujo de aire 305 del dispositivo 300, una vez que los eventos arriesgados o no deseados hayan finalizado.

5
[0066] Por toda esta divulgación, una configuración retraída de un elemento de modificación de flujo de aire 350 puede significar que el elemento de modificación de flujo de aire tiene una configuración en la que una o más de sus dimensiones, es decir, la longitud 341, la anchura 319 y/o el espesor 336, son más pequeños que en una configuración extendida. Por ejemplo, una longitud 341 de un elemento de modificación de flujo de aire 305 a lo largo de una dirección longitudinal 345 del elemento de modificación de flujo de aire se puede incrementar en una configuración extendida del elemento de modificación de flujo de aire en comparación con su longitud 341 en una configuración retraída. En estos u otros ejemplos, se puede incrementar la anchura 319 de un elemento de modificación de flujo de aire en una configuración extendida del elemento de modificación de flujo de aire en comparación con una configuración retraída del elemento de modificación de flujo de aire.

10
15
[0067] En algunos ejemplos, la estructura de soporte 310 puede comprender un soporte de punta 339 y un soporte de raíz 337, véase, por ejemplo, la figura 13A. Se puede entender que un soporte de punta 339 está configurado para estar más cerca de una punta 220 de la pala 22 que un soporte de raíz 337 cuando el dispositivo de mitigación de vibraciones 300 está montado alrededor de la pala 22. Asimismo, se puede entender que un soporte de raíz 337 está configurado para estar más cerca de una raíz 210 de la pala 22 que un soporte de punta 339 cuando el dispositivo 300 está montado alrededor de la pala 22. En algunos ejemplos, la estructura de soporte 310 puede comprender uno o más soportes intermedios 344 entre el soporte de punta 339 y el soporte de raíz 337. En estos u otros ejemplos, uno o más carriles se pueden extender entre el soporte de punta 339 y el soporte de raíz 337.

20
25
[0068] En algunos ejemplos, se puede proporcionar un soporte de punta 339 en o cerca de un primer extremo longitudinal 346, por ejemplo, un extremo de punta 346, del dispositivo 300. Se puede proporcionar un soporte de raíz 337 en o cerca de un segundo extremo longitudinal 347, por ejemplo, un extremo de punta 347, del dispositivo.

30
35
[0069] En algunos ejemplos, los soportes de punta 339 y raíz 337, y opcionalmente los soportes intermedios 344, si están presentes, pueden tener una sección transversal circular o elíptica. Por ejemplo, un borde exterior de los soportes, en sección transversal, puede ser sustancialmente circular o elíptico. Un borde interior de los soportes, en sección transversal, puede ser sustancialmente circular en algunos ejemplos y se puede configurar para adaptarse a un perfil de pala en algunos otros ejemplos. En algunos ejemplos, los soportes de raíz 337 y punta 339 pueden ser inflables.

40
[0070] En algunos ejemplos, los soportes de punta y raíz pueden comprender uno o más salientes 348 que se extienden hacia afuera, véase, por ejemplo, la figura 13B. Los salientes 348 se pueden configurar para extenderse de espaldas a una superficie de pala de turbina eólica local cuando el dispositivo 300 está montado en la pala 22. Un borde externo 349 del soporte que comprende dos salientes contiguos puede ser cóncavo, por ejemplo, puede formar una conformación en C o en U en sección transversal. En algunos ejemplos, uno o más carriles (no mostrados) que se extienden entre los soportes de punta 339 y raíz 337 se pueden fijar a los bordes exteriores cóncavos de los soportes de punta y raíz. Los uno o más carriles pueden ser sustancialmente rectos.

45
50
[0071] En algunos ejemplos, la estructura de soporte 310 puede comprender un manguito de soporte 353 configurado para rodear a una pala de turbina eólica 22 y para soportar los elementos de modificación de flujo de aire 305, véanse, por ejemplo, las figuras 6 y 9. Un manguito de soporte puede comprender un manguito de base flexible 354 configurado para encajarse alrededor de la pala de turbina eólica 22, por ejemplo, para envolver la pala, y tres o más salientes de manguito 355 configurados para soportar los elementos de modificación de flujo de aire 305.

55
[0072] En algunos ejemplos, los salientes de manguito 355 pueden incluir al menos uno de salientes similares a placa y salientes similares nervadura que se extiendan hacia afuera desde la base 354. Los salientes similares nervadura pueden incluir varillas, barras o elementos similares. Se pueden usar otras clases de salientes 355 en otros ejemplos. El número y tipo de salientes usados se pueden adaptar a los elementos de modificación de flujo de aire 305 del dispositivo, por ejemplo, al material del que estén hechos y a su conformación y dimensiones. La base 354 del manguito puede ayudar a proteger los dientes serrados en el borde de salida 270 de una pala 22.

60
[0073] En algunos ejemplos, una estructura de soporte 310 del dispositivo de mitigación de vibraciones 300 puede ser lo suficientemente rígida para mantener el/los elemento(s) de modificación de flujo de aire separado(s) de una superficie de pala. Por ejemplo, los soportes de punta 339 y raíz 337 y los salientes de manguito 355 pueden ser lo suficientemente rígidos de modo que, cuando el dispositivo esté en uso, puedan mantener una conformación sustancialmente igual o similar que al montarse alrededor de una pala 22.

65
[0074] En algunos ejemplos, el dispositivo de mitigación de vibraciones 300 se puede configurar para proporcionar un hueco radial 314, véase, por ejemplo, la figura 6, entre uno o más elementos de modificación de

flujo de aire 305 y una superficie local de la pala de turbina eólica 22 cuando el dispositivo está montado en la pala 22. Es decir, se puede proporcionar un hueco radial 314 entre la totalidad de un elemento de modificación de flujo de aire y una correspondiente superficie de pala por debajo del elemento de modificación de flujo de aire. Esto puede incrementar el arrastre. La estructura de soporte 310 se puede configurar para separar los uno o más elementos de modificación de flujo de aire 305 de una superficie de pala local, por ejemplo, al tener un determinado tamaño y/o al tener salientes.

