

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 786**

51 Int. Cl.:

**F03D 5/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.05.2016 PCT/IB2016/000924**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16189395**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2016 E 16745150 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 3298271**

54 Título: **Turbina accionada por fluido con palas tensadas de tipo troposkein de eje horizontal**

30 Prioridad:

**22.05.2015 US 201514719772**

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

**19.11.2019**

73 Titular/es:

**A.N.E.M. ALTERNATIVE ENERGY AND  
MANUFACTURING LTD. (100.0%)  
Arch. Makariou III & Vyronos, P. LORDOS  
CENTER, BLOCK B', 2nd floor, Office 203  
3105 Limassol, CY**

72 Inventor/es:

**NEBESNYI, VALERII**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 731 786 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**

Turbina accionada por fluido con palas tensadas de tipo troposkein de eje horizontal

**CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

5 Esta invención se refiere a turbinas eólicas de tipo Darrieus y, más específicamente, a un diseño minimalista para una turbina de eje horizontal para uso dentro de un fluido fluente con costes de construcción generales reducidos por kilovatio de energía útil generada.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

10 J.M. Darrieus diseñó originalmente una turbina eólica que tiene palas de turbina, dispuestas en torno a un eje vertical de rotación, que interacciona con un fluido externo para producir un par de rotación. La turbina eólica de Darrieus incluía una pala curva volante montada en la parte superior e inferior de un eje vertical. Darrieus describe una miriada de disposiciones de palas verticales. En una variación de los diseños y disposiciones de pala originales de Darrieus, palas de tipo troposkein orientadas verticalmente, que tienen un eje de rotación central, han sido construidas y usadas, por ejemplo en la Península de Gaspé, Quebec, Canadá.

15 De acuerdo con numerosos ejemplos de uso, los sistemas clásicos de Darrieus no han sido nunca capaces de competir en escala con turbinas eólicas de eje horizontal y del tipo de hélice, que típicamente son más complejas y caras de construir. Ciertamente, muchas turbinas eólicas han sido desmontadas debido a fallos. Dispositivos alternativos no han sido capaces de resolver problemas de conversión de energía, arranque, durabilidad, e ineficiencias de materiales.

Un ejemplo de un convertidor de energía accionado por fluido de la técnica anterior puede encontrarse en el documento WO 01/48374 A2.

20 **RESUMEN DE LA INVENCION**

De acuerdo con ello, sería deseable proporcionar un sistema generador de electricidad accionado por fluido, de eje horizontal, usando alas flexibles con forma de tipo troposkein.

25 En un primer aspecto, un sistema generador de electricidad accionado por fluido, caracterizado por una ausencia de un miembro de rotor dispuesto centralmente, está dispuesto operativamente entre un primer soporte y un segundo soporte. En algunas realizaciones, el sistema incluye una máquina, que, en algunas variaciones, puede incluir una caja de engranajes, acoplada al primer soporte y capaz de actuar como un motor y como un generador; un ala (alas) flexible(s) de forma arqueada adaptada(s) para rotar en torno a un eje sustancialmente horizontal, cuyo extremo distal está acoplado a la máquina y cuyo extremo proximal está acoplado al segundo soporte, para captar y hacer pasar un fluido fluente; un sistema de equilibrado tensado acoplado a los soportes para estabilizar la operación del sistema generador de electricidad; y un puntal (puntales) rígido(s), dispuesto(s) entre cada ala flexible y el sistema de equilibrado, para soportar cada ala flexible.

35 En algunas variaciones, cada ala flexible incluye un número de perfiles en forma de álabes cubiertos por una membrana. Los perfiles en forma de álabes pueden formar una abertura a su través y pueden estar fabricados a partir de un material tal como madera, plástico, resinas, materiales compuestos, materiales de carbono, chapa metálica conformada, y similares. La membrana puede estar fabricada a partir de un material tal como tejido flexible, lienzo, fibra de carbono, lona, fibra sintética de para-aramida, polietileno de alto módulo, polietileno de peso molecular ultra-alto, polietileno termoplástico, papel de arroz, papel tisú, PTFE (poli(tetrafluoroetileno)), polímero de cristal líquido, y similares.

40 En algunas implementaciones, el sistema puede incluir también un primer cable dispuesto a través de una abertura próxima a un borde de ataque de cada perfil en forma de álabes, para orientar y equilibrar el (las) ala(s) flexible(s); y un segundo cable dispuesto a través de una abertura próxima a un centro de masas gravitatorio del perfil en forma de álabes para transferir par de rotación a la máquina. En algunas variaciones, el segundo cable incluye un par de cables, pasando cada cable del par de cables a través de una abertura respectiva en cada perfil en forma de álabes, de forma sustancialmente equidistante respecto a un centro aerodinámico del perfil en forma de álabes. El cable puede ser fabricado a partir de un material tal como acero, cable metálico, fibras de aramida, fibras de polímero de cristal líquido, 45 fibras de polietileno de peso molecular ultra-alto, y similares.

En algunas realizaciones, el sistema de equilibrado tensado puede incluir un cable tensado y/o puede incluir una segunda ala de forma arqueada. En algunas implementaciones, el (los) puntal(es) rígido(s) puede(n) estar dispuesto(s) de forma sustancialmente perpendicular a cada ala flexible en un punto de conexión respectivo.

50 En un segundo aspecto, se divulga un ala flexible que tiene un centro de masas gravitatorio y un centro aerodinámico para uso con un sistema generador de electricidad accionado por fluido. En algunas realizaciones, el ala flexible incluye un número de perfiles en forma de álabes, teniendo cada uno una longitud de cuerda; una membrana que cubre los perfiles en forma de álabes; y un par de cables que pasan a través de aberturas respectivas, en cada uno de los perfiles en forma de álabes, de forma sustancialmente equidistante respecto al centro aerodinámico, en que un primer cable está dispuesto en una primera abertura próxima al centro de masas gravitatorio de cada perfil en forma de álabes. En algunas

variaciones, un segundo cable está situado preferentemente hacia un borde de ataque de cada perfil en forma de álabes. Más específicamente, la posición preferente está en un rango de hasta aproximadamente tres (3) por ciento de la longitud de cuerda más cerca del borde de ataque de cada respectivo perfil en forma de álabes.

5 En algunas implementaciones, los perfiles en forma de álabes, que pueden formar una abertura a su través, están hechos de un material tal como madera, plástico, resinas, materiales compuestos, materiales de carbono, chapa metálica conformada, y similares. En algunas variaciones, los perfiles en forma de álabes pueden ser más pequeños en al menos una dimensión que otro de los perfiles en forma de álabes. En algunas implementaciones, la membrana está hecha de un material tal como tejido flexible, lienzo, fibra de carbono, lona, fibra sintética de para-aramida, polietileno de alto módulo, polietileno de peso molecular ultra-alto, polietileno termoplástico, papel de arroz, papel tisú, PTFE, polímeros de cristal líquido, y similares.

En algunas realizaciones, el ala flexible está cargada preferentemente hacia un borde de ataque del ala flexible y puede incluir un cable dispuesto a través de una abertura próxima al borde de ataque de cada perfil en forma de álabes, para orientar y equilibrar el ala flexible. El cable puede estar fabricado a partir de un material tal como acero, cable metálico, fibras de polietileno de peso molecular ultra-alto, fibras de aramida, fibras de polímero de cristal líquido, y similares.

15 En un tercer aspecto, se divulga un método para generar electricidad con un sistema dispuesto entre un primer y un segundo soporte caracterizado por una ausencia de un miembro de rotor dispuesto centralmente, usando un fluido fluuyente y un ala (alas) flexible(s) de forma arqueada. En algunas realizaciones, el método incluye proporcionar una máquina capaz de actuar como un motor y como un generador sobre el primer soporte, acoplar la máquina a un extremo distal de un cable (cables) tensado(s) dispuesto(s) dentro del ala (de las alas) flexible(s), exponer el ala (las alas) flexible(s) al fluido fluuyente para accionar la máquina, y estabilizar el ala (las alas) flexible(s) con un puntal (puntales) rígido(s) dispuesto(s) entre el ala (las alas) flexible(s) y un sistema de equilibrado tensado, por ejemplo, una segunda ala flexible.

En algunas implementaciones, el ala (las alas) flexible(s) puede(n) incluir un número de perfiles en forma de álabes y una membrana que cubre los perfiles en forma de álabes.

25 En algunas variaciones, el método incluye además orientar y/o equilibrar el sistema, disponiendo un cable de equilibrado a través de una abertura próxima a un borde de ataque de cada perfil en forma de álabes; y transferir par de rotación a la máquina mediante el (los) cable(s) dispuesto(s) a través de una abertura en cada perfil en forma de álabes. En algunas implementaciones, el (los) cable(s) incluye(n) un par de cables que pasan a través de aberturas respectivas en cada uno de los perfiles en forma de álabes, de forma sustancialmente equidistante respecto al centro aerodinámico de cada perfil en forma de álabes, en que un primer cable está dispuesto en una primera abertura próxima a un centro de masas gravitatorio de cada perfil en forma de álabes. En otras variaciones, el método incluye colocar preferentemente un segundo cable hacia un borde de ataque de cada perfil en forma de álabes.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

35 Otras propiedades, realizaciones, y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos, en los cuales:

La figura 1A muestra una vista de una realización ilustrativa de un sistema generador de electricidad accionado por fluido que tiene una única ala flexible y un sistema de equilibrado de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

40 la figura 1B muestra una vista en perspectiva del sistema generador de electricidad accionado por fluido de la figura 1A;

la figura 1C muestra un detalle de una realización ilustrativa de una conexión entre el ala flexible de la figura 1A y un soporte de ala de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

la figura 1D muestra una vista en perspectiva de la conexión entre el soporte de ala y el conjunto de cojinete de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

45 la figura 1E muestra un detalle de una realización ilustrativa de una conexión entre el sistema de equilibrado y un puntal rígido de la figura 1B de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

la figura 1F muestra un detalle de una realización ilustrativa de una conexión entre el ala flexible y el puntal rígido de la figura 1B de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

