

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 937 134**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.09.2019** **PCT/US2019/051869**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020** **WO20068542**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2019** **E 19780475 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2022** **EP 3857049**

54 Título: **Método para reducir ruido y vibraciones en una pala compuesta de turbina eólica, y pala de turbina eólica asociada**

30 Prioridad:

24.09.2018 US 201816139185

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

24.03.2023

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:

MERZHAUSER, THOMAS y
HERRIG, ANDREAS

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 937 134 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

Método para reducir ruido y vibraciones en una pala compuesta de turbina eólica, y pala de turbina eólica asociada

SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reivindica prioridad a U.S. nº: 16/139,185 presentada el 24 de septiembre de 2018.

5 CAMPO

[0002] La presente materia se refiere en general a palas de rotores de turbinas eólicas y, más concretamente, a una configuración de larguero ("spar") entre segmentos de una pala compuesta ("jointed blade") diseñada para reducir ruido y vibraciones generadas en el perfil de unión.

ANTECEDENTES

10 [0003] La potencia eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y respetuosas con el medio ambiente actualmente disponibles, y las turbinas eólicas han ganado cada vez más atención en este sentido. Una turbina eólica moderna suele incluir una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o varias palas de rotor. Las palas de rotor captan la energía cinética del viento utilizando principios de perfil conocidos y transmiten la energía cinética a través de la energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se utiliza una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que puede suministrarse a una red de suministro.

15 [0004] Las palas de rotor de una turbina eólica incluyen generalmente una concha formada por dos mitades de concha de un material laminado compuesto. Las mitades de concha se fabrican generalmente mediante procesos de moldeo y luego se acoplan entre sí a lo largo de los extremos correspondientes de la pala de rotor. En general, la concha es relativamente ligera y tiene unas propiedades estructurales (por ejemplo, rigidez, resistencia al pandeo y resistencia) que no están configuradas para soportar los momentos de flexión y otras cargas ejercidas sobre la pala de rotor durante su operación.

25 [0005] En los últimos años, las turbinas eólicas para la generación de energía eólica han aumentado de tamaño para conseguir mejorar la eficiencia de la generación de energía y aumentar la cantidad de potencia generada. Junto con el aumento del tamaño de las turbinas eólicas para la generación de potencia eólica, las palas de los rotores de las turbinas eólicas también han aumentado significativamente de tamaño (por ejemplo, hasta 55 metros de longitud), lo que ha provocado dificultades en la fabricación integral, así como en el traslado y el transporte de las palas a un emplazamiento.

30 [0006] En este sentido, la industria está desarrollando palas de rotor seccionales para turbinas eólicas en las que se fabrican segmentos de pala separados y se transportan a un emplazamiento para su montaje en una pala completa (una pala compuesta). En determinadas construcciones, los segmentos de pala se unen entre sí mediante una estructura de viga que se extiende a lo ancho desde un segmento de pala hasta una sección receptora del otro segmento de pala. Se hace referencia, por ejemplo, a la publicación de patente US nº 2015/0369211, que describe un primer segmento de pala con una estructura de viga que se extiende longitudinalmente y que conecta estructuralmente con un segundo segmento de pala en una sección receptora. La estructura de viga forma una parte de la estructura de soporte interna de la pala e incluye un alma a cortante conectada con una tapa de larguero ("spar cap") de lado de succión y una tapa de larguero de lado de presión. Para conectar la estructura de la viga con la sección receptora en el segundo segmento de la pala se utilizan múltiples uniones atornilladas, que incluyen un perno en dirección de envergadura ("span-wise bolt") en la cara del extremo de la viga y al menos un perno en dirección de cuerda ("chord-wise bolt") a través de la estructura de la viga espaciados de la línea de unión entre los segmentos de la pala.

45 [0007] De forma similar, la publicación de patente US nº 2011/0091326 describe una pala compuesta en la que una primera porción de pala y una segunda porción de pala se extienden en direcciones opuestas desde una unión. Cada porción de pala incluye una sección de larguero que forma un miembro estructural de la pala y discurre longitudinalmente, en la que la primera porción de pala y la segunda porción de pala están conectadas estructuralmente por un puente de larguero que une las secciones de larguero. El puente del larguero puede ser una extensión de una de las secciones del larguero que se recibe en una sección de larguero receptora de la otra porción de pala. Esta configuración también utiliza un perno roscado que se extiende desde la cara extrema del larguero para conectar y tensar el larguero en la sección de larguero receptora. La solicitud de patente US n.º 2014/234108 A1 describe la construcción de una pala compuesta cuya forma ha sido "precompensada" para tener en cuenta la deformación de la pala que se producirá bajo carga.

55 [0008] Sin embargo, se ha descubierto que las configuraciones de palas compuestas son susceptibles de sufrir un

aumento de vibraciones y de generación de ruido como consecuencia de la unión. Las deflexiones relativas entre el segmento de la pala del extremo de raíz y el segmento de la pala del extremo de punta provocan desplazamientos en dirección de abatimiento ("flap-wise") entre los miembros de la concha en la línea de unión. Esta situación se da especialmente en los diseños de palas compuestas que emplean un perno o pasador en dirección de cuerda espaciado (en dirección de envergadura) de la línea de unión para transferir las cargas del perno en dirección de cuerda a las conchas de pala. Esta separación en dirección de envergadura, junto con la diferencia de rigidez y orientación entre el segmento de la pala y la estructura de soporte interna de unión, da lugar a los desplazamientos en dirección de abatimiento entre los miembros de concha.

[0009] Además del desplazamiento inducido en dirección de abatimiento, también se generan fuerzas de torsión en la estructura de unión que generan un desplazamiento de torsión entre los miembros de la concha, especialmente en el borde de salida de la pala.

[0010] A medida que el aire fluye sobre las superficies de concha en condiciones de carga de la turbina eólica, los desplazamientos en dirección de abatimiento y/o torsión en la línea de unión dan lugar a la generación de vórtices turbulentos, que pueden aumentar significativamente las vibraciones y el ruido que se generan en la línea de unión. Además, los desplazamientos por torsión pueden reducir la potencia de la turbina eólica en las condiciones de diseño.