[0075] También se proporciona una pala de turbina eólica 22 que comprende uno o más dispositivos de mitigación de vibraciones 300 como se describe en el presente documento. En algunos ejemplos, una pala de turbina eólica 22 comprende un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 dispuesto alrededor de una región de punta 225 de la pala 22. También se proporciona una turbina eólica 10 parada que comprende una torre 15, una góndola 16, un buje 20 y una o más palas 22, comprendiendo al menos una de las palas 22 un dispositivo de mitigación de vibraciones 350.

[0076] En otro aspecto de la divulgación, se proporciona un procedimiento 400 para mitigar vibraciones en una turbina eólica 10 parada. El procedimiento, que se ilustra esquemáticamente en la figura 14, se puede usar, en particular, durante la instalación y/o puesta en marcha de la turbina eólica 10. El procedimiento también se puede usar cuando la turbina eólica se detiene después de que se haya operado (es decir, haya producido energía), por ejemplo, durante el mantenimiento o reparación.

[0077] El procedimiento comprende, en la etapa 410, mover un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 alrededor de una pala de turbina eólica 22 y hacia una raíz 210 de la pala 22, comprendiendo el dispositivo 300 tres o más elementos de modificación de flujo de aire 305 que comprenden una superficie exterior cóncava 323 configurada para orientarse de espaldas a la pala de turbina eólica 22, por ejemplo, de una superficie local de la pala al montarse en ella. La distancia angular 307 entre elementos de modificación de flujo de aire 305 contiguos en sección transversal es sustancialmente constante. El dispositivo 300 puede ser cualquier dispositivo como se describe en el presente documento.

[0078] En algunos ejemplos, el dispositivo 300 se puede mover tirando de una o más sogas ("ropes") fijadas a la estructura de soporte 310, por ejemplo, a un soporte de raíz 337.

[0079] En algunos ejemplos, el dispositivo 300 se puede mover hacia la raíz de pala 210 hasta que una superficie interna del soporte de punta 339 toca una superficie de la pala 22 y se atasca, y, por lo tanto, no puede mantener su movimiento hacia la raíz 210. En algunos ejemplos, el dispositivo 300 se puede configurar de modo que, cuando su soporte de punta 339 se ponga en contacto con una superficie de pala local y se atasque, el soporte de raíz 337 también toque una superficie de pala local.

[0080] En algunos ejemplos, el dispositivo 300 se puede montar en una pala de turbina eólica 22 en un rotor 18 ya colocado en la parte superior de la torre 15. En algunos de estos ejemplos, las una o más sogas se pueden bajar desde un buje 20 o una góndola 16 y, a continuación, fijar a la estructura de soporte 310. La pala de turbina eólica 22 en la que se va a disponer el dispositivo 300 puede apuntar hacia abajo, es decir, puede estar sustancialmente en una posición de las seis en punto. Si la pala 22 está en una posición diferente, el rotor 18 se puede rotar para hacer que la pala apunte hacia abajo. El dispositivo 300 se puede montar en una pala 22 en una posición diferente, por ejemplo, usando una soga adicional fijada a un extremo de punta del dispositivo para ayudar a levantar el dispositivo. Pero puede ser más fácil y rápido instalar el dispositivo 300 apuntando la pala 22 hacia abajo.

[0081] En algunos otros ejemplos, se puede instalar y desinstalar un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 usando uno o más drones, por ejemplo, al menos dos drones. Los drones se pueden conectar a un dispositivo 300 por una o más sogas. Los drones pueden llevar el dispositivo 300 hacia una pala 22, por ejemplo, desde el suelo 12, una góndola 16 o un buje 20, y provocar que el dispositivo rodee a una pala de turbina eólica 22.

[0082] El dispositivo 300 también se puede instalar alrededor de una pala 22 que aún no se haya fijado al rotor de turbina eólica 18. En estos ejemplos, un dispositivo de levantamiento, tal como una grúa, puede levantar la pala de modo que la punta 220 apunte hacia abajo. A continuación, el dispositivo 300 se puede mover, por ejemplo, deslizar, alrededor de la pala hacia arriba tirando de una o más sogas.

[0083] El procedimiento comprende además, en la etapa 420, asegurar el dispositivo 300 a la turbina eólica 10. Por ejemplo, el dispositivo se puede asegurar a la superficie de pala de turbina eólica, a una góndola 16 o a un buje 20.

[0084] La aseguración puede incluir fijar las una o más sogas a la turbina eólica. La fijación de las una o más sogas puede mantener el dispositivo 300 en su lugar y evitar que se caiga, por ejemplo, deslizándose hacia una punta de pala 220. En algunos ejemplos, las sogas se pueden fijar a una parte de la pala 22. Por ejemplo, la pala 22 puede incluir uno o más puntos de anclaje a los que se pueden fijar las sogas. En otros ejemplos, las sogas se pueden fijar al buje 20 o a la góndola 16.