50 la figura 2A muestra una vista parcial de un ala flexible de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;

la figura 2B muestra un detalle de una sección del ala flexible de la figura 2A de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;

la figura 3 muestra una vista de una realización ilustrativa de un perfil en forma de álabes para uso con múltiples cables de acuerdo con la presente invención;

la figura 4A muestra una vista de una segunda realización alternativa de un perfil en forma de álabes para uso con un único cable de acuerdo con la presente invención;

5 la figura 4B muestra una vista de una tercera realización ilustrativa del perfil en forma de álabes de la figura 4A para uso con un único cable de acuerdo con la presente invención;

la figura 5A muestra una vista de una realización ilustrativa de un sistema generador de electricidad accionado por fluido que tiene múltiples alas flexibles y múltiples puntales rígidos de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

10 la figura 5B muestra una vista en perspectiva del sistema generador de electricidad accionado por fluido de la figura 5A;

la figura 6A muestra una vista de una realización ilustrativa de las conexiones de soporte de un sistema generador de electricidad accionado por fluido que tiene múltiples alas flexibles de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

15 la figura 6B muestra una vista en perspectiva del sistema generador de electricidad accionado por fluido de la figura 6A;

la figura 7A muestra una vista lateral de una realización ilustrativa de una conexión entre el soporte de ala y la máquina (motor-generador) de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

20 la figura 7B muestra una vista en perspectiva de la conexión entre el soporte de ala y la máquina de la figura 7A;

la figura 8A muestra una vista de otra realización ilustrativa de un sistema generador de electricidad accionado por fluido que tiene múltiples medias alas flexibles y un puntal transversal en forma de T de acuerdo con algunos aspectos de la presente invención;

25 la figura 8B muestra una vista en perspectiva del sistema generador de electricidad accionado por fluido de la figura 8A;

la figura 8C muestra una vista desde un extremo del sistema generador de electricidad accionado por fluido de la figura 8A; y

la figura 9 proporciona una tabla de parámetros de diseño ilustrativos.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 Transferencia de par de rotación

Dadas dos ruedas opuestas, cada una de radio R, interconectadas en la periferia de cada rueda por un único alambre tensado de longitud L y sujeto a una fuerza de tensión horizontal (H) y un par de rotación (T) aplicado a una rueda, mientras que la otra rueda está frenada, lo que causa un ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ) entre los puntos de fijación del alambre tensado en la primera y la segunda rueda, el par de rotación transferido entre las ruedas opuestas puede aproximarse mediante la ecuación:

35

$$T = H/L * R^2 * \text{sen}(\alpha).$$

Esta ecuación se convierte en el punto de inicio para producir energía eléctrica usando el par de rotación transferido creado por un ala flexible que no tiene árbol central u otro medio para sincronizar las ruedas opuestas. A partir de la ecuación general, se puede ver que si el radio, R, fuera reducido a cero, el par de rotación transferido también sería igual a cero. Por lo tanto, para maximizar el par de rotación, la distancia desde el centro del rotor al centro del ala flexible,  $R_{\text{max}}$ , puede ser alargada. Por lo tanto, para casos en los que un fluido de trabajo o fluyente, por ejemplo, el viento, transfiere energía a un rotor, la transferencia de par de rotación puede funcionar incluso mejor, ya que las fuerzas del fluido pueden estar distribuidas a lo largo de toda la longitud del ala flexible. Por facilidad de discusión, en adelante, se supondrá que el fluido de trabajo o fluyente es aire (viento). Sin embargo, no debe interpretarse que la invención está limitada a aire (viento), y puede utilizarse cualquier líquido o fase gaseosa fluyente. Según la ecuación, el par de rotación es máximo cuando el ángulo de desplazamiento,  $\alpha$ , es igual a 90 grados; pero, una vez que el ángulo de desplazamiento se desvía superando o quedando por debajo de 90 grados, el par de rotación disminuye.

40

45

El uso de una única ala flexible (sin un puntal rígido central y sin un cable de equilibrado) puede, sin embargo, producir tensiones de flexión significativas en cojinetes en la máquina, es decir, un motor-generador, en los soportes, así como resultar en un bajo par de rotación transferido, debido al radio mínimo de ala, R. Fijar cada extremo del ala flexible a un respectivo motor-generador en cada uno de los soportes puede sincronizar el movimiento. Sin embargo, vibraciones

50

parásitas moderadas a severas podrían convertir en frágil una estructura así. Ciertamente, una única ala flexible sin un sistema de contrapeso puede actuar más como un oscilador, produciendo ondas de contracción y extensión indeseadas a lo largo de la longitud de alambre cuando  $R=0$  y produciendo fuerzas de tracción y pares de flexión excesivos en caso de conexión fuera de eje, es decir,  $R > 0$ .

5 Sistema generador de electricidad accionado por fluido usando una única ala flexible de tipo troposkein

Con referencia a las figuras 1A y 1B, combinar un ala flexible 20 de forma arqueada, de tipo troposkein, con un sistema de equilibrado, por ejemplo, un cable de equilibrado tensado 14, puede proporcionar un sistema 10 particularmente útil para recoger, es decir, generar, energía a partir de un fluido fluuyente. En algunas realizaciones, el sistema generador de electricidad 10 accionado por fluido, llevado a la práctica, puede estar dispuesto entre y soportado por un primer soporte alargado 11 y un segundo soporte alargado 13 que están separados una distancia L. La distancia L entre soportes puede ser estimada en función del radio de ala máximo,  $R_{max}$ . Típicamente, son adecuadas distancias L entre alrededor de 2 y alrededor de 10 veces el radio de ala máximo. Aunque son posibles distancias mayores que alrededor de 10 veces el radio de ala máximo, pueden resultar en cargas de tensión superiores que podrían requerir características estructurales y dimensionales adicionales de los soportes alargados 11, 13.

15 Los soportes alargados 11, 13 están diseñados para ser sustancialmente verticales y suficientemente duros para resistir, sin una deflexión perjudicial hacia el ala flexible, la carga de tracción del cable de equilibrado 14 así como las cargas de tracción y de flexión generadas mientras el ala flexible 20 está siendo accionada por un fluido fluuyente. La altura de los soportes alargados 11, 13 puede ser seleccionada para proporcionar una distancia suficiente al suelo, lo que está marcado por regulaciones federales y estatales (por ejemplo, alrededor de 6 metros por encima de la superficie del suelo en un contexto agrícola), para el ala flexible 20 cuando está rotando con un radio de ala máximo,  $R_{max}$ . Por ejemplo, en una implementación, cada uno de los soportes alargados 11, 13 puede tener una altura de alrededor de 10 a 12 metros con un radio de ala máximo,  $R_{max}$ , de alrededor de 5 a 6 metros, dejando una distancia al suelo de alrededor de 5 a 6 metros. Para un soporte 11, 13 de 12 metros de altura y un radio de ala máximo de 6 metros, puede considerarse una distancia entre soportes de alrededor de 48 a 50 metros. Soportes 11, 13 más altos incrementan los costes de construcción ya que la construcción de soportes aumenta de escala en función del cubo del radio de ala máximo,  $R_{max}^3$ , en vez de en función del cuadrado del mismo,  $R_{max}^2$ , para otras partes de construcción.

Extremos proximales respectivos de cada uno de entre el cable de equilibrado 14 y el ala flexible 20 pueden estar fijados de forma separable a un primer soporte de ala 12, que puede estar dispuesto en el primer soporte 11, mientras que extremos distales respectivos de cada uno de entre el cable de equilibrado 14 y el ala flexible 20 pueden estar fijados de forma separable a un segundo soporte de ala 15, que puede estar dispuesto en el segundo soporte 13. Por ejemplo, con referencia a la figura 1C, se muestra una realización ilustrativa de un método para fijar de forma separable un extremo de un ala flexible 20 al primer soporte de ala 12. Como se discutirá en mayor detalle posteriormente, un segundo cable tensado 24 y un tercer cable tensado 26 se extienden internamente a y a lo largo de toda la longitud del ala flexible 20. En algunas variaciones, el tercer cable 26, que está dispuesto preferentemente hacia el borde de ataque 31 del ala flexible 20, puede estar fijado de forma separable a un extremo distal de una barra 17, por ejemplo, engarzando los cordones del tercer cable 26 a través de una abertura 61 formada a través del extremo distal de la barra 17, enrollando los extremos libres de los cordones del cable varias veces en torno al extremo distal de la barra 17, y entrelazando algunos de los extremos libres de los cordones del cable entre las vueltas enrolladas. En algunas variaciones, la barra 17 puede ser un cilindro sólido o hueco, hecho de metal, una aleación, y similares, que está unido fijamente a, por ejemplo por soldadura, y soportado por el primer soporte de ala 12. En una implementación, una parte 63 de la barra 17 puede estar cortada para proporcionar un área rebajada para recibir el primer soporte de ala 12. El segundo cable 24, que está dispuesto de forma próxima al centro de masas gravitatorio 38 de cada uno de los perfiles en forma de álabes 30 que forman el ala flexible 20, puede estar fijado de forma separable a la barra 17, por ejemplo engarzando el segundo cable 24 a través de una abertura formada en el primer soporte de ala 12 y una abertura 62 formada a través de la barra 17 y fijando una tuerca de retención 18 al extremo del cable 24. En el otro extremo del primer soporte de ala 12, en algunas variaciones, el cable de equilibrado 14 puede estar fijado de forma separable al primer soporte de ala 12 de una manera similar al segundo cable 24, por ejemplo, engarzando el segundo cable 24 a través de otra abertura formada en el primer soporte de ala 12 y fijando una tuerca de retención 18 al extremo del cable 24. Con una disposición así, en operación, los cables 26, 24 pueden transferir fuerzas a la barra 17, que aplica un par al primer soporte de ala 12, provocando que el primer soporte de ala 12 rote. Extremos distales respectivos de cada uno de entre el cable de equilibrado 14 y el ala flexible 20 pueden estar fijados similarmente a un segundo soporte de ala 15.