[0011] Por lo tanto, una estructura de unión mejorada entre los segmentos de la pala de una pala compuesta que resuelva los problemas señalados sería un avance ventajoso en la técnica.

BREVE DESCRIPCIÓN

[0012] Aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar obvios a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención.

[0013] En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un método para reducir ruido y vibraciones en una configuración de unión entre un primer segmento de pala y un segundo segmento de pala de una pala compuesta pala de rotor de turbina eólica. Cada uno de los segmentos de pala primero y segundo incluye un miembro de concha que tiene un componente de concha de lado de presión y un componente de concha de lado de succión. El método incluye determinar una desviación real que es inducida en una línea de unión en dirección de cuerda entre los miembros de la concha del primer y segundo segmentos de pala en una condición de carga en la pala compuesta de rotor de la turbina eólica, en la que la desviación real es una cualquiera o una combinación de un desplazamiento en dirección de abatimiento ("flap-wise offset") generado por una fuerza de abatimiento, un desplazamiento en dirección de torsión ("twist-wise offset") generado por una fuerza de torsión, o un desplazamiento en dirección de orientación ("yaw-wise offset") generado por una fuerza de orientación. Basándose en estos desplazamientos inducidos, se define una configuración modificada de la estructura de unión en una condición sin carga en la pala de rotor de la turbina eólica que compensa al menos parcialmente uno o más de los componentes de desplazamiento reales en la condición de carga. A continuación, los segmentos de pala primero y segundo se conectan o unen con la configuración modificada de la estructura de unión, en la que, en la condición de carga, la configuración modificada de la estructura de unión reduce uno o ambos de los desplazamientos en dirección de abatimiento y en dirección de torsión entre los miembros de la concha de los segmentos de pala primero y segundo.

[0014] El método no se limita a una estructura de unión particular entre los segmentos de pala. Sin embargo, en una realización particular, la estructura de unión incluye una estructura de viga que se extiende en dirección de envergadura desde el primer segmento de pala y una sección receptora formada en el segundo segmento de pala para recibir la estructura de viga, en la que la configuración modificada de la estructura de unión incluye un cambio en la conexión entre la estructura de viga y la sección receptora. Por ejemplo, el primer segmento de pala puede ser un segmento de pala de extremo de punta, y el segundo segmento de pala es un segmento de pala de extremo de raíz. La estructura de unión puede incluir un pasador en dirección de cuerda que se extienda a través de la estructura de la viga y la sección receptora en un lugar distanciado de la línea de unión en el sentido de envergadura. La configuración modificada de la estructura de unión puede incluir una ubicación alternativa del pasador en dirección de cuerda que compense uno o más de los desplazamientos en dirección de abatimiento, en dirección de torsión o en dirección de orientación en la condición de carga. La ubicación alternativa puede seleccionarse para producir una o más de las siguientes compensaciones: una compensación en sentido opuesto al desplazamiento en dirección de abatimiento, una compensación en sentido opuesto al desplazamiento en dirección de torsión o una compensación en sentido opuesto al desplazamiento en dirección de orientación en condiciones sin carga.

[0015] En otra realización del método, la etapa de determinar la configuración modificada de la estructura de unión incluye determinar una combinación de materiales en la estructura de unión que también puede contribuir a reducir uno o más de los desplazamientos en dirección de abatimiento, en dirección de torsión o en dirección de orientación en la condición de carga. Esta combinación de materiales puede ser una modificación independiente de la estructura de unión, o puede estar en combinación con un cambio en la ubicación del perno en dirección de cuerda, u otra alteración de la estructura de unión. La modificación de los materiales puede incluir, por ejemplo, la adición o eliminación de materiales de la estructura de unión para conseguir una rigidez o resistencia a la torsión que reduzca

uno o varios de los desplazamientos en dirección de abatimiento, en dirección de torsión o en dirección de orientación en la condición de carga.

[0016] En determinadas realizaciones, la condición de carga es la carga cuando se aproxima a la velocidad nominal de una turbina eólica en la que se utiliza la pala compuesta de rotor de la turbina eólica, y el desplazamiento en dirección de abatimiento, el desplazamiento en dirección de torsión o el desplazamiento en dirección de orientación en la condición de carga se basan en una media de los desplazamientos respectivos a la velocidad de nominal en un determinado intervalo de velocidad del viento. Esta determinación puede ser una medición real de turbinas eólicas operativas, o puede realizarse mediante modelado informático de la pala compuesta de la turbina eólica en la condición de carga.

[0017] La presente invención también abarca una pala compuesta de rotor de turbina eólica con estructura de unión que tiene las características comentadas anteriormente. En particular, dicha pala incluye un primer segmento de pala y un segundo segmento de pala que se extienden en direcciones opuestas desde una línea de unión en dirección de cuerda, cada uno de los segmentos de pala tiene un miembro de concha del lado de presión y un miembro de concha del lado de succión. Entre el primer segmento de pala y el segundo segmento de pala hay una estructura de unión, en la que la estructura de unión incluye un desplazamiento contrario en condición sin carga en la pala de rotor que compensa uno o más de los desplazamientos en dirección de abatimiento, en dirección de torsión o en dirección de orientación en condiciones de carga. Con esta configuración, la estructura de unión reduce el ruido y las vibraciones generados por la pala compuesta de rotor de la turbina eólica en la condición de carga.

[0018] En una realización particular de la pala, la estructura de unión incluye una estructura de viga que se extiende en sentido longitudinal desde el primer segmento de la pala, y una sección receptora formada en el segundo segmento de la pala para recibir la estructura de viga. El primer segmento de pala puede ser un segmento de extremo de punta, mientras que el segundo segmento de la pala es un segmento de extremo de raíz. La estructura de unión puede incluir un pasador en dirección de cuerda que se extienda a través de la estructura de la viga y la sección receptora en una ubicación espaciada de la línea de unión en una dirección de envergadura, en la que el pasador en dirección de cuerda esté en una ubicación que genere al menos en parte el desplazamiento contrario en la condición sin carga.