- 5 [0085] En algunos ejemplos, si uno o más elementos de modificación de flujo de aire 350 están en una configuración retraída, el procedimiento puede incluir además cambiar la configuración retraída a una configuración extendida. Por ejemplo, una vez que el dispositivo de mitigación de vibraciones 300 está asegurado, los elementos de modificación de flujo de aire 305 se pueden extender. En algunos otros ejemplos, se pueden extender antes de que se asegure el dispositivo 300, por ejemplo, una vez que el dispositivo esté alrededor de una parte de punta 225 de una pala de turbina eólica, pero antes de que el dispositivo se asegure.
- 10 [0086] En algunos ejemplos, extender al menos un elemento de modificación de flujo de aire 305 puede comprender mover al menos el elemento de modificación de flujo de aire 305 a lo largo de uno o más carriles. La extensión de un elemento de modificación de flujo de aire se puede realizar hacia una punta de pala 220 y/o una raíz de pala 210 en algunos ejemplos.
- 15 [0087] Si el dispositivo 300 está montado en una pala 22 desinstalada, el procedimiento puede comprender además instalar la pala de turbina eólica 22. La pala 22 se puede fijar, en primer lugar, al buje 20 y el buje 20 y la pala 22 se pueden levantar conjuntamente, o el buje 20 se puede montar, en primer lugar, en la torre y, a continuación, la pala 22 con el dispositivo 300 se puede levantar y conectar al buje 20.
- 20 [0088] Una vez que una pala 22 instalada en la torre comprende un dispositivo 300, el rotor 18 se puede rotar para montar otro dispositivo 300 en otra pala 22 o para fijar otra pala 22 con un dispositivo montado 300. Si se usan drones, esto no se puede evitar, ya que los dispositivos 300 se pueden montar en periodos de tiempo superpuestos en diferentes palas.
- 25 [0089] Una vez que una turbina eólica 10 comprende una o más palas 22 con uno o más dispositivos 300 instalados, los dispositivos 300 pueden reducir las vibraciones en turbinas eólicas, por ejemplo, vibraciones inducidas por vórtices y/o vibraciones inducidas por entrada en pérdida.
- 30 [0090] El dispositivo 300 puede permanecer montado alrededor de la pala 22 hasta que se inicie o reanude la operación de la turbina eólica. El procedimiento puede comprender además retirar el dispositivo 300 de la pala de turbina eólica 22 antes de iniciar o reanudar la operación. Si se instala más de un dispositivo 300, todos ellos se pueden retirar antes de iniciar o reanudar la operación.
- 35 [0091] La retirada de un dispositivo 300 puede comprender quitar las una o más sogas y dejar caer el dispositivo 300 por la acción de la gravedad. La pala 22 puede apuntar hacia abajo, es decir, la pala puede estar sustancialmente en una posición de las seis en punto. Si la pala 22 no está en esta posición, el rotor 18 se puede rotar para colocar la pala 22 apuntando hacia abajo. Un dispositivo 300 se puede usar más de una vez en la misma turbina eólica o diferente.
- 40 [0092] Si se usan uno o más drones para desinstalar los dispositivos, los drones pueden llevarlos a tierra, buje o góndola en algunos ejemplos.
- 45 [0093] De acuerdo con otro aspecto de la divulgación, se proporciona un dispositivo de mitigación de vibraciones 300 para mitigar vibraciones de una turbina eólica 10 parada. El dispositivo comprende tres o más elementos de modificación de flujo de aire 305. Los elementos de modificación de flujo de aire 305 tienen una sección transversal sustancialmente conformada en C o conformada en U. Una abertura de la conformación en C o conformación en U se orienta de espaldas a la pala de turbina eólica 22. El dispositivo 300 comprende además una estructura de soporte 310 configurada para mantener sustancialmente la misma distancia entre elementos de modificación de flujo de aire 305 contiguos.
- 50 [0094] Un dispositivo de acuerdo con este aspecto puede ser cualquier dispositivo como se describe en el presente documento. Por ejemplo, un dispositivo de acuerdo con este aspecto puede incorporar uno o más detalles ilustrados en las figuras 4-13B. En general, las explicaciones previas con respecto a las figuras 4-13B también se pueden aplicar al dispositivo de este aspecto. Asimismo, los detalles de este aspecto también pueden ser aplicables a los aspectos previos. Un dispositivo de acuerdo con este aspecto se puede instalar y desinstalar como se explica previamente anteriormente en la presente divulgación.
- 55 [0095] En algunos ejemplos, la estructura de soporte 310 está configurada además para mantener una distancia sustancialmente constante entre los elementos de modificación de flujo de aire y un centro geométrico 301 del dispositivo 300 en sección transversal.
- 60 [0096] En algunos ejemplos, dos elementos de modificación de flujo de aire contiguos 305 pueden estar separados por un espacio de aire tangencial 315.
- 65 [0097] En algunos ejemplos, el dispositivo 300 comprende un número par de elementos de modificación de flujo de aire 305, en particular, cuatro o más elementos de modificación de flujo de aire.

[0098] En algunos de estos ejemplos, un primer elemento de modificación de flujo de aire está configurado para situarse en frente de un borde de ataque 360 de la pala 22 y un segundo elemento de modificación de flujo de aire está configurado para situarse detrás de un borde de salida 270 de la pala 22.

5 **[0099]** En algunos ejemplos, la estructura de soporte 310 comprende al menos un soporte de punta 339 y un soporte de raíz 337 a los que están fijados los elementos de modificación de flujo de aire 305. Los soportes de raíz y punta pueden ser aros en algunos ejemplos.

10 **[0100]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la enseñanza, incluyendo los modos de realización preferentes, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la enseñanza, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable está definido por las reivindicaciones.