En el primer soporte 11, el primer soporte de ala 12 puede estar fijado de forma separable y acoplado operativamente a una máquina 70 (figura 7A), por ejemplo, un motor-generador (tal como una rueda de motor de imán permanente (PM, del inglés "Permanent Magnet") sincrona) y, en algunos casos, a una caja de engranajes asociada a la máquina 70. Sobre la base del viento existente, un motor-generador 70 con una caja de engranajes puede ser ajustado a una frecuencia fija. Ventajosamente, con una caja de engranajes así, la velocidad de rotación del ala flexible 20 puede ser fijada, lo que puede reducir costes y simplificar la construcción general. La estructura y función de la máquina 70 será descrita en mayor detalle posteriormente. En el segundo soporte 13, el segundo soporte de ala 15 puede ser fijado de forma separable y acoplado operativamente a una máquina 70 respectiva. Una máquina asíncrona 70 única puede estar diseñada para operar a una frecuencia fija y sin un inversor, permitiendo al usuario acoplar la máquina 70 directamente a una red eléctrica. Si se usan un par de máquinas 70, sin embargo, las máquinas 70 pueden tener que ser sincronas,

por ejemplo, para tratar casos en los cuales las máquinas 70 pueden extraer potencia reactiva a través del rotor, y pueden también requerir un sistema electrónico de acondicionamiento eléctrico más complejo, añadiendo coste.

5 Con referencia a la figura ID, se muestra una realización ilustrativa de un método para fijar de forma separable el segundo soporte de ala 15 al conjunto de cojinete 80. En algunas implementaciones, en el centroide del segundo soporte de ala 15, una primera parte 82 puede estar fijada de forma separable al segundo soporte de ala 15, por ejemplo, usando una tuerca y tornillo 84. Un árbol rotatorio 81 puede estar dispuesto entre la primera parte 82 y una segunda parte 83. En una de entre la primera parte 82 y la segunda parte 83, el árbol rotatorio 81 está soportado por un cojinete, por ejemplo, una serie de cojinetes de bolas en un anillo. En la otra de entre la primera parte 82 y la segunda parte 83, el árbol rotatorio 81 está unido fijamente. Como resultado, la rotación del ala flexible 20 puede provocar que el árbol rotatorio 81 rote dentro del cojinete, sin transferir par de rotación desde la primera parte 82 a la segunda parte 83. Un árbol no rotatorio 85 puede estar unido fijamente a la segunda parte 83 con el fin de fijar la segunda parte 83 al segundo soporte 13.

15 El cable de equilibrado tensado 14 puede estar fabricado a partir de cable metálico, fibras de polietileno de peso molecular ultra-alto, acero, fibras de aramida, fibras de polímero de cristal líquido, y similares y puede estar pre-tensado con una fuerza de tracción que es aproximadamente igual a una fuerza de tensión estimada para el ala flexible 20 operativa. Las magnitudes de la fuerza de tensión estimadas pueden variar entre alrededor de 0,5 y 2 veces la fuerza centrífuga, dependiendo de la longitud L entre los soportes 11, 13. Con una selección apropiada de material, este requisito puede satisfacerse automáticamente, teniendo en cuenta que, cuando el ala flexible 20 rota, el ala 20 intenta traer el radio interior más cerca. Esto incrementa la tensión del cable de equilibrado 14, que tira del ala flexible 20 de vuelta. Cuando las velocidades de rotación del ala flexible 20 (y del cable de equilibrado 14) se incrementan, las fuerzas centrífugas y las fuerzas de tracción también se incrementan. Las frecuencias de resonancia pueden también cambiar a valores más altos, de modo que pueden exceder la frecuencia principal del sistema. Esto minimiza la resonancia indeseada, ya que la resonancia de ala tensada permanece por encima de las frecuencias principales de movimiento.

25 En algunas implementaciones, puede ser ventajoso conectar uno o varios puntales rígidos 16 o barras, que pueden estar fabricados a partir de aleaciones de aluminio endurecidas, materiales compuestos de fibra de carbono, acero de alta resistencia, y similares, al ala flexible 20 y al cable de equilibrado 14. Ciertamente, conectar puntales rígidos 16 al ala flexible 20 y al cable de equilibrado 14, entre otras cosas, evita daños a las alas flexibles 20 cuando se retuercen. Por ejemplo, en condiciones de operación en las cuales el ala flexible 20 está sujeta a un retorcimiento relativo (torsión), los puntales rígidos 16 experimentan compresión, haciendo el sistema 10 más robusto frente a torsión y, más específicamente, evitando que el ala flexible 20 se retuerza más allá de la posición de los puntales 16. Además, conectar un(os) puntal(es) rígido(s) 16 al ala flexible 20 y al cable de equilibrado 14, por ejemplo, en un punto medio entre los dos soportes de ala 12, 15 opuestos, asegura que el par de rotación transferido empiece a disminuir tras 180 grados de desplazamiento angular en vez de 90 grados.

35 Con un puntal rígido 16 instalado, usando un cable equilibrado 16 y un ala flexible 20 con un radio de ala máximo,  $R_{max}$ , de alrededor de 15 metros, y suponiendo que el radio de ala mínimo,  $R_{min}$ , es igual a la mitad de  $R_{max}$ , es posible transferir el par de rotación a plena potencia desde un lado del sistema de turbina 10 al otro lado para ángulos de desplazamiento menores de 90 grados. Esto significa efectivamente que una transferencia distribuida de par de rotación desde el ala flexible 20 al motor-generador 70 requeriría menos desplazamiento angular.

40 Aquellas personas con experiencia ordinaria en la técnica pueden apreciar los beneficios y costes de añadir puntales 16 adicionales. El primer puntal 16 añade la mejora más significativa al sistema 10, mientras que cada puntal 16 adicional añade una mejora adicional, pero la significación de la mejora disminuye con cada puntal 16 adicional. Desventajosamente, los puntales 16 también añaden resistencia aerodinámica, peso y coste.

45 La figura IE muestra un detalle de un método a modo de ejemplo para fijar el puntal rígido 16 al cable de equilibrado 14. Como se muestra, el puntal rígido 16 y el cable de equilibrado 14 pueden ser sustancialmente perpendiculares entre sí; sin embargo, cuando se usa más de un único puntal 16, los múltiples puntales pueden estar conectados al cable de equilibrado 14 con un ángulo menor de alrededor de 90 grados. Aunque hay un número de modos para conectar un puntal rígido 16 a un cable 14, en algunas implementaciones, el cable de equilibrado 14 puede estar dispuesto a través de una abertura 19 formada en el puntal rígido 16. Puede usarse un sujetador integrado, interno al puntal rígido 16, es decir, dentro de la abertura 19, para asegurar el cable de equilibrado 14.

50 La figura IF muestra un detalle de un método a modo de ejemplo para fijar el puntal rígido 16 al ala flexible 20. En algunas realizaciones, un canal 51 puede estar formado a través del centro del extremo del puntal rígido 16, formando dos partes extremas de puntal 52, 53 opuestas. En algunas variaciones, la anchura del canal 51 puede seleccionarse para el ajuste, por ejemplo, estrecho, en torno a la anchura de un perfil en forma de álabes 30. Las aberturas 54 pueden estar formadas en cada una de las partes extremas de puntal 52, 53, mientras que una abertura 55 puede estar formada también en el perfil en forma de álabes 30 en el centro aerodinámico 39. En algunas implementaciones, un dispositivo de sujeción, por ejemplo, un tornillo, un remache, y similares puede ser insertado a través de las aberturas 54, 55. Sólo con fines ilustrativos, la figura IF muestra un dispositivo de sujeción que combina una tuerca 57 y un tornillo 56.

Con referencia a las figuras 2A y 2B, se muestra un ala de tipo troposkein, tensada y flexible 20 para captar y hacer pasar un fluido fluyente y para rotar en torno a un eje sustancialmente horizontal. Las ventajas de esta ala flexible 20

respecto a sistemas de la técnica anterior incluyen su flexibilidad y tensionado, así como la eliminación de la necesidad de un miembro de rotor dispuesto centralmente en el sistema 10. El ala flexible tensada 20 puede estar estructurada y dispuesta con una forma arqueada cuando está sujeta a carga de fluido y puede incluir una pluralidad de perfiles en forma de ábabe 30 (figura 3) que están cubiertos por una membrana flexible 25. En algunas implementaciones, los perfiles en forma de ábabe 30 pueden estar unidos fijamente, por ejemplo, usando pegamento, remaches, soldadura, etc. a la membrana 25. En algunas implementaciones, los perfiles 30 están hechos de madera, plástico, resinas, materiales compuestos, materiales de carbono, y chapa metálica conformada. En algunas variaciones, los perfiles en forma de ábabe 30 pueden tener un tamaño uniforme o estar hechos en varios tamaños incrementales, por ejemplo, más pequeños en al menos una dimensión que un perfil en forma de ábabe 30 adyacente. En algunas implementaciones, la membrana está hecha de tejido flexible, lienzo, fibra de carbono, lona, fibra sintética de para-aramida, polietileno de alto módulo, polietileno de peso molecular ultra-alto, polietileno termoplástico, papel de arroz, papel tisú, PTFE y polímeros de cristal líquido.