[0019] En una realización particular de la pala de rotor, la estructura de unión incluye una combinación de materiales que también puede ayudar a reducir uno o más de los desplazamientos en dirección de abatimiento, en dirección de torsión o en dirección de orientación en la condición de carga. Esta combinación de materiales puede ser una modificación independiente de la estructura de unión, o puede combinarse con un cambio en la ubicación del pasador en dirección de cuerda. El cambio de materiales puede incluir, por ejemplo, la adición o eliminación de materiales de la estructura de unión para conseguir una rigidez o una resistencia a la torsión que reduzca uno o ambos de los desplazamientos en dirección de abatimiento y en dirección de torsión en la condición de carga.

[0020] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y a las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan y forman parte de esta especificación, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0021] Una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto ordinario en la materia, se expone en la especificación, que hace referencia a las figuras anexas, en las que:

La fig. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica que puede utilizar una pala compuesta según la presente divulgación;

La fig. 2 ilustra una pala de rotor que tiene un primer segmento de pala y un segundo segmento de pala, y una estructura de unión que conecta los segmentos de pala;

La fig. 3 es una vista en perspectiva de una realización de un primer segmento de pala con estructura de unión;

La fig. 4 es una vista en perspectiva de una realización de un segundo segmento de pala con estructura de unión;

La fig. 5 es una vista en perspectiva de una pala compuesta de turbina eólica que muestra las fuerzas de abatimiento y de torsión que actúan sobre la pala;

La fig. 6 es una vista en perspectiva parcial de la línea de unión entre los segmentos de la pala que muestra un desplazamiento inducido en dirección de abatimiento entre los segmentos de la pala en la línea de unión;

La fig. 7 es una vista en perspectiva parcial de la línea de unión entre los segmentos de la pala que muestra un desplazamiento inducido en dirección de abatimiento y de torsión entre los segmentos de la pala en la línea de unión;

Las figs. 8a a 8d son vistas de diagrama secuencial de una realización para modificar la estructura de unión en una pala compuesta de turbina eólica para compensar los desplazamientos inducidos en dirección de abatimiento en una condición de carga en la pala; y

Las figs. 9a a 9d son vistas de diagrama secuencial de una realización para modificar la estructura de unión en una pala compuesta de turbina eólica para compensar los desplazamientos inducidos en dirección de torsión en una condición de carga en la pala.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0022] A continuación se hará referencia en detalle a las realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la misma. Así pues, se pretende que la presente invención abarque las modificaciones y variaciones que entren dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

[0023] En general, la presente materia está dirigida a palas compuestas de rotor de turbina eólica que tienen una configuración de estructura de unión modificada que sirve para compensar o contrarrestar uno o ambos de los desplazamientos en dirección de abatimiento y en dirección de torsión entre los segmentos de las palas en una condición de carga en la pala de rotor. Con el presente método exclusivo y la configuración de las palas de rotor, se reduce ruido y vibraciones generadas en la línea de unión entre los segmentos de pala.

[0024] Refiriéndonos ahora a los dibujos, la Fig. 1 es una vista lateral de una turbina eólica 10 de ejemplo que puede utilizar palas compuestas de rotor de turbina eólica de acuerdo con una realización de la presente invención. En esta realización, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. Alternativamente, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En la presente realización, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie de apoyo 14, una góndola 16 montada en la torre 12, un generador 18 colocado dentro de la góndola 16, una caja de engranajes 20 acoplada al generador 18, y un rotor 22 que está acoplado rotacionalmente a la caja de engranajes 20 con un eje rotor 24. El rotor 22 incluye un buje giratorio 26 y al menos una pala de rotor 28 acoplada al buje giratorio 26 y que se extiende hacia el exterior del mismo. Como se muestra, la pala de rotor 28 incluye una punta de pala 17 a una raíz de pala 19.

[0025] Refiriéndose a las Figs. 2 y 3, se representa una pala compuesta de rotor 28 que tiene un primer segmento de pala 30 y un segundo segmento de pala 32 de acuerdo con aspectos de la presente tecnología. El primer segmento de pala 30 y el segundo segmento de pala 32 se extienden en direcciones opuestas a partir de una línea de unión en dirección de cuerda 34. Cada uno de los segmentos de pala 30, 32 incluye un miembro de concha del lado de presión 31 y un miembro de concha del lado de succión 33. El primer segmento de pala 30 y el segundo segmento de pala 32 están conectados por una estructura de soporte interna 36 que se extiende en ambos segmentos de pala 30, 32 para facilitar la unión de los segmentos de pala 30, 32. La flecha 38 muestra que la pala segmentada de rotor 28 en el ejemplo ilustrado incluye dos segmentos de pala 30, 32 y que estos segmentos de pala 30, 32 se unen insertando la estructura de soporte interna 36 en el segundo segmento de pala 32.

[0026] En la realización representada, el primer segmento de pala incluye una estructura de viga 40 que forma una parte de la estructura de soporte interna 36 y se extiende longitudinalmente (p. ej., en dirección de la envergadura) para conectarse estructuralmente con la estructura de soporte interna 36 en el segundo segmento de pala 32. La estructura de viga 40 puede estar formada integralmente con el primer segmento de pala 30 como una extensión que sobresale de una sección de larguero 42, formando así una sección de larguero extendida. La estructura de larguero 40 incluye al menos un alma a cortante 44 conectada a una tapa de larguero 46 de lado de succión y a una tapa de larguero 48 de lado de presión. En las realizaciones ilustradas, la estructura de viga 40 está formada como una estructura de tipo caja que tiene almas 44 opuestas interconectadas.

[0027] El primer segmento de pala 30 puede incluir una o varias primeras uniones de perno (también denominados "pasadores") hacia un primer extremo 54 de la estructura de viga 40. Por ejemplo, un perno 52 puede estar situado en el extremo 54 de la estructura de viga 40 y orientado en la dirección de envergadura. El primer segmento de pala 30 también puede incluir una ranura de unión de perno 50 situada en la estructura de viga 40 próxima a la unión en dirección de cuerda 34 y orientada en una dirección de cuerda. Puede haber un casquillo dentro de la ranura de unión de pernos 50 dispuesto en un ajuste de interferencia apretado con un tubo de perno o pasador 53 utilizado para conectar el segundo segmento de pala 32 al primer segmento de pala 30. Debe apreciarse que puede configurarse cualquier combinación de tubos de perno 52, 53 y ranuras de perno 50 entre la estructura de viga 40 y una sección receptora 60 (fig. 4) con el fin de interconectar los segmentos de pala primero 30 y segundo 32.