15 **[0101]** Se pueden mezclar y equiparar aspectos de los diversos modos de realización descritos, así como otros equivalentes conocidos para cada uno de dichos aspectos, por un experto en la técnica, para construir modos de realización y técnicas adicionales de acuerdo con los principios de esta solicitud. Si los signos de referencia relacionados con los dibujos están colocados entre paréntesis en una reivindicación, son exclusivamente para intentar incrementar la inteligibilidad de la reivindicación y no se interpretarán como limitantes del alcance de la reivindicación.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (300) para mitigar vibraciones de una turbina eólica (10) parada configurado para disponerse alrededor de una pala de turbina eólica (22),

5 en el que el dispositivo de mitigación de vibraciones (300) tiene una longitud (340) a lo largo de una dirección longitudinal (345) y una sección transversal sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal (345), incluyendo la sección transversal una dirección radial (343) y una dirección tangencial (342);

10 comprendiendo el dispositivo (300) tres o más elementos de modificación de flujo de aire (305) que comprenden una superficie exterior cóncava (323) configurada para orientarse de espaldas a la pala de turbina eólica (22);

15 comprendiendo además el dispositivo (300) una estructura de soporte (310) configurada para soportar la pluralidad de elementos de modificación de flujo de aire (305); en el que

20 la distancia angular (307) entre elementos de modificación de flujo de aire (305) contiguos en sección transversal es sustancialmente constante.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que una superficie interior (324) de los elementos de modificación de flujo de aire (305) es convexa.
3. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en el que todos los elementos de modificación de flujo de aire (305) de un dispositivo (300), en sección transversal, tienen sustancialmente la misma conformación y tamaño.
4. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que los elementos de modificación de flujo de aire (305) se ponen en contacto con elementos de modificación de flujo de aire (305) contiguos.
5. El dispositivo de la reivindicación 4, en el que un extremo exterior (306) de un primer elemento de modificación de flujo de aire y un extremo exterior (316) de un segundo elemento de modificación de flujo de aire contiguo están separados por un entrehierro tangencial (317).
6. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que los elementos de modificación de flujo de aire (305) están completamente separados de los elementos de modificación de flujo de aire (305) contiguos por un espacio de aire tangencial (315).
7. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que un primer elemento de modificación de flujo de aire (325) está configurado para disponerse en frente de un borde de ataque (260) de la pala de turbina eólica (22) y en el que un segundo elemento de modificación de flujo de aire (326) está configurado para disponerse detrás de un borde de salida (270) de la pala de turbina eólica (22).
8. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que un eje radial de simetría (321) de al menos uno o más elementos de modificación de flujo de aire (305) en sección transversal se encuentra en una dirección diferente que la correspondiente dirección radial local (343).
9. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el dispositivo (300) está configurado para proporcionar un hueco radial (314) entre uno o más elementos de modificación de flujo de aire (305) y una superficie local de la pala de turbina eólica (22) cuando el dispositivo (300) está montado en la pala (22).
10. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que una estructura de soporte (310) comprende un soporte de punta (339) y un soporte de raíz (337), estando configurado el soporte de punta (339) para estar más cerca de una punta de pala (220) que el soporte de raíz (339).
11. Una pala de turbina eólica (22) que comprende un dispositivo (300) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10.
12. Un procedimiento (400) para mitigar vibraciones en una turbina eólica (10) parada, comprendiendo el procedimiento:

60 mover (410) un dispositivo de mitigación de vibraciones (300) alrededor de una pala de turbina eólica (22) y hacia una raíz (210) de la pala (22), en el que el dispositivo (300) comprende tres o más elementos de modificación de flujo de aire (305) que comprenden una superficie exterior cóncava (323) configurada para orientarse de espaldas a la pala de turbina eólica (22), y en el que la distancia angular (307) entre elementos de modificación de flujo de aire (305) contiguos en sección transversal es sustancialmente constante; y

65

asegurar (420) el dispositivo (300) a la turbina eólica (10).

- 5
13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que mover (410) comprende tirar de una o más sogas fijadas a una estructura de soporte (310) del dispositivo de mitigación de vibraciones (300).
14. El procedimiento de la reivindicación 12 o 13, en el que la pala de turbina eólica (22) apunta hacia abajo.
- 10
15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 12-14, que comprende además retirar el dispositivo (300) de la pala de turbina eólica (22) antes de iniciar o reanudar la operación.