En algunas variaciones, los perfiles en forma de ábabe 30 pueden tener sustancialmente las mismas dimensiones, por ejemplo, longitud de cuerda, anchura, grosor, y similares, a lo largo de toda la longitud del ala flexible 20; sin embargo, en otras variaciones, algunos de los perfiles en forma de ábabe 30, por ejemplo, aquéllos dispuestos en posición próxima al punto medio, pueden tener dimensiones más pequeñas que otros perfiles en forma de ábabe 30, por ejemplo, aquéllos dispuestos en posición próxima a los soportes de ala 12, 15 donde la velocidad periférica de rotor (TSR) es menor. Por ejemplo, una longitud de cuerda total (TCR) de tipo Darrieus para un perfil en forma de ábabe 30 puede estimarse usando la siguiente ecuación:

$$TCR=4,3 \cdot R / (TSR)^2$$

donde R es el radio de ala y TSR se refiere a la velocidad periférica de rotor, es decir, la diferencia entre la velocidad lineal del ala y la velocidad del viento. Si hay dos alas flexibles, la longitud TCR se dividiría por dos; con tres alas, la longitud TCR se dividiría por tres (3), etc.

La distancia centro a centro entre perfiles en forma de ábabe 30 puede ser sustancialmente la misma o puede ser variada, por ejemplo, de modo que los perfiles 30 estén más cerca en posición próxima a los soportes de ala 12, 15 y más alejados en posición próxima al punto medio del ala flexible 20. Aquellas personas con experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que, en cuanto a diseño, pueden seleccionarse cualquier número de variaciones de espaciado centro a centro frente a la cantidad y dimensiones de los perfiles en forma de ábabe 30 para conseguir sustancialmente el mismo resultado.

Con referencia a la figura 3, se muestra una realización ilustrativa de un perfil en forma de ábabe 30. Cada perfil en forma de ábabe 30 puede incluir un borde de ataque 31, un borde de salida 33, y unas superficies periféricas superior 32 e inferior 37. Cada perfil en forma de ábabe 30 tiene una longitud de cuerda, un centro aerodinámico 39, y un centro de masas gravitatorio 38. Ventajosamente, al menos una abertura 34, 35, 36 puede ser formada a través de cada perfil en forma de ábabe 30. Cables 28, 26, 24 correspondientes pueden estar dispuestos a través de las aberturas 34, 35, 36 respectivas formadas a través de cada perfil en forma de ábabe 30. El diámetro de las aberturas así como los diámetros de los cables 28, 26, 24 pueden estar sujetos a requisitos de diseño, tales como ajustes deslizantes estrechos.

Por ejemplo, puede estar formada una primera abertura 34 próxima al borde de ataque 31 de cada perfil en forma de ábabe 30 para aceptar un cable de peso de equilibrado 28 con el fin de orientar y equilibrar el ala flexible 20. En algunas variaciones, los diámetros de la primera abertura 34 y del primer cable 28 pueden ser más grandes, respectivamente, que los diámetros de las otras aberturas 35, 36 y de los cables 26, 24. El cable de peso de equilibrado 28 no está diseñado para transferir ninguna fuerza; por lo tanto, permanece sin tensión y un poco relajado. El peso del primer cable 28, y por lo tanto, su diámetro, puede ser seleccionado para casar sustancialmente con el peso del perfil en forma de ábabe 30. En algunas variaciones, puede ser deseable situar la primera abertura 34 en un perfil en forma de ábabe 30 de modo que un centro de masas del perfil en forma de ábabe 30, que como regla general, puede estar a una distancia de alrededor del 42 por ciento de la longitud de cuerda respecto al borde de ataque 31, está en vez de ello a una distancia de alrededor del 25 por ciento de la longitud de cuerda respecto al borde de ataque 31. Más particularmente, puede ser deseable situar la primera abertura 34 en un perfil en forma de ábabe 30 de modo que el centro de masas del perfil en forma de ábabe 30 coincida con el centro aerodinámico 39 del perfil en forma de ábabe 30, el cual puede estar a una distancia de entre alrededor del 20 y alrededor del 30 por ciento de la longitud de cuerda respecto al borde de ataque 31. Alternativas para disponer un cable de peso de equilibrado 28 como se ha descrito anteriormente, pueden incluir reemplazar el cable 28 por una placa semi-rígida, por ejemplo, que se flexione fácilmente en una dirección radial pero que transfiera cargas en una dirección tangencial a lo largo del ala flexible 20 a los soportes de ala 11, 13 y/o disponer el perfil en forma de ábabe 30 y/o aletas dentro del ala flexible 20 para desplazar el centro de masas a la posición deseada, por ejemplo, coincidente con el centro aerodinámico 39. La última alternativa puede llevarse a cabo en el momento de fabricación, por ejemplo, mediante moldeado por inyección de los perfiles 30. Con cualquier alternativa, el cable de peso de equilibrado 28 puede ser reemplazado también por una cuerda ligera de alta resistencia.

Una segunda abertura 36 puede estar formada en el centro de masas gravitatorio 38 del perfil en forma de ábabe 30. La segunda abertura 36 puede estar formada para aceptar un segundo cable 24 con el fin de transferir par de rotación al primer soporte de ala 12. Una tercera abertura 35 puede estar formada también en una posición que está sustancialmente a la misma distancia, es decir que es equidistante respecto al centro aerodinámico 39 del perfil en

5 forma de álabes 30 en comparación con el centro de masas gravitatorio 38, es decir la segunda abertura 36. La tercera abertura 35 puede estar formada para aceptar un tercer cable 26 también con el fin de transferir par de rotación al primer soporte de ala 12. En algunas implementaciones, la tercera abertura 35 puede estar situada preferentemente, por ejemplo cargada preferentemente, hacia el borde de ataque 31 de cada perfil en forma de álabes 30. En algunas variaciones, la posición preferente puede estar en un rango de hasta alrededor del tres (3) por ciento de la longitud de cuerda más cerca del borde de ataque 31 de cada perfil en forma de álabes 30 respectivo. En otras variaciones, la posición preferente puede estar en un rango de 1 a 1,5 por ciento de la longitud de cuerda más cerca del borde de ataque 31 de cada perfil en forma de álabes 30 respectivo.

10 La carga preferente puede producir las siguientes ventajas: el ala flexible 20 puede flexionarse y permanecer cerca de un ángulo de ataque de cero (0) grados y el par aerodinámico da vueltas al ala flexible 20 en torno a la posición. Equilibrando el par aerodinámico con fuerzas de tensión en los dos cables 26, 24, que están separados por los perfiles 30, es posible reducir adicionalmente el arrastre parásito en partes de las trayectorias de rotor de Darrieus en las que no se produce realmente nada de energía. De acuerdo con ello, con un diseño así, puede ser posible conseguir una optimización excepcional del ángulo de ataque frente a la velocidad de rotor.

15 Los diámetros de los cables segundo 24 y tercero 26 pueden aproximarse estimando la fuerza centrífuga e igualando la fuerza de tensión máxima al producto de la fuerza centrífuga y una variable. La variable puede ser de alrededor de 1,2 (si la distancia entre soportes es menor que cuatro (4) radios de ala máximos), de alrededor de 2 (si la distancia entre soportes es menor que ocho (8) radios de ala máximos), o de alrededor de 2,4 (si la distancia entre soportes es menor que diez (10) radios de ala máximos).

20 Aunque la realización ha sido descrita en términos de los dos cables 26, 24 para transferir par de rotación, aquellas personas con experiencia ordinaria en la técnica pueden apreciar que la transferencia del par de rotación puede conseguirse también usando un único cable. Sin embargo, las ventajas de usar dos cables 26, 24, que pueden incluir una mayor estabilidad y equilibrio, pueden superar a las ventajas de una realización con cable único.

25 Aunque los cables 28, 26, 24 pueden ser cables de acero, si se desean alas flexibles 20 más grandes, para reducir peso, los cables 26 y 24 pueden estar fabricados a partir de, por ejemplo, fibras de polietileno ligeras de peso molecular ultra-alto, mientras que sólo el cable frontal 28 puede estar hecho de acero para actuar como lastre. Es importante apuntar que cuando se usan palas rígidas en otras aplicaciones, es problemático conseguir un rendimiento de ala estable en condiciones operativas diferentes sin añadir lastre. Ciertamente, sin equilibrar las alas 20, por ejemplo, usando el cable frontal 28, el sistema 10 puede sufrir y tender a incrementar ángulos de ataque de una manera contraria a resistir sus movimientos.

30 Una realización alternativa de un perfil en forma de álabes 40 se muestra en las figuras 4A y 4B. Cada perfil en forma de álabes 40 alternativo incluye un borde de ataque 41, un borde de salida 43, y superficies periféricas superior 42 e inferior 47. Mientras que la primera realización de un perfil en forma de álabes 30 (figura 3) puede incluir una pluralidad de aberturas 34, 35, 36 para una correspondiente pluralidad de cables 28, 26, 24, el perfil en forma de álabes 40 alternativo puede tener una única abertura 44 que puede estar dispuesta en el borde de ataque 41. Una alternativa así puede ser más difícil de equilibrar ya que equilibrar la tensión en la membrana 25 con la tensión del cable único, cada uno de los cuales puede estar hecho de un material diferente, es una tarea difícil. Además, una realización alternativa así puede resultar en una estructura más ligera, lo que no es necesariamente beneficioso. Por ejemplo, si la masa del ala flexible 20 es demasiado baja, el viento puede desviar el ala flexible 20 de modo que no siga la trayectoria óptima para extraer energía. Por ejemplo, como regla general, un peso mínimo para el ala flexible 20 puede ser de alrededor de  $0,13R^2$  (en kg por metro lineal de ala).

35 Para reducir adicionalmente el peso del ala flexible 40, cada perfil en forma de álabes 40 alternativo puede estar estructurado y dispuesto de forma similar a una celosía (figura 4B), en la que hay miembros portadores de carga 45 así como secciones cortadas 46. Aquellas personas con experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que el perfil en forma de álabes 30 puede estar diseñado también usando un concepto de celosía. Aquí de nuevo, una realización así puede resultar en una estructura más ligera y, en consecuencia, si la masa del ala flexible 20 es demasiado baja, el viento puede desviar el ala flexible 20 de modo que no siga la trayectoria óptima para extraer energía.