[0028] En la Fig. 4, en el segundo segmento de pala 32, la estructura de soporte interna 36 incluye una sección receptora 60 que se extiende longitudinalmente (en dirección de envergadura) dentro del segundo segmento de pala 32 para recibir la estructura de viga 40 del primer segmento de pala 30. La sección receptora 60 incluye múltiples componentes de estructura de larguero 66 que se extienden longitudinalmente para conectarse con la estructura de larguero 40 del primer segmento de pala 30 a lo largo de una longitud de la sección receptora 60. Aunque no se representa en la Fig. 4, se entiende fácilmente que la sección receptora 60 incluye cualquier combinación de ranuras para pernos 50 o pernos 52, 53 para interconectarse con los pernos o ranuras correspondientes de la estructura de viga 40. Por ejemplo, se ha configurado una ranura para pernos en un extremo distal (alejado de la unión en dirección

de cuerda 34 ("chord-wise joint")) de la sección receptora 60 para recibir el perno 52 previsto en el extremo 54 de la estructura de viga 40.

[0029] La fig. 5 representa los conceptos de fuerzas de abatimiento 71, de torsión 73 y de orientación 75 que actúan sobre la pala compuesta de la turbina eólica, en la que dichas fuerzas pueden generar respectivamente un desplazamiento en dirección de abatimiento 70 (fig. 6), un desplazamiento en dirección de torsión 72 (fig. 7) y un desplazamiento en dirección de orientación 77 (fig. 6) entre los componentes de la concha de los segmentos de pala primero y segundo 30, 32 en la unión en dirección de cuerda 34. Estos componentes de desplazamiento 70, 72 y 77 pueden inducir un desplazamiento real 68 entre los componentes de la concha de la pala. Estos componentes de desplazamiento 70, 72 y 77 pueden combinarse para inducir un desplazamiento real 68 entre los componentes de la concha. Las fuerzas en dirección de abatimiento 71 tienden a actuar uniformemente a lo largo de la cuerda del primer segmento de la pala 30, provocando que el primer segmento de la pala 30 se "doble" esencialmente hacia el segundo segmento de la pala 32 y desplace los miembros de concha 31 en dirección vertical 70 a lo largo de la unión en dirección de cuerda 34. Las fuerzas de torsión 73 tienden a generar una torsión del primer segmento de la pala 30 con respecto al segundo segmento de la pala 32 a lo largo de un eje en dirección de envergadura de la pala, lo que provoca un desplazamiento en dirección de torsión 72 de los miembros de la concha 31 a lo largo de la unión en dirección de cuerda 34. Las fuerzas de orientación 75 tienden a generar un movimiento lateral del primer segmento de la pala 30 con respecto al segundo segmento de la pala 32 en sentido transversal al eje en dirección de envergadura de la pala, lo que da lugar a un desplazamiento en dirección de orientación 77 de los miembros de concha 31 a lo largo de la unión en dirección de cuerda 34. Como ya se ha explicado, estos desplazamientos inducidos 70, 72, 77 pueden generar vibraciones y ruidos excesivos en la pala 28 con carga operativa en la turbina eólica (carga en las palas de la turbina 28 cuando la turbina eólica 10 está operando en el rango de potencia nominal de salida de la curva de potencia).

[0030] En la fig. 6 se representa el desplazamiento real 68 como una combinación del desplazamiento en dirección de abatimiento 70 y el desplazamiento en dirección de orientación 77. La fig. 7 muestra el desplazamiento real 68 como una combinación del desplazamiento en dirección de abatimiento 70, el desplazamiento en dirección de torsión 72 y el desplazamiento en dirección de orientación 77. Debe apreciarse que el desplazamiento real 68 puede inducirse a partir de cualquiera de los componentes de desplazamiento 70, 72 y 77, o de una combinación de ellos.

[0031] Además, en referencia a la Fig. 5, las palas 28 pueden diseñarse con una flecha ("sweep") interior moderada sin carga (más cerca de la raíz de pala) en relación con el eje de pitch P de la pala, mientras que la sección exterior (más cerca de la punta de pala) puede tener una flecha hacia atrás hasta 10 grados (ángulo θ en la Fig. 5) en relación con el eje de pitch P.

[0032] En las figuras 8A a 8d, se muestra la determinación y compensación de un desplazamiento inducido en dirección de abatimiento 70 en la pala 28 bajo carga, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Del mismo modo, en las figuras 9a a 9d se muestra la determinación y compensación de desplazamiento inducido en dirección de torsión 72 en la pala 28 bajo carga. Debe apreciarse que pueden emplearse métodos similares para la determinación y compensación del desplazamiento en dirección de orientación.

[0033] En las Figs. 8a y 9a se muestra la pala compuesta 28 en la unión en dirección de cuerda 34 en una condición inicial sin carga, en la que se induce un desplazamiento inicial insignificante de la pala en la unión 34. La Fig. 8b muestra la misma pala compuesta 28 en una condición inicial con carga, por ejemplo, bajo carga a la potencia nominal de la turbina eólica. La fig. 8b muestra la misma pala compuesta 28 en una condición inicial de carga, por ejemplo bajo carga a la potencia nominal de la turbina eólica, en la que se aprecia un desplazamiento en dirección de abatimiento 70 entre los miembros de concha del primer segmento de la pala 30 y el segundo segmento de la pala 32 en la unión en dirección de cuerda 34. La fig. 9b muestra la misma pala compuesta 28 en una condición inicial de carga, por ejemplo bajo carga a la potencia nominal de la turbina eólica, en la que se aprecia un desplazamiento en dirección de abatimiento 70 entre los miembros de concha del primer segmento de la pala 30 y el segundo segmento de la pala 32 en la unión en dirección de cuerda 34. De forma similar, la fig. 9b muestra la misma pala compuesta 28 en una condición inicial de carga, por ejemplo, bajo carga cuando la turbina eólica se aproxima a su potencia nominal, en la que se muestra un desplazamiento 72 entre los miembros de concha del primer segmento de la pala 30 y el segundo segmento de la pala 32 en la unión 34 en la dirección de cuerda. El presente método incluye determinar la magnitud de una o ambas de los desplazamientos 70 y 72. Esta determinación puede realizarse mediante la medición del desplazamiento real en la unión en dirección de cuerda 34 con sensores, cámara, etc., cuando la pala 28 (o una pala similar) está sometida a carga. Alternativamente, el desplazamiento real puede determinarse mediante un programa de modelado adecuado. Como se ha mencionado, se aprecia que el desplazamiento real 68 en la unión en dirección de cuerda 34 puede ser una combinación del desplazamiento en dirección de abatimiento 70, el desplazamiento en dirección de torsión 72 y el desplazamiento en dirección de orientación 77. Además, cualquiera de estos desplazamientos puede ser determinados por un programa de modelado adecuado. Además, cualquiera de estos desplazamientos puede ser insignificante, con lo que el desplazamiento real se debe principalmente a una o a una combinación de los otros desplazamientos bajo carga en la pala 28.