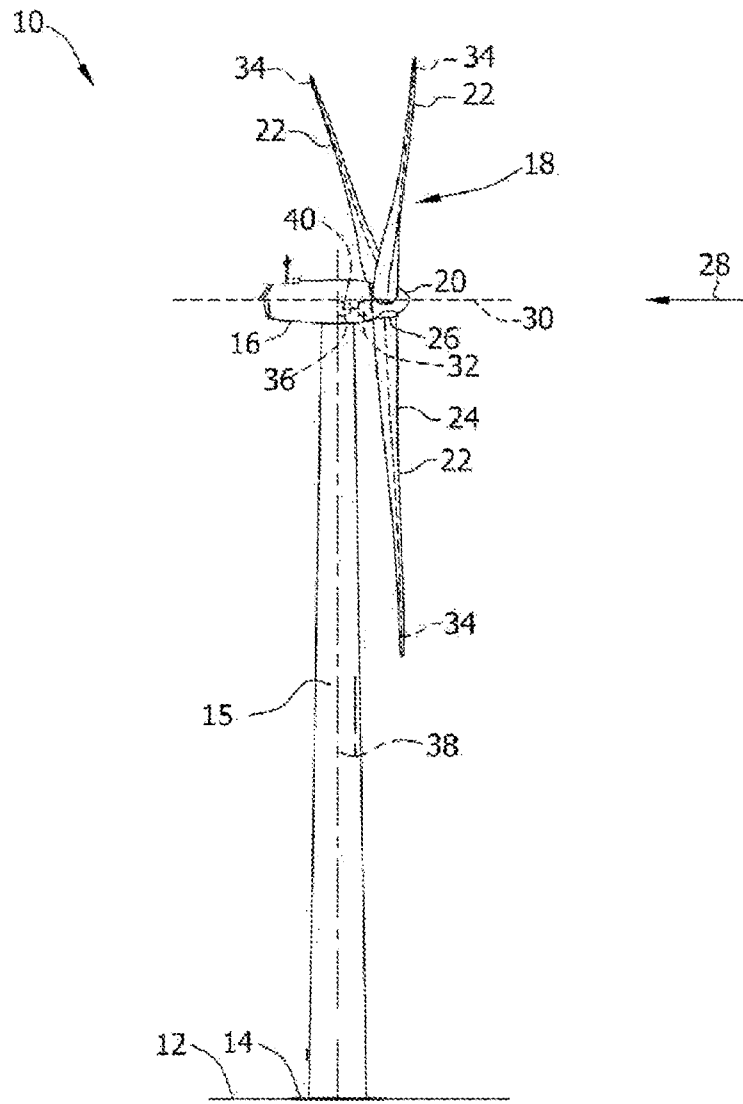


Fig. 1

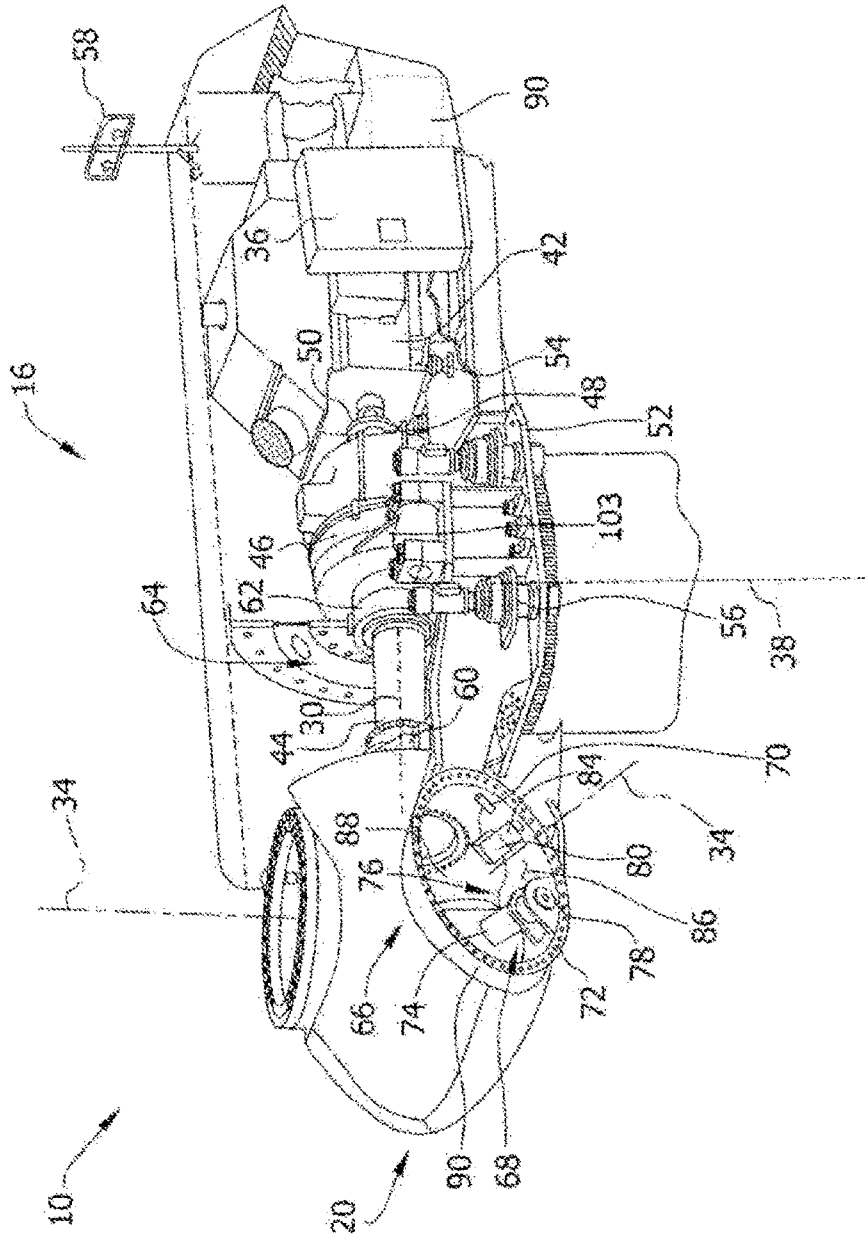


Fig. 2

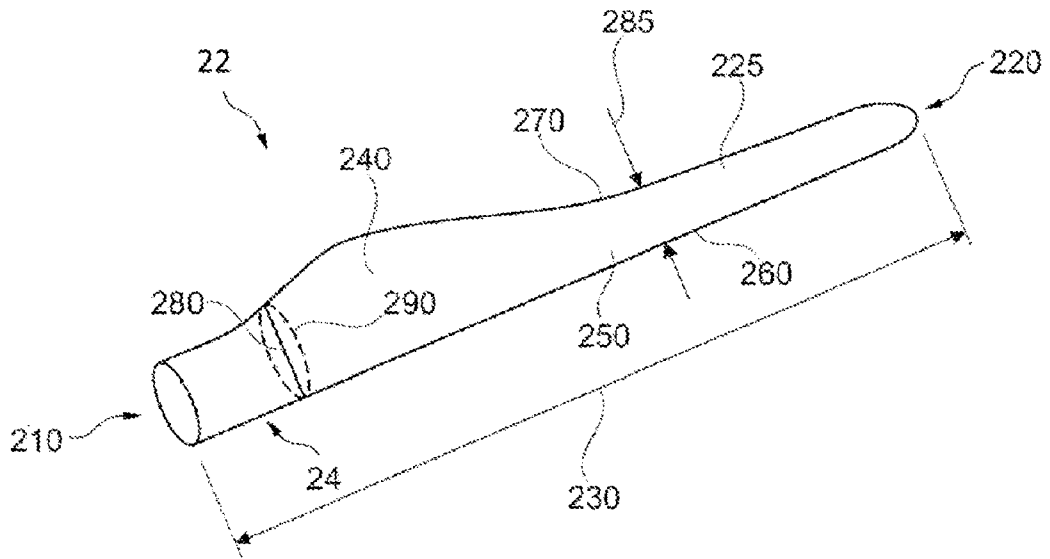


Fig. 3

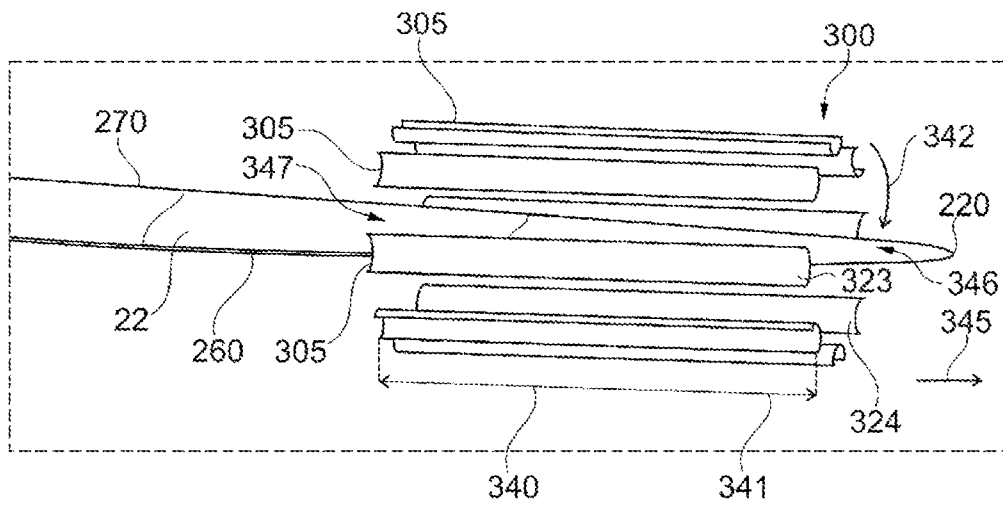


Fig. 4