#### Sistema generador de electricidad de múltiples alas

40 Algunos beneficios de un sistema de ala flexible única 10 con un cable de equilibrado 14 incluyen que puede ser parado completamente y que la masa del ala es mayor que la masa del resto de la estructura del sistema 10. Ventajosamente, cuando está completamente parado y no está funcionando, el sistema de ala flexible única 10 puede resistir rachas de viento significativas, por ejemplo, de 70 metros/segundo, lo que no podrían hacer otras estructuras hechas de un material similar. Para localizaciones en las que rachas de viento significativas no son un problema o son un problema menor y/o cuando una condición preferida puede incluir un aspecto simétrico, menos vibraciones, y/o menos fluctuaciones de par de rotación, pueden añadirse una o varias alas flexibles adicionales. Ventajosamente, una segunda ala flexible puede reemplazar el cable de equilibrado 14.

50 Con referencia a las figuras 5A y 5B, se muestra una realización ilustrativa de un sistema de doble ala 50. Un sistema 50 así, que tiene dos alas flexibles 20a, 20b opuestas, puede formar una estructura simétrica y sustancialmente



equilibrada. Aunque un sistema de tres alas puede proporcionar un movimiento aún más suave y un mejor equilibrio que la versión de doble ala 50, dichas ventajas y beneficios se obtienen a costa de una complejidad de estructura y un coste incrementados. El número de puntales rígidos 16a-16c, cada uno de los cuales incrementa la resistencia aerodinámica, para un sistema de múltiples alas 50 puede ser mayor que uno, dependiendo de los objetivos de diseño. No obstante, tres puntales rígidos 16a-16c, igualmente espaciados ( $L/4$ ) entre los soportes 11, 13, proporcionan un sistema 50 efectivo y eficiente. El diseñador, sin embargo, puede escoger que se permita algo de flexión (con menos puntales) para conseguir un movimiento de ala aún más suave y menor oscilación de par de rotación. En comparación con sistemas con palas de eje horizontal, el sistema de múltiples alas 50 puede incrementar el área barrida 3 a 4 veces, proporcionando más potencia y, ventajosamente, operando a velocidades de viento que en otro caso estarían fuera del rango de operación de turbinas eólicas accionadas por hélice.

El diseño y estructura de las alas flexibles 20a, 20b del sistema de múltiples alas 50, así como el diseño y estructura de la conexión entre las alas flexibles 20a, 20b y los puntales rígidos 16a-16c y el diseño y la estructura de la conexión entre las alas flexibles 20a, 20b y los soportes de ala 12, 15, pueden ser sustancialmente similares a los descritos previamente en conexión con la realización 10 de ala flexible y cable de equilibrado. Una diferencia principal entre los dos sistemas 10, 50 puede ser el número de puntales rígidos 16.

En otra realización más, con referencia a las figuras 8A a 8C, se muestra un sistema generador de electricidad 90 que tiene dos pares de medias alas 20c, 20d, y 20e, 20f, cuyos extremos distales están fijados a un puntal transversal 23, por ejemplo un puntal transversal en forma de T, y que están inclinadas 90 grados a mitad de longitud ( $L/2$ ). El puntal transversal 23 y la inclinación de los pares de medias alas 20c, 20d y 20e, 20f reducen vibraciones y pares de flexión en los soportes 11, 13 ya que, con cada rotación, las fuerzas de torsión están mejor distribuidas, reduciendo fluctuaciones del par de rotación. Aunque se ha descrito un ángulo de inclinación de 90 grados, aquellas personas con experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que, en otras implementaciones, el sistema 90 puede incluir más de dos pares de medias alas, con un puntal transversal estructurado y dispuesto para ser fijado a los extremos distales de cada una de las alas flexibles en cada uno de las pares y un ángulo de inclinación apropiado.

En algunas variaciones, el tercer cable 26 de cada una de las múltiples medias alas 20c, 20d, 20e, 20f puede estar fijado de forma separable a un extremo distal de una de las barras que constituyen el puntal transversal 23, por ejemplo, engarzando los cordones del tercer cable 26 a través de una abertura formada a través del extremo distal de la barra respectiva, enrollando los extremos libres de los cordones del cable varias veces en torno al extremo distal de la barra respectiva, y entrelazando algunos de los extremos libres de los cordones del cable entre las vueltas enrolladas. El segundo cable 24, que está dispuesto en el centro de masas gravitatorio 38 de cada uno de los perfiles en forma de álabes 30 que forman cada media ala 20c, 20d, 20e, 20f, puede estar fijado de forma separable a la barra respectiva del puntal transversal 23, por ejemplo engarzando el segundo cable 24 a través de una abertura 62 formada a través de la barra respectiva del puntal transversal 23 y fijando una tuerca de retención 18 al extremo del cable 24.

#### Operación

Se describirán ahora la operación del sistema 10 de ala flexible y cable de equilibrado de la figura 1A y del sistema de doble ala de la figura 5A y un método para generar electricidad con los sistemas 10, 50. Un sistema generador de electricidad híbrido 60 ilustrativo muestra los principales elementos estructurales de los dos sistemas 10, 50, y se hará referencia a él en esta descripción.

Recuérdese que cada ala flexible 20 de los sistemas 60 llevados a la práctica está soportada en un extremo distal y uno proximal por unos soportes primero 11 y segundo 13, y que cada ala 20 puede incluir varios, por ejemplo tres (3), cables 28, 26, 24, de los cuales un cable no tensado 28 puede estar previsto con el fin de equilibrar la estructura ligera y al menos un cable tensado 26, 24 puede usarse para transferir realmente fuerza a una máquina 70. En algunas variaciones, el segundo cable 24 puede estar dispuesto en posición próxima al centro de masas gravitatorio 39 de cada uno de los perfiles en forma de álabes 30, que proporcionan estructura y capacidad de soportar carga al (a las) ala(s) flexible(s) 20. Cuando se usan dos cables 26, 24, su punto medio puede estar situado en posición próxima al centro aerodinámico 39 de cada uno de los perfiles en forma de álabes 30. Sin embargo, la distancia entre el cable 26 y el centro aerodinámico 39 de cada uno de los perfiles en forma de álabes 30 puede estar cargada preferentemente hacia el extremo de ataque 31 del perfil en forma de álabes 30.

La membrana 25 puede estar unida fijamente a cada uno de los perfiles en forma de álabes 30 para formar el ala flexible 20. Ventajosamente, una parte del cable 26, 24 puede pretensar también la membrana 25, permitiendo que la membrana 25 mantenga una forma aerodinámica, especialmente en lugares en los que no hay perfiles en forma de álabes 30. Algunas propiedades importantes de un ala flexible 20 pueden incluir flexibilidad radial, es decir, cuando está acoplada a una máquina 70, y mayor rigidez cuando es flexionada tangencialmente.

En algunas realizaciones, en un primer paso, el método incluye proporcionar una máquina 70 capaz de actuar como motor y como generador en el primer soporte 11. En algunas implementaciones, en un siguiente paso, los extremos distales de cada cable tensado 26, 24 dispuesto dentro del (de las) ala(s) flexible(s) 20 pueden estar fijados de forma separable a un primer soporte de ala 12, mientras que los extremos proximales de cada cable tensado 26, 24 dispuesto dentro del (de las) ala(s) flexible(s) 20 pueden estar fijados de forma separable a un segundo soporte de ala 15. La fijación de los extremos respectivos de los cables 26, 24 a soportes de ala 12, 15 ha sido discutida previamente y no

será discutida adicionalmente. Similarmente, la fijación del segundo soporte de ala 12 al conjunto de cojinete 80 en el segundo soporte 13 ha sido ya discutida en detalle.

5 En cuanto a fijar el primer soporte de ala 12 a la máquina 70, las figuras 7A y 7B muestran una realización ilustrativa para acoplar operativamente el primer soporte de ala 12 a una rueda de motor PM síncrona o máquina 70. Aquellas personas con experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que la selección de una rueda de motor PM síncrona como máquina 70 se hace sólo con fines ilustrativos y que no debe interpretarse que la invención está limitada a ello. Ciertamente, pueden usarse otros tipos de máquinas de motor-generador y todos están dentro del alcance de la presente invención.

10 La rueda de motor PM síncrona (máquina 70) es un motor síncrono que usa un campo magnético creado por una pluralidad de imanes permanentes, por ejemplo, dispuestos en un anillo anular 79, sujetado por apoyos 72. Puede estar previsto un anillo de deslizamiento 75, por ejemplo, entre el inducido 71 y un brazo de rotor 78, para ajustar la resistencia para permitir la rotación libre del rotor 78 con arrollamientos y desacoplando los arrollamientos rotatorios respecto al cable eléctrico estacionario 73. Un cable eléctrico 73 puede estar previsto para transmitir la electricidad inducida a una carga, a una red eléctrica, y/o a un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica. Los elementos operativos de la máquina 70 pueden estar alojados en y soportados por un anillo anular 79 que está soportado por un número de apoyos 72.

20 El brazo de rotor 78 anteriormente mencionado puede estar fijado de forma separable al primer soporte de ala 12, por ejemplo, a través de una abertura situada en un centroide del soporte de ala 12 y/o en un punto medio entre los puntos de fijación de los extremos de cable, usando un dispositivo de sujeción 77, por ejemplo tornillos. En algunas implementaciones, el brazo de rotor 78 está acoplado al inducido 71, por ejemplo a través del anillo de deslizamiento 75, de modo que cuando se hace rotar el brazo de rotor 78 mediante el primer soporte de ala rotatorio 12, el inducido 71 no rota. El campo magnético variable generado por la pluralidad de imanes permanentes, induce corriente, generando electricidad.