[0034] En referencia a la Fig. 8c, basándose en el desplazamiento real inducido en la unión 34 con la pala 28 bajo

carga, se define una configuración modificada de la estructura de unión 36 en una condición sin carga en la pala 28 que compensará el desplazamiento inducido. Esta configuración modificada puede compensar sólo uno de los tipos de desplazamiento en dirección de abatimiento 70 o el desplazamiento en dirección de torsión 72, pero preferiblemente compensa ambos tipos de desplazamientos 70, 72.

[0035] Debe apreciarse que los presentes métodos abarcan el escenario en el que el desplazamiento real 68 se determina empíricamente o mediante modelado informático para un tipo particular de pala en una ubicación definida, y este desplazamiento 68 se utiliza entonces para definir la configuración modificada para un número subsiguiente de palas 28. No es necesario determinar el desplazamiento real y la configuración modificada de forma individual para cada pala 28.

[0036] Como se ha mencionado, la configuración modificada de la estructura de unión 36 puede incluir determinar una combinación de materiales en la estructura de unión 36 que reduzca uno o ambos de desplazamientos en dirección de abatimiento 70 y en dirección de torsión 72 en la condición de carga. Esta combinación de materiales puede ser una modificación independiente de la estructura de unión, o puede estar en combinación con un cambio en la ubicación de los componentes de la estructura de unión 36, como se describe a continuación. El cambio de materiales puede incluir, por ejemplo, la adición o eliminación de materiales de la estructura de unión 36 para conseguir una rigidez o resistencia a la torsión que reduzca uno o ambos desplazamientos 70 y 72 en la condición de carga.

[0037] La fig. 8c muestra una realización en la que la estructura de unión 36 se modifica estructuralmente en un estado sin carga de la pala 26 para compensar el desplazamiento inducido en dirección de abatimiento 70 (fig. 8b) en una condición de carga. En esta realización, la estructura de unión 36 incluye la estructura de viga 40 que se extiende a lo ancho desde el primer segmento de pala 30 (segmento del extremo de punta) y una sección receptora 60 formada en el segundo segmento de pala 32 (segmento del extremo de raíz) para recibir la estructura de viga 40. La configuración modificada de la estructura de unión 36 incluye un cambio en la conexión entre la estructura de viga 40 y la sección receptora 60. La estructura de unión 36 incluye un pasador en dirección de cuerda 53 que se extiende a través de la estructura de viga 40 y la sección receptora 60 en una ubicación espaciada de la línea de unión 34 en una dirección de envergadura. Se determina una ubicación alternativa del pasador en dirección de cuerda 53 que compensa el desplazamiento en dirección de abatimiento 70 en la condición de carga, en la que la ubicación alternativa se selecciona para producir un desplazamiento en sentido contrario a la dirección de abatimiento 76 en la condición sin carga en la pala 28. Por ejemplo, como se muestra exageradamente en la figura 1, el pasador en dirección de cuerda 53 puede compensar el desplazamiento en dirección de abatimiento 70 en la condición de carga. Por ejemplo, como se exagera en la Fig. 8C con fines ilustrativos, el pasador 53 puede bajarse o subirse hacia el lado de presión o succión de la pala 28 con respecto a la posición inicial representada en la Fig. 8a para producir el desplazamiento 78 en dirección de abatimiento.

[0038] De forma similar, la fig. 9c representa una realización en la que la estructura de unión 36 se modifica estructuralmente en un estado sin carga de la pala 26 para compensar el desplazamiento inducido en dirección de torsión 72 (fig. 9b) en una condición de carga. La configuración modificada de la estructura de unión 36 incluye un cambio en la conexión entre la estructura de viga 40 y la sección receptora 60. La estructura de unión 36 incluye el pasador en dirección de cuerda 53 que se extiende a través de la estructura de viga 40 y la sección receptora 60 en una ubicación espaciada de la línea de unión 34 en la dirección de envergadura. Se determina una ubicación alternativa del pasador en dirección de cuerda 53 que compensa el desplazamiento en dirección de torsión 72 en la condición de carga, en la que la ubicación alternativa se selecciona para producir un desplazamiento en sentido contrario a la torsión 78 en la condición sin carga en la pala 28. Por ejemplo, como se exagera en la Fig. 9C con fines ilustrativos, el pasador 53 puede girarse desde la orientación inicial representada en la Fig. 9a hasta la posición modificada de la Fig. 9c para producir el desplazamiento 78 en sentido contrario a la torsión.

[0039] Una vez determinadas las modificaciones de la estructura de unión 36, la pala compuesta 28 se ensambla de acuerdo con dichas modificaciones. La fig. 8c muestra la pala compuesta 28 montada y modificada en estado descargado, y la fig. 8d muestra la pala 28 sometida a carga en la que el desplazamiento en dirección de abatimiento 70 presente en la fig. 8b se ha compensado mediante las modificaciones representadas en la fig. 8c. Del mismo modo, la fig. 9c muestra la pala compuesta 28 modificada en un estado sin carga y la fig. 9d muestra la pala 28 sometida a carga en la que el desplazamiento 72 en dirección de torsión de la fig. 9b se ha compensado con las modificaciones de la fig. 9c.