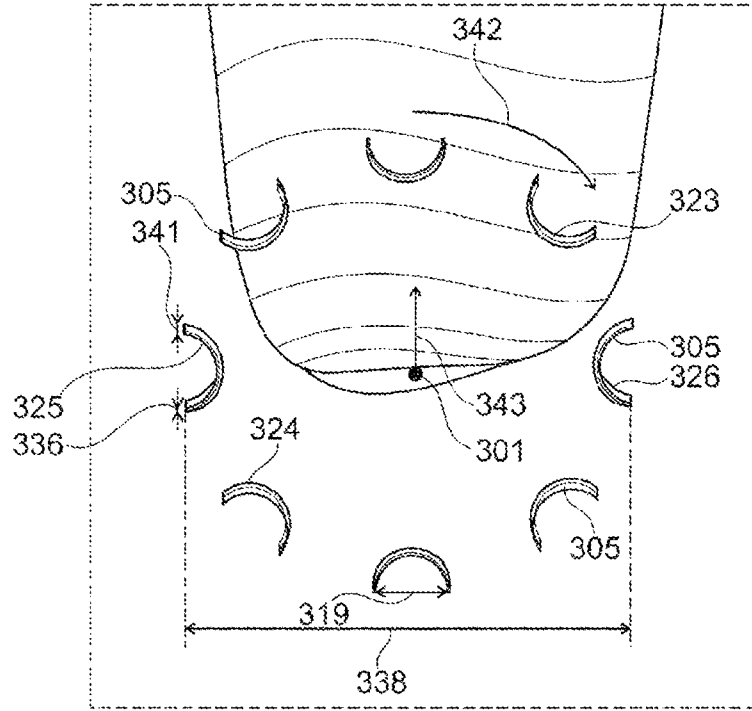


Fig. 5

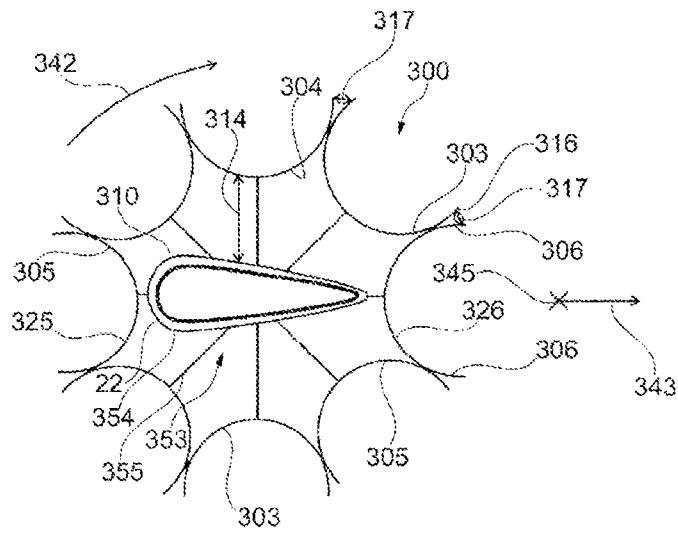


Fig. 6

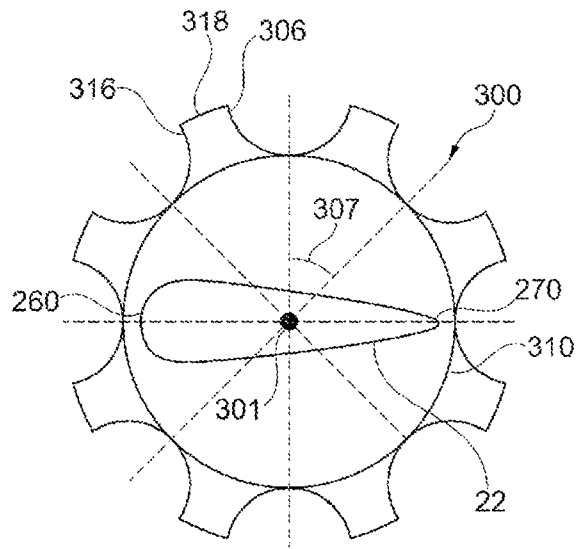


Fig. 7

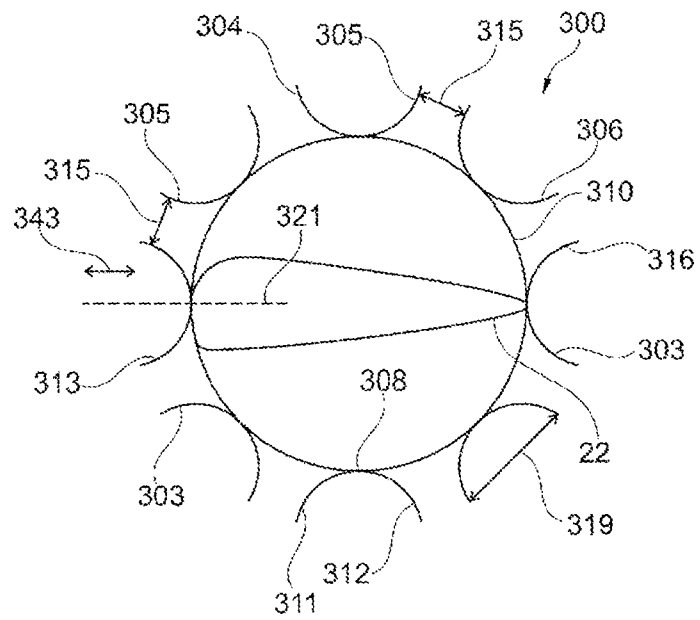


Fig. 8

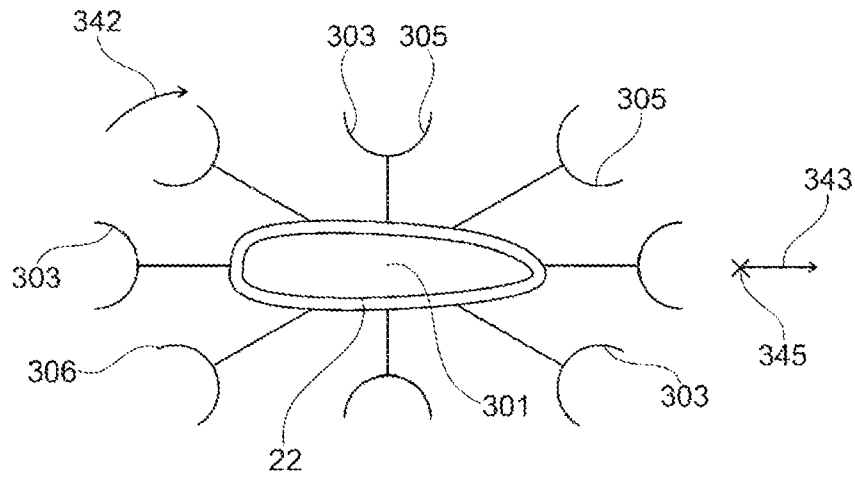