25 En un siguiente paso, las alas flexibles 20 pueden estar expuestas al fluido fluyente para accionar la máquina 70. Cuando las alas 20 rotan, en algunas variaciones, el método puede incluir orientar y/o equilibrar las alas flexibles 20, por ejemplo disponiendo un cable de equilibrado 28 a través de una abertura 34 próxima a un borde de ataque 31 de cada perfil en forma de ábete 30 en las alas flexibles 20, y transferir par de rotación a la máquina, por ejemplo, usando los cables 26, 24 dispuestos a través de aberturas 35, 36 respectivas en cada perfil en forma de ábete 30. Al menos un puntal rígido 16 dispuesto entre las alas flexibles 20 soporta las alas flexibles y estabiliza el sistema. En condiciones de flujo ambiental bajo, la máquina 70 puede operar brevemente como motor, para llevar el sistema 60 a una velocidad de rotación mínima, tras lo cual las alas 20 están suficientemente flexionadas y cargadas como para que la rotación sea sostenida por el flujo ambiental y la máquina 70 puede conmutar a operar como generador.

#### Física y parámetros de diseño

35 Los sistemas con alas flexibles y cables equilibrados pueden comportarse similarmente a un alambre único que conecta dos ruedas. Como se ha mencionado previamente, la transferencia de par de rotación para un único alambre tensado puede aproximarse por  $(H/L)*R^2*\text{sen}(\alpha)$ . En esta aproximación, puede suponerse que la fuerza de tensión horizontal (H) es constante en ciertas condiciones operativas fijas, lo que no siempre es cierto, por ejemplo, debido a elongación de cable y a cargas diferentes. Para pequeños ángulos de desplazamiento, por ejemplo, menores o iguales que alrededor de 30 grados, sin embargo, la suposición es más correcta ya que H es casi constante para velocidades angulares, velocidades de viento y posiciones de rotor seleccionadas, y está dominada principalmente por fuerzas de pre-tensión y/o centrífugas. Para estimar la resistencia requerida, puede ser útil usar la máxima fuerza que aparece cuando el ala está dispuesta perpendicularmente al flujo de viento.

Acoplando un puntal rígido a los centros de envergadura del ala flexible y del cable de equilibrado, el par de rotación transferido desde un lado a otro puede aproximarse por la ecuación:

45 
$$\text{Par de rotación} = H/L * R^2 * \text{sen}(\alpha/2).$$

Una pala de Darrieus puede operar bien en un rango de radios para los cuales la velocidad de pala es al menos 2,5 veces la velocidad periférica de rotor. Sin embargo, puede producirse un arrastre alto a ángulos de ataque extremos, lo que puede estimarse usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ángulo de ataque} = \arctan[\text{sen}(\varphi)/(\lambda + \cos(\varphi))],$$

50 en la cual  $\lambda$  es la relación de velocidad periférica. De acuerdo con ello, en casos extremos, es decir cuando  $\varphi = 90$  grados, el ángulo de ataque puede ser igual a  $\arctan[1/\lambda]$ .

Para un ala flexible, el radio de ala máximo,  $R_{\text{max}}$ , puede operar con 4,5 a 5 veces la relación de velocidad periférica, siendo el radio de ala mínimo,  $R_{\text{min}}$ , igual a alrededor de  $R_{\text{max}}/2$ . Aunque, en algunas aplicaciones,  $R_{\text{min}}$  puede ser menor que alrededor de  $R_{\text{max}}/2$ , por ejemplo  $R_{\text{min}}$  puede ser en vez de ello igual a  $R_{\text{max}}/3$ , debido a que el ala flexible no produce nada de energía, sólo arrastre, hasta que alcanza al menos  $R_{\text{min}}$ . Fijar  $R_{\text{min}} = R_{\text{max}}/2$  puede ser conservativo.

La longitud de diseño de las alas flexibles puede estar afectada por un compromiso entre área barrida, transferencia de par de rotación, y la relación entre fuerza de tensión y fuerza centrífuga. Por ejemplo, puede ser deseable suponer una fuerza de tensión que sea alrededor de 1,2 veces mayor que la fuerza centrífuga. Usando esta relación para una fuerza de tensión 1,2 veces mayor que la fuerza centrífuga, la longitud de diseño (L) puede estimarse usando la siguiente ecuación:

$$L = 10*(R_{\max} - R_{\min}) = 10*(R_{\max} - R_{\max}/2) = 5*R_{\max},$$

que proporciona un buen uso de material para los cables pero un área barrida relativamente pequeña. En el extremo alto, en el que la fuerza de tensión puede ser alrededor de 2,4 veces la fuerza centrífuga (por ejemplo, debido a una pala ligera), la longitud de diseño (L) puede estimarse usando la siguiente ecuación:

$$L = 20*(R_{\max} - R_{\min}) = 20*(R_{\max} - R_{\max}/2) = 10*R_{\max}.$$

Si la fuerza de tensión puede ser alrededor de 2 veces la fuerza centrífuga, la longitud de diseño (L) puede estimarse usando la siguiente ecuación:

$$L = 16*(R_{\max} - R_{\min}) = 16*(R_{\max} - R_{\max}/2) = 8*R_{\max}.$$

Suponiendo que  $L/R_{\max} = 8$ , es decir que la fuerza de tensión es igual al doble de la fuerza centrífuga, las fórmulas para transferencia de par de rotación quedan:

$$\text{Transferencia de par de rotación} = H*R_{\max}*\text{sen}(\alpha/2)/8 \text{ (con un puntal rígido central)}$$

o

$$\text{Transferencia de par de rotación} = H*R_{\max}*\text{sen}(\alpha/2)/32 \text{ (sin un puntal rígido central)}$$

Simplificando las ecuaciones usando la aproximación de ángulo pequeño, es decir  $\text{sen}(\alpha/2)$  es aproximadamente igual a  $\alpha/2$  (en radianes), se puede concluir que añadir un puntal rígido central incrementa la capacidad de transferencia de par de rotación en un factor de cuatro para el mismo ángulo de desplazamiento. Por lo tanto, el sistema puede hacerse más eficiente añadiendo un único puntal rígido. Puntales rígidos adicionales (más allá de uno) añaden peso, coste, y resistencia aerodinámica, al tiempo que hacen ligeramente más eficiente la transferencia de par de rotación.

Con el fin de estimar la magnitud de potencia que puede ser transferida a través de un sistema así, la fuerza centrífuga ( $F_c$ ) puede estimarse usando la ecuación:

$$F_c = 5/6*m*\omega^2*R_{\max},$$

donde  $\omega$  es una velocidad de rotación (en radianes/segundo) y  $m$  es masa (en kg). La constante 5/6 corresponde a una aproximación parabólica del desplazamiento del centro de masas cuando  $R_{\min} = R_{\max}/2$ . De acuerdo con ello, la fuerza de tensión (H) puede calcularse usando la ecuación:

$$H = 2*F_c = 5/3*m*\omega^2*R_{\max}.$$

De acuerdo con ello, la potencia transferida (P) puede estimarse usando la ecuación:

$$P_1 \geq \omega*H*R_{\max}*\text{sen}(\alpha/2)/8 = 5/24*m*\omega^3*R_{\max}^2*\text{sen}(\alpha/2).$$

Las limitaciones de velocidad rotatoria,  $\omega$ , pueden darse en términos de  $\lambda$  (es decir, la relación de velocidad periférica), y velocidad de viento externa,  $v$ , usando la definición:

$$\lambda = \omega*R/v.$$

Para una turbina de tipo Darrieus, una de las mejores relaciones de solidez de rotor, es decir relaciones entre longitud de cuerda y  $R_{\max}$ , para una única ala es de aproximadamente 0,21 (por ejemplo, para la familia de perfiles NACA-0012) y una relación de velocidad periférica óptima ( $\lambda$ ) está en el rango de 4 (peor caso) a 5 (mejor caso). Sustituyendo la relación de velocidad periférica para el peor caso en la ecuación anterior,  $\omega = 4*v/R_{\max}$ . Sustituir esta velocidad angular en la ecuación de potencia anterior da como resultado:

$$P_1 \geq [40/(3*R_{\max})]*m*v^3*\text{sen}(\alpha/2),$$

correspondiente a la potencia transferida desde un soporte de ala a otro. Si la potencia es recogida y está distribuida uniformemente en cada ala de un sistema de doble ala, la potencia generada puede ser aproximadamente el doble de esa cantidad, es decir  $2P_1$ .

Suponiendo que la forma de la trayectoria del ala flexible puede aproximarse por una parábola, el área barrida puede calcularse usando la ecuación:

$$\text{Área barrida} = 2/3*L*(2*R_{\max} + R_{\min}).$$

## ES 2 731 786 T3

Para  $R_{\min} = R_{\max}/2$  y  $L = 8 \cdot R_{\max}$ ,

$$\text{Área barrida} = 40/3 \cdot R_{\max}^2.$$

La máxima potencia extraída por la turbina puede estimarse usando la ecuación:

$$P_2 = 1,225 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot v^3 \cdot (40/3 \cdot R_{\max}^2)$$

- 5 en la cual  $v$  es la velocidad del viento, 1,225 es una densidad del aire a nivel del mar, 0,4 es un coeficiente de eficiencia, y 0,5 es un coeficiente derivado de la relación de energía cinética. Igualando  $2P_1$  a  $P_2$ ,

$$2 \cdot [40/(3 \cdot R_{\max})] \cdot m \cdot v^3 \cdot \sin(\alpha/2) = 1,225 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot v^3 \cdot (40/3 \cdot R_{\max}^2),$$

o

$$2 \cdot m \cdot \sin(\alpha/2) = 1,225 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot R_{\max}^3,$$

- 10 lo que sugiere que, para un ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ) dado, la potencia transferida puede depender del radio y la masa seleccionados, pero no de la velocidad de viento ( $v$ ). Esto permite a un diseñador, especialmente en una configuración multipala, seleccionar un ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ) para asegurar la estabilidad y generar un par de rotación suave, por ejemplo, tal como es posible con turbinas de Gorlov y turbinas de revoluciones silenciosas, sin tener que realizar el diseño para una velocidad de viento particular.