[0040] La presente invención también abarca una pala compuesta de rotor de turbina eólica 28 con estructura de unión 36 que tiene las características comentadas anteriormente.

[0041] Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluido el mejor modo, y también para permitir a cualquier experto en la materia poner en práctica la invención, incluida la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier método incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Método para reducir ruido y vibraciones generadas por la configuración de la estructura de unión (36) entre un primer segmento de pala (30) y un segundo segmento de pala (32) de una pala compuesta de rotor de turbina eólica (28), comprendiendo cada uno de los segmentos de pala primero y segundo un miembro de concha (31, 33), el método comprendiendo:
5 determinar un desplazamiento real (68) en una línea de unión en dirección de cuerda (34) entre los miembros de concha (31, 33) del primer y segundo segmentos de pala en una condición de carga sobre la pala compuesta de rotor de la turbina eólica, en la que el desplazamiento real (68) es uno cualquiera o una combinación de un desplazamiento en dirección de abatimiento (70) generado por una fuerza en dirección de abatimiento (71), un desplazamiento en dirección de torsión (72) generado por una fuerza de torsión (73),
10 o un desplazamiento en dirección de orientación (77) generado por una fuerza en sentido de orientación (75) que actúa sobre el primer segmento de pala;
 definir una configuración modificada (74) de la estructura de unión (36) en una condición sin carga en la pala de rotor de la turbina eólica que compense al menos parcialmente el desplazamiento real (68) en la condición de carga;
15 conectar los segmentos de pala primero (30) y segundo (32) con la configuración modificada (74) de la estructura de unión (36); y
 en el que, en la condición de carga, la configuración modificada (74) de la estructura de unión (36) reduce, al menos parcialmente, el desplazamiento real (68) entre los miembros de concha (31, 33) del primer (30) y
20 segundo (32) segmentos de la pala.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la estructura de unión (36) comprende una estructura de viga (40) que se extiende en dirección de envergadura desde el primer segmento de pala (30) y una sección receptora (60) formada
25 en el segundo segmento de pala (32) para recibir la estructura de viga, la configuración modificada (74) de la estructura de unión comprendiendo un cambio de conexión entre la estructura de viga y la sección receptora.
3. El método de la reivindicación 2, en el que el primer segmento de pala (30) es un segmento de pala de extremo de punta, y el segundo segmento de pala (32) es un segmento de pala de extremo de raíz, comprendiendo la estructura
30 de unión (36) un pasador en dirección de cuerda (53) que se extiende a través de la estructura de viga (40) y la sección receptora (60) espaciada de la línea de unión en dirección de cuerda (34) en una dirección de envergadura, en la que la configuración modificada (74) comprende una ubicación del pasador en dirección de cuerda (53) que compensa uno o más desplazamientos en dirección de abatimiento (70), en dirección de torsión (72) o en dirección de orientación (77) en la condición de carga.
- 35 4. El método de la reivindicación 3, en el que la ubicación del pasador en dirección de cuerda (53) en la configuración modificada (74) produce uno o más de los siguientes desplazamientos en sentido contrario al desplazamiento en dirección de abatimiento (76), en sentido contrario al desplazamiento en dirección de torsión (78) o en sentido contrario al desplazamiento en dirección de orientación (77) en condición sin carga.
- 40 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la configuración modificada (74) comprende una combinación de materiales en la estructura de unión (36) que compensa uno o más del desplazamiento en dirección de abatimiento (76), del desplazamiento en dirección de torsión (78) o del desplazamiento en dirección de orientación (77) en la condición de carga.
- 45 6. El método de la reivindicación 5, en el que la configuración modificada (74) comprende la adición o eliminación de materiales de la estructura de unión (36) para conseguir una rigidez o resistencia a la torsión que compense uno o más del desplazamiento en dirección de abatimiento (70), del desplazamiento en dirección de torsión (72) o del desplazamiento en dirección de orientación (77) en la condición de carga.
- 50 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la condición de carga es la carga cuando se aproxima a la velocidad nominal de una turbina eólica (10) en la que se utiliza la pala compuesta de rotor de la turbina eólica (28), y el desplazamiento real (68) es una media del desplazamiento real (68) en la condición de carga.
- 55 8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el desplazamiento real (68) se determina mediante modelado informático de la pala compuesta de la turbina eólica (28) en la condición de carga.
9. Pala compuesta (28) de rotor de una turbina eólica, que comprende:
60 un primer segmento de pala (30) y un segundo segmento de pala (32) que se extienden en direcciones opuestas desde una línea de unión en dirección de cuerda (34); cada uno de los segmentos de pala tiene un miembro de concha de lado de presión (31) y un miembro de concha de lado de succión (33); una estructura de unión (36) entre el primer segmento de pala y el segundo segmento de pala; y
 la estructura de unión (36) comprende un desplazamiento en sentido contrario en condición sin carga de la pala compuesta de rotor de la turbina eólica (28) que compensa uno o varios de los siguientes

desplazamientos en dirección de abatimiento (70), en dirección de torsión (72) o en dirección de orientación (77) en condición carga;

en la que la estructura de unión (36) reduce el ruido y las vibraciones generadas por la pala compuesta (28) de rotor de la turbina eólica en condiciones de carga.

5 10. La pala compuesta de rotor de turbina eólica (28) de la reivindicación 9, en la que la estructura de unión (36) comprende una estructura de viga (40) que se extiende en dirección de envergadura desde el primer segmento de pala (30), y una sección receptora (60) formada en el segundo segmento de pala (32) para recibir la estructura de viga (40).

10 11. La pala compuesta de rotor de turbina eólica (28) de la reivindicación 10, en la que el primer segmento de pala (30) es un segmento de pala de extremo de punta, y el segundo segmento de pala (32) es un segmento de pala de extremo de raíz, la estructura de unión (36) comprendiendo un pasador en dirección de cuerda (53) que se extiende a través de la estructura de viga (40) y la sección receptora (60) espaciado de la línea de unión en dirección de cuerda (34) en una dirección de envergadura, en la que el pasador en dirección de cuerda (53) está en una ubicación que genera al menos parcialmente el desplazamiento en sentido contrario en la condición sin carga.