Fig. 9

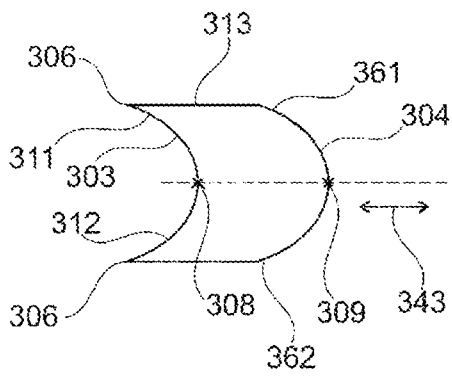


Fig. 10A

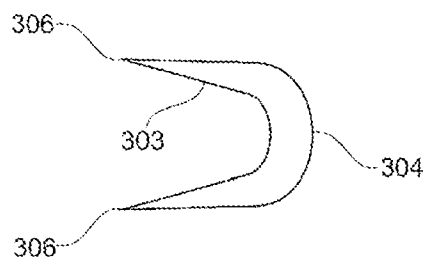


Fig. 10B

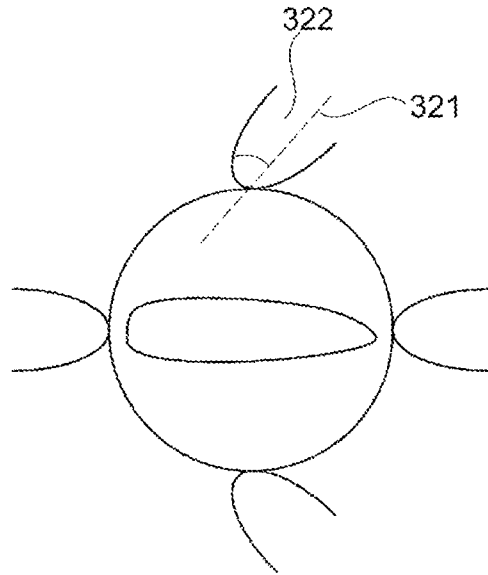


Fig. 11

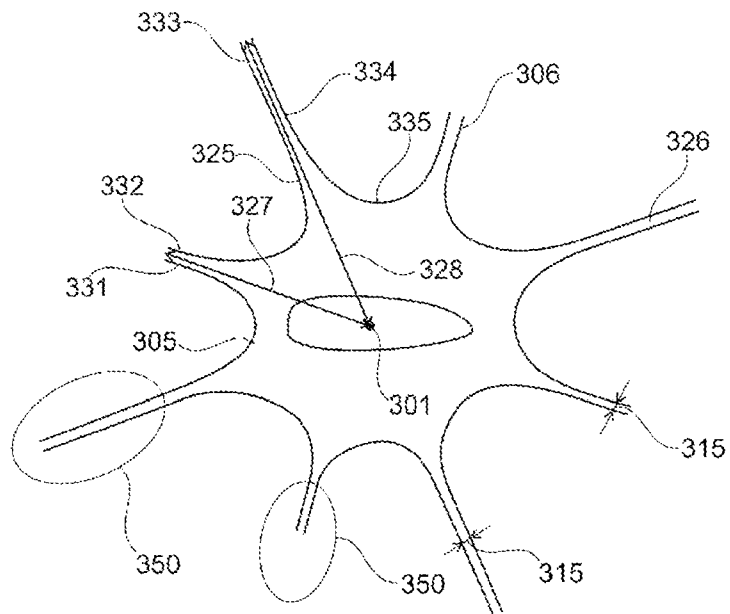