15 12. La pala compuesta de rotor de turbina eólica (28) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en la que la estructura de unión (36) comprende una combinación de materiales que genera, al menos parcialmente, el desplazamiento en sentido contrario en condición sin carga.

20 13. La pala compuesta de rotor de turbina eólica (28) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en la que la condición de carga es la carga cuando se aproxima a la velocidad nominal de una turbina eólica (10) en la que se utiliza la pala compuesta de rotor de turbina eólica.

25 14. La pala compuesta de rotor de turbina eólica (28) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en la que el desplazamiento en sentido contrario en condición sin carga es un valor modelado por ordenador.

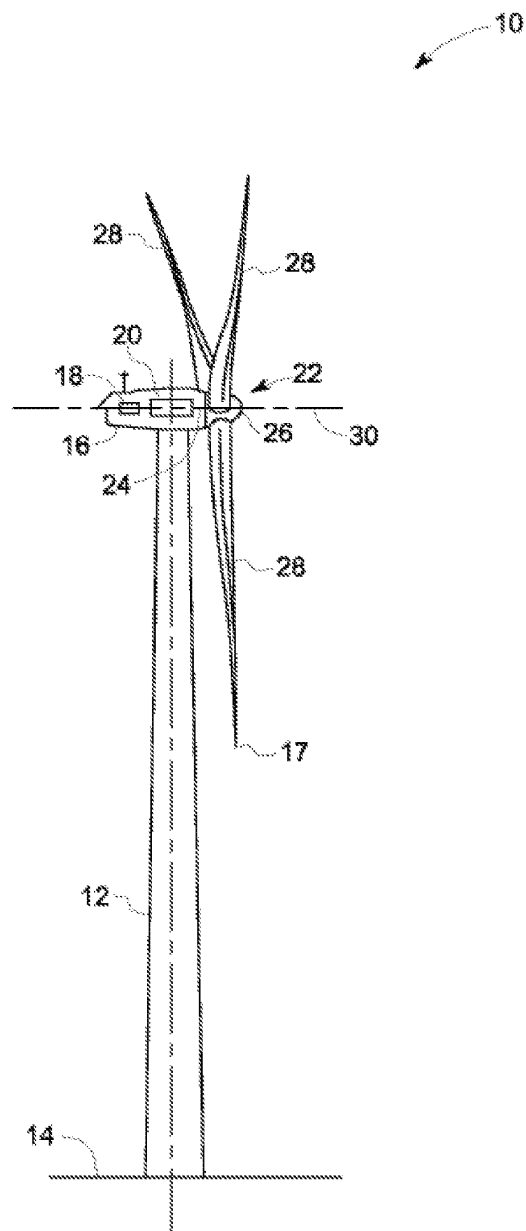


FIG. 1

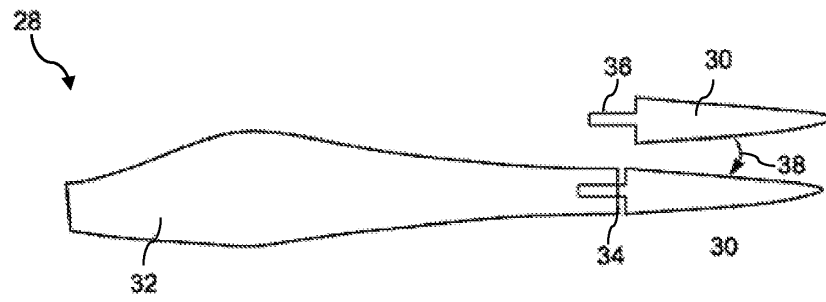


FIG. 2

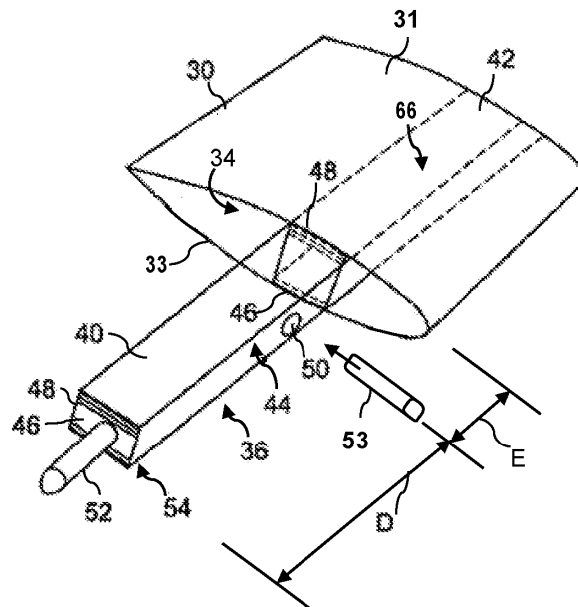


FIG. 3

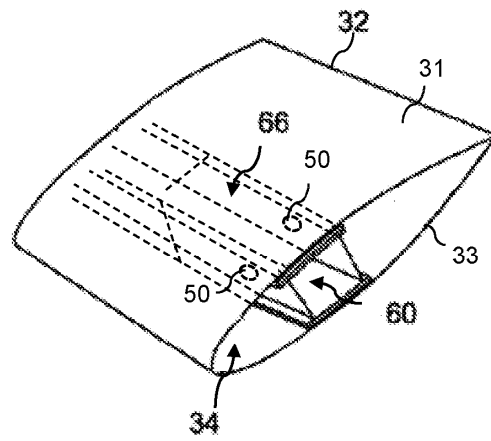


FIG. 4

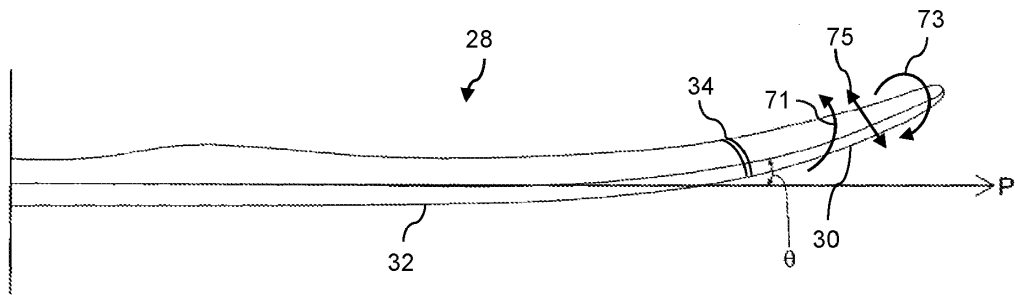


FIG. 5

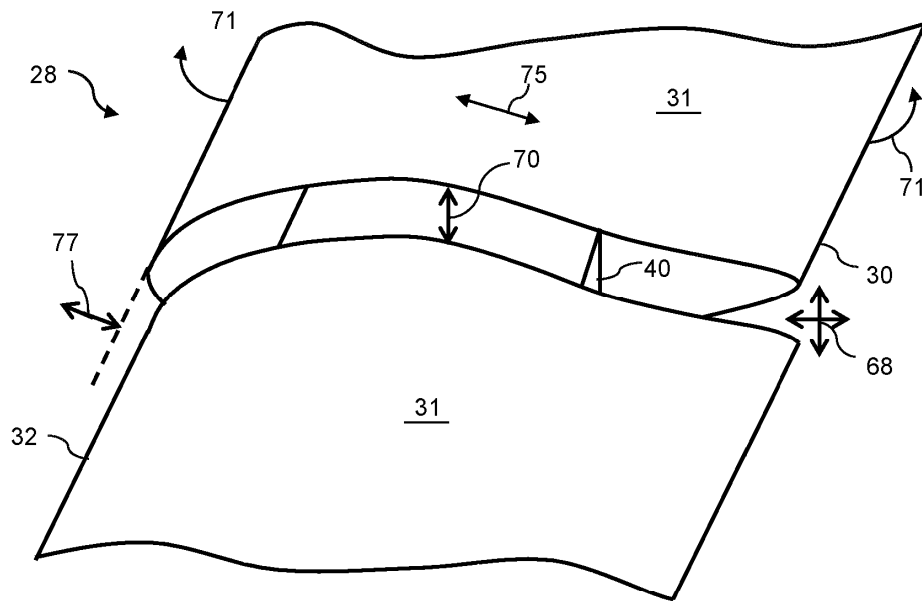


FIG. 6

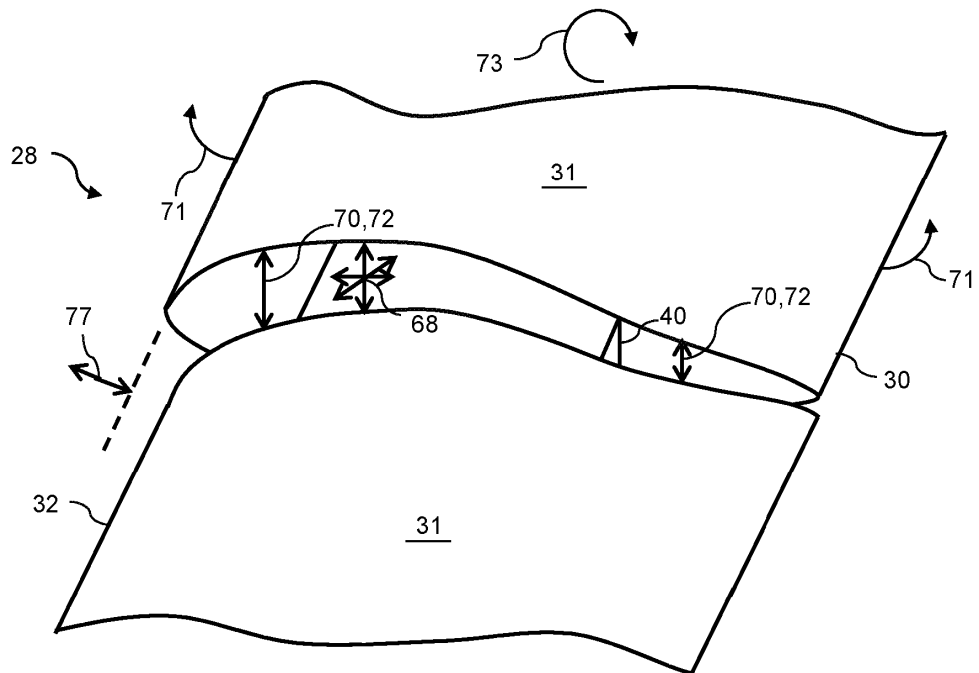


FIG. 7

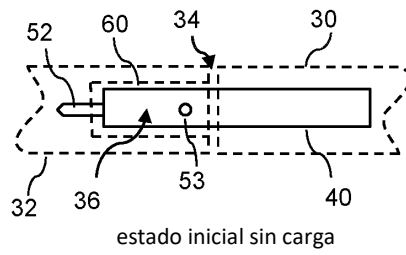


FIG. 8a

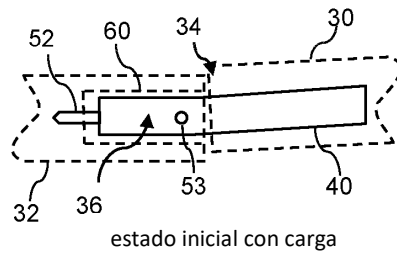


FIG. 8b

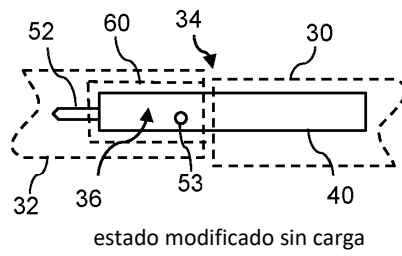


FIG. 8c

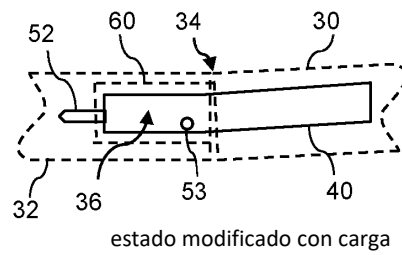


FIG. 8d