Fig. 12A

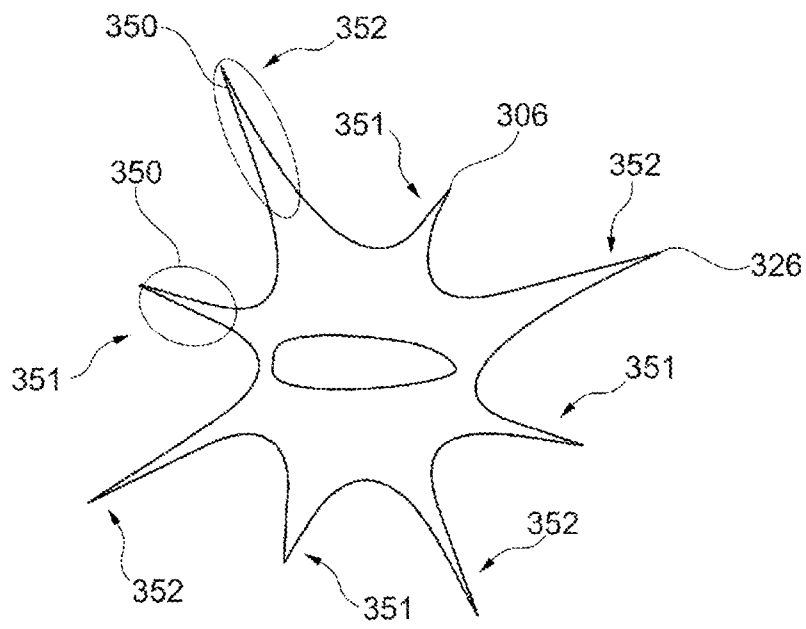


Fig. 12B

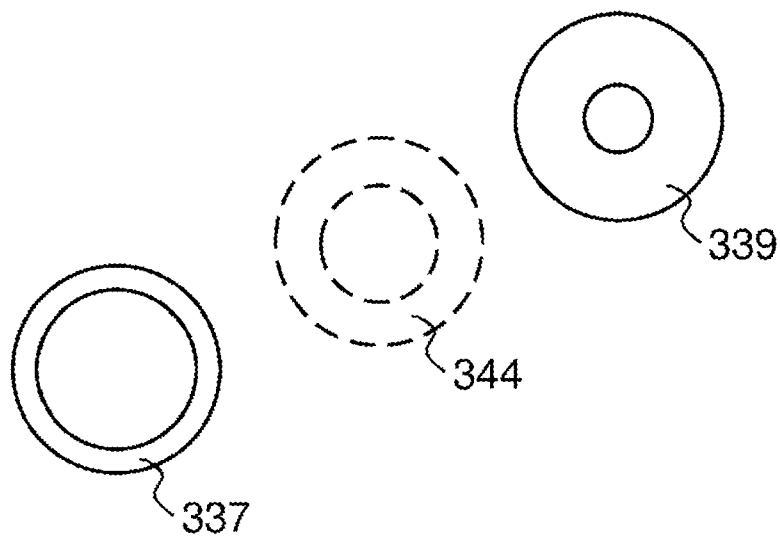


Fig. 13A

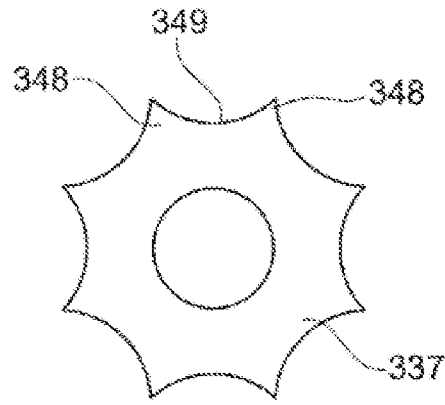


Fig. 13B

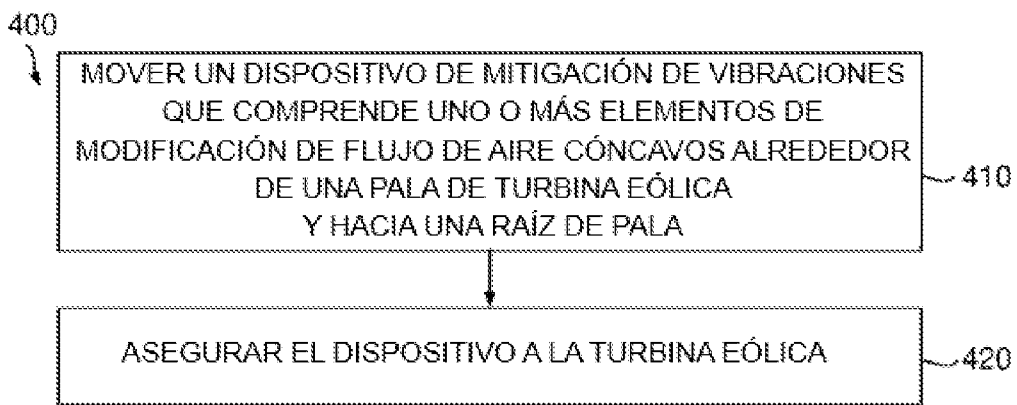


Fig. 14