- 15 De este modo, la masa mínima requerida para transferir par de rotación para un ángulo de desplazamiento dado puede determinarse mediante la ecuación general:

$$m = 0,1225 \cdot R_{\max}^3 / \sin(\alpha/2).$$

Recordemos que, para mantener la fuerza centrífuga más alta que la fuerza aerodinámica, la masa por cada longitud de ala es igual a  $0,13 \cdot R_{\max}^2$ . Por lo tanto, para una longitud de  $8 \cdot R_{\max}$ :

$$20 \quad m = (8 \cdot R_{\max}) \cdot 0,13 \cdot R_{\max}^2 = 1,04 \cdot R_{\max}^3.$$

Igualando entre sí estas dos ecuaciones y despejando el ángulo de desplazamiento ( $\alpha$ ),  $\alpha$  es aproximadamente igual a 13,5 grados.

- 25 De acuerdo con ello, para un radio de ala máximo de 6 metros, la masa del ala flexible puede ser de alrededor de 225 kg y la longitud puede ser de alrededor de 48 metros, lo que puede producir fuerzas de tensión de aproximadamente 16 kN a una velocidad del viento de 4 metros/segundo (m/s) y de alrededor de 100 kN a una velocidad del viento de alrededor de 10 m/s, suponiendo por supuesto que se mantiene constante la relación de velocidad periférica.

- 30 Con una combinación de ala flexible y cable de equilibrado, las fuerzas de tensión producidas en los soportes pueden doblarse, por ejemplo, debido a que el cable de equilibrado resistiría el estiramiento. Sin embargo, permitir que el ángulo de desplazamiento se incremente permite que disminuya la masa y, consecuentemente, las fuerzas de tensión. Un inconveniente habitual para diseñadores incluye el equilibrio aerodinámico y rachas. Por ejemplo, las alas flexibles deben mantener su trayectoria frente a rachas, lo que puede imponer algunas limitaciones en cuanto a la posible reducción de masa. Una limitación de masa de  $0,13 \cdot R_{\max}^2$  por cada longitud de ala mantiene la trayectoria de ala sólo a velocidades nominales, no con rachas.

Una tabla de parámetros de diseño seleccionados y valores o rangos a modo de ejemplo se proporciona en la figura 9.

- 35 Comparación con turbinas eólicas de eje vertical de tipo Darrieus y turbinas eólicas de eje horizontal del tipo de hélice

- El sistema aquí descrito puede superar significativamente a una turbina eólica de eje vertical de tipo Darrieus previamente conocida en términos de costes de material. Es también ampliamente conocido que un diseño del tipo de hélice, especialmente para áreas barridas grandes, puede superar a turbinas eólicas de eje vertical. Una excepción está constituida por ciertos dispositivos de nicho, cuyo rendimiento específico requiere capturar viento desde todas las direcciones, por ejemplo, sobre techos en localizaciones urbanas.

- 40 Realizando las mismas suposiciones, es decir,  $R_{\min} = R_{\max}/2$  y  $L = 8 \cdot R_{\max}$ , el área barrida puede ser aproximadamente  $13,3 \cdot R_{\max}^2$ . Así, una turbina del tipo de hélice con un área barrida equivalente puede requerir un radio igual a la raíz cuadrada de  $13,3/\pi$ . Por lo tanto, un radio comparable para hélice puede ser aproximadamente el doble de grande que el ala flexible, o el mismo radio puede requerir cuatro hélices en vez de una única ala flexible.

- 45 Debido a que estas hélices capturan la mayoría de su energía en el perímetro de su rotación, en vez de en una línea central encima de los soportes, la hélice puede ser movida a una mayor altura y, por lo tanto, el soporte debe ser más alto. Si comparamos el diseño de un radio  $R_{\max}$  de 6 metros sobre un soporte de 12 metros, para obtener un resultado equivalente con dos hélices sobre dos soportes sus radios deben ser de alrededor de 8,5 metros. Además, la altura del soporte puede variar entre alrededor de 15 metros (para proporcionar una distancia al suelo de 6 metros en un contexto agrícola) y alrededor de 18 metros (para mantener una distancia de seguridad de 9 metros cuando comienza la recogida

de energía eólica). En el caso de una pala de hélice única, la longitud de pala puede tener que ser de alrededor de 12 metros en longitud y la altura de soporte puede variar entre alrededor de 18 y 21 metros para mantener distancias al suelo y eficiencias aceptables.

- 5 La construcción de los soportes puede aumentar de escala de manera más cercana al cuadrado de su altura y al cubo de radios del rotor. Por lo tanto, requisitos de soporte más alto pueden incrementar los costes de soporte entre 1,3 y 1,8 veces, dependiendo también de un perfil logarítmico de viento. Por ejemplo, en terrenos en los que un viento a modo de ejemplo es considerablemente menor a 10 metros por encima de la superficie del suelo que a 20 metros, por ejemplo en terreno que tiene alta rugosidad superficial, una mayor altura para la hélice y un soporte más alto pueden ser más beneficiosos.
- 10 Las palas de hélice son complejas, ya que éstas deberían ser estructuras alargadas rígidas que resisten pandeo y flexión. Hélices de 3 palas prácticas con palas de 12 metros pueden tener una relación de velocidad periférica de alrededor de 7. El peso de una única pala puede ser de alrededor de 750 kg, por ejemplo, usando materiales compuestos avanzados. De este modo, el peso total sería de alrededor de 2,2 toneladas métricas (o largas) para todo el rotor. En comparación con el peso y los costes para un ala flexible de 225 kg, el peso de esta última es despreciable.
- 15 Además, el diseño de soporte y el diseño para un rotor deben tomar en cuenta el más significativo peso de pala. Las alas flexibles de acuerdo con la invención pueden también ser enrolladas en una configuración compacta por facilidad de transporte e instalación. Esto claramente no es el caso para hélices rígidas y otras alas rígidas, que requieren una construcción unitaria o, en algunos casos, múltiples elementos ligados, lo que añade peso y coste.
- 20 Los términos y expresiones empleados aquí se usan como términos y expresiones de descripción y no limitativos, y no hay ninguna intención, al usar tales términos y expresiones, de excluir cualquier equivalente de las características mostradas y descritas o de partes de ellas. Las características y funciones de las diversas realizaciones pueden disponerse en varias combinaciones y permutaciones, y se considera que todas están dentro del alcance de la invención divulgada. De acuerdo con ello, las realizaciones descritas deben considerarse a todos los respectos sólo como ilustrativas y no restrictivas. Además, se pretende que las configuraciones, materiales y dimensiones aquí
- 25 descritos sean ilustrativos y de ningún modo limitativos. Similarmente, aunque se han proporcionado explicaciones físicas con fines explicativos, no hay ninguna intención de quedar restringidos por cualquier teoría o mecanismo particular, o de limitar las reivindicaciones de acuerdo con ello. El alcance de la protección está definido por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema generador de electricidad accionado por fluido (10), dispuesto operativamente entre un primer soporte (11) y un segundo soporte (13), en que el sistema está **caracterizado por** una ausencia de un miembro de rotor dispuesto centralmente, comprendiendo el sistema:
- 5 una máquina (70) capaz de actuar como un motor y como un generador, estando la máquina (70) acoplada al primer soporte (11);
- 10 al menos un ala flexible (20) que tiene una forma arqueada, un extremo distal acoplado a la máquina y un extremo proximal acoplado al segundo soporte (13), para captar y hacer pasar un fluido fluyente, en que cada ala flexible (20) está adaptada para rotar en torno a un eje sustancialmente horizontal y comprende una pluralidad de perfiles en forma de álabe (30) cubiertos por una membrana (25) y un primer cable (28) dispuesto a través de una abertura (34) próxima a un borde de ataque (31) de cada perfil en forma de álabe (30), para orientar y equilibrar la al menos un ala flexible (20);
- 15 un sistema de equilibrado tensado (12, 14, 15) acoplado a los soportes (11, 13) para estabilizar la operación del sistema generador de electricidad (10); y
- al menos un puntal rígido (16; 23) dispuesto entre cada ala flexible (20) y el sistema de equilibrado para soportar cada ala flexible (20).
2. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 1, en que la máquina (70) incluye una caja de engranajes.
3. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 1, en que el al menos un puntal es un puntal transversal (23).
4. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 3, en que la al menos un ala flexible (20) comprende un primer y un segundo par de medias alas (20c, 20d, 20e, 20f) que están fijadas al puntal transversal (23) y el primer par de medias alas (20c, 20d) están inclinadas un cierto ángulo respecto al segundo par de medias alas (20e; 20f).
5. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 4, en que el puntal transversal comprende un puntal transversal en forma de T y el ángulo de inclinación es de alrededor de 90 grados.
6. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 1, que comprende además un segundo cable (24) dispuesto a través de una abertura (36) próxima a un centro de masas del perfil en forma de álabe (30) para transferir par de rotación a la máquina.
7. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 6, en que el segundo cable (24) comprende un par de cables, pasando cada cable del par de cables a través de una abertura respectiva en cada perfil en forma de álabe (30), de forma sustancialmente equidistante respecto a un centro aerodinámico del perfil en forma de álabe (30).
8. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 7, en que al menos un cable está hecho de un material seleccionado del grupo consistente en acero, cable metálico, fibras de aramida, fibras de polímero de cristal líquido, fibras de polietileno de peso molecular ultra-alto.
9. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 1, en que el sistema de equilibrado tensado comprende un cable tensado (24, 26).
10. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 1, en que el sistema de equilibrado tensado comprende una segunda ala flexible que tiene una forma arqueada.
11. El sistema generador de electricidad (10) según la reivindicación 1, en que al menos un puntal (16, 23) está dispuesto sustancialmente de forma perpendicular a cada ala flexible (20) en un punto de conexión respectivo.
12. Un ala flexible (20) que tiene un centro de masas gravitatorio, un centro aerodinámico, y una distancia entre ellos, para uso con un sistema generador de electricidad accionado por fluido (10) según la reivindicación 1, comprendiendo el ala flexible (20):
- 45 una pluralidad de perfiles en forma de álabe (30), teniendo cada perfil una longitud de cuerda;
- una membrana (25) que cubre la pluralidad de perfiles en forma de álabe (30); y
- un par de cables (24, 28) que pasan a través de aberturas respectivas, en cada uno de los perfiles en forma de álabe (30), de forma sustancialmente equidistante respecto al centro aerodinámico, en que
- un primer cable (28) está dispuesto en una primera abertura (34) próxima al centro de masas gravitatorio de cada perfil en forma de álabe (30).

13. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, en que el segundo cable (24) está situado preferentemente hacia un borde de ataque (31) de cada perfil en forma de álabes (30).
14. El ala flexible (20) según la reivindicación 13, en que la posición preferente está en un rango de hasta alrededor de tres (3) por ciento de la longitud de cuerda más cerca del borde de ataque (31) de cada perfil en forma de álabes (30) respectivo.
15. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, en que la pluralidad de perfiles en forma de álabes (30) están hechos de un material seleccionado del grupo consistente en madera, plástico, resinas, materiales compuestos, materiales de carbono, y chapa metálica conformada.
16. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, en que la membrana (25) está hecha de un material seleccionado del grupo consistente en tejido flexible, lienzo, fibra de carbono, lona, fibra sintética de para-aramida, polietileno de alto módulo, polietileno de peso molecular ultra-alto, polietileno termoplástico, papel de arroz, papel tisú, PTFE, y tejidos de polímero de cristal líquido.
17. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, en que al menos un perfil en forma de álabes (30) forma una abertura a su través.
18. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, en que al menos un perfil en forma de álabes (30) es más pequeño en al menos una dimensión que otro de los perfiles en forma de álabes.
19. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, que comprende además un cable (28) dispuesto a través de una abertura (34) próxima a un borde de ataque (31) de cada perfil en forma de álabes (30), para orientar y equilibrar el ala flexible (20).
20. El ala flexible (20) según la reivindicación 19, en que al menos un cable está hecho de un material seleccionado del grupo consistente en acero, cable metálico, fibras de aramida, fibras de polímero de cristal líquido y fibras de polietileno de peso molecular ultra-alto.
21. El ala flexible (20) según la reivindicación 12, en que el ala flexible (20) está cargada preferentemente hacia un borde de ataque (31) del ala flexible (20).
22. Un método para generar electricidad con un sistema (10) dispuesto entre un primer y un segundo soporte (11, 13) **caracterizado por** una ausencia de un miembro de rotor dispuesto centralmente, usando un fluido fluyente y al menos un ala flexible que tiene una forma arqueada, una pluralidad de perfiles en forma de álabes (30) y una membrana (25) que cubre la pluralidad de perfiles en forma de álabes (30), comprendiendo el método:
- proporcionar una máquina (70) capaz de actuar como un motor y como un generador sobre el primer soporte (11); acoplar la máquina (70) a un extremo distal de al menos un cable dispuesto dentro de cada ala flexible (20);
- exponer la al menos un ala flexible (20) al fluido fluyente para accionar la máquina (70); y
- estabilizar cada ala flexible (20) con al menos un puntal rígido (16, 23) dispuesto entre cada ala flexible (20) y un sistema de equilibrado tensado (12, 14, 15), comprendiendo además orientar y equilibrar, disponiendo un primer cable (28) a través de una abertura (34) próxima a un borde de ataque (31) de cada perfil en forma de álabes (30), la al menos un ala flexible (20).
23. El método según la reivindicación 22, en que el sistema de equilibrado tensado comprende una segunda ala flexible.
24. El método según la reivindicación 22, que comprende además transferir par de rotación a la máquina (70) mediante el al menos un cable dispuesto a través de una abertura en cada perfil en forma de álabes (30).
25. El método según la reivindicación 24, en que el al menos un cable comprende un par de cables que pasan a través de aberturas respectivas en cada uno de los perfiles en forma de álabes (30), de forma sustancialmente equidistante respecto a un centro aerodinámico de cada perfil en forma de álabes (30), en que un primer cable está dispuesto en una primera abertura próxima a un centro de masas gravitatorio de cada perfil en forma de álabes.
26. El método según la reivindicación 25, que comprende además situar preferentemente un segundo cable hacia un borde de ataque (31) de cada perfil en forma de álabes (30).

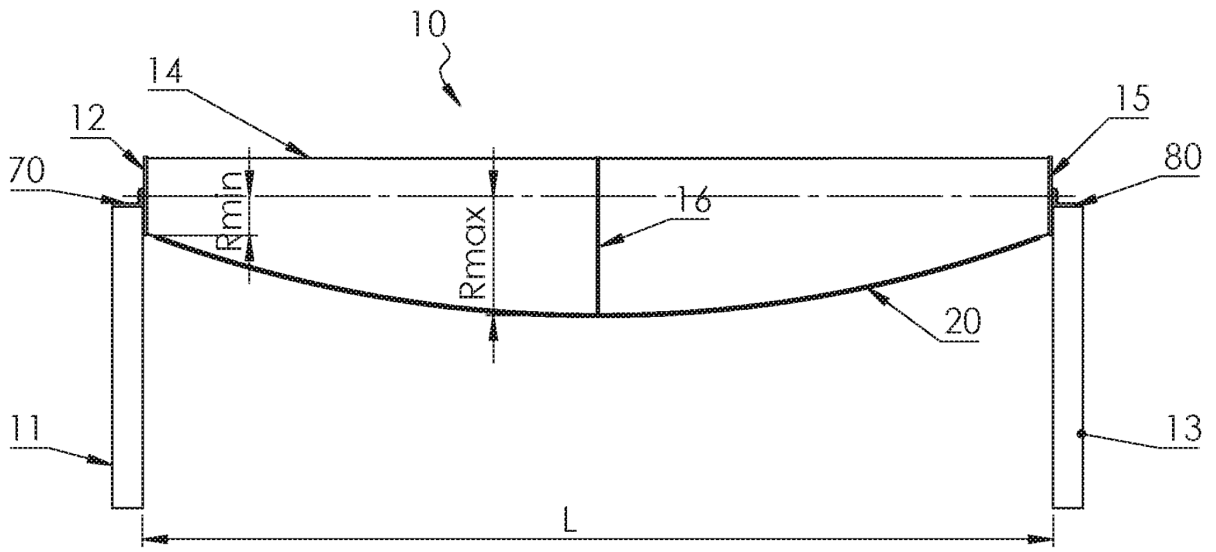


FIG. 1A

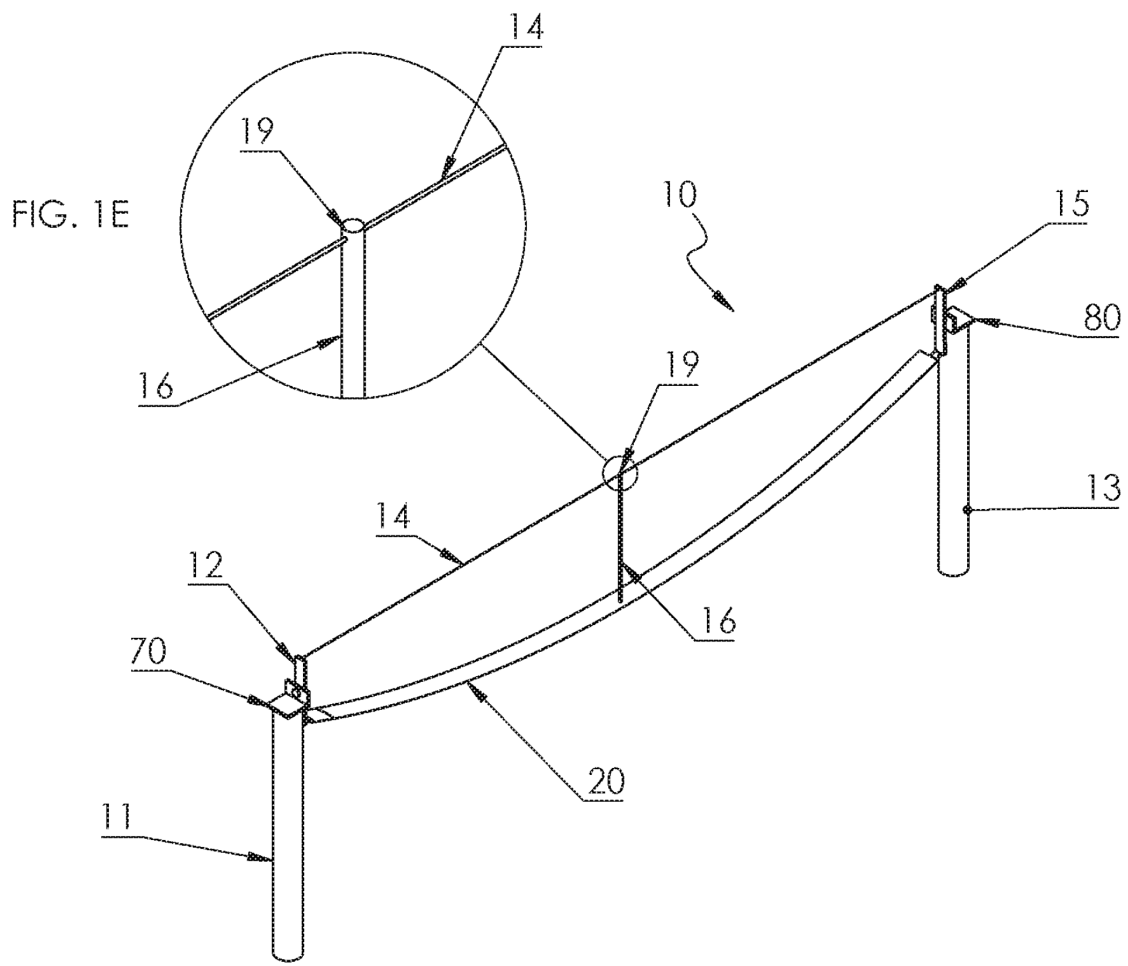


FIG. 1E

FIG. 1B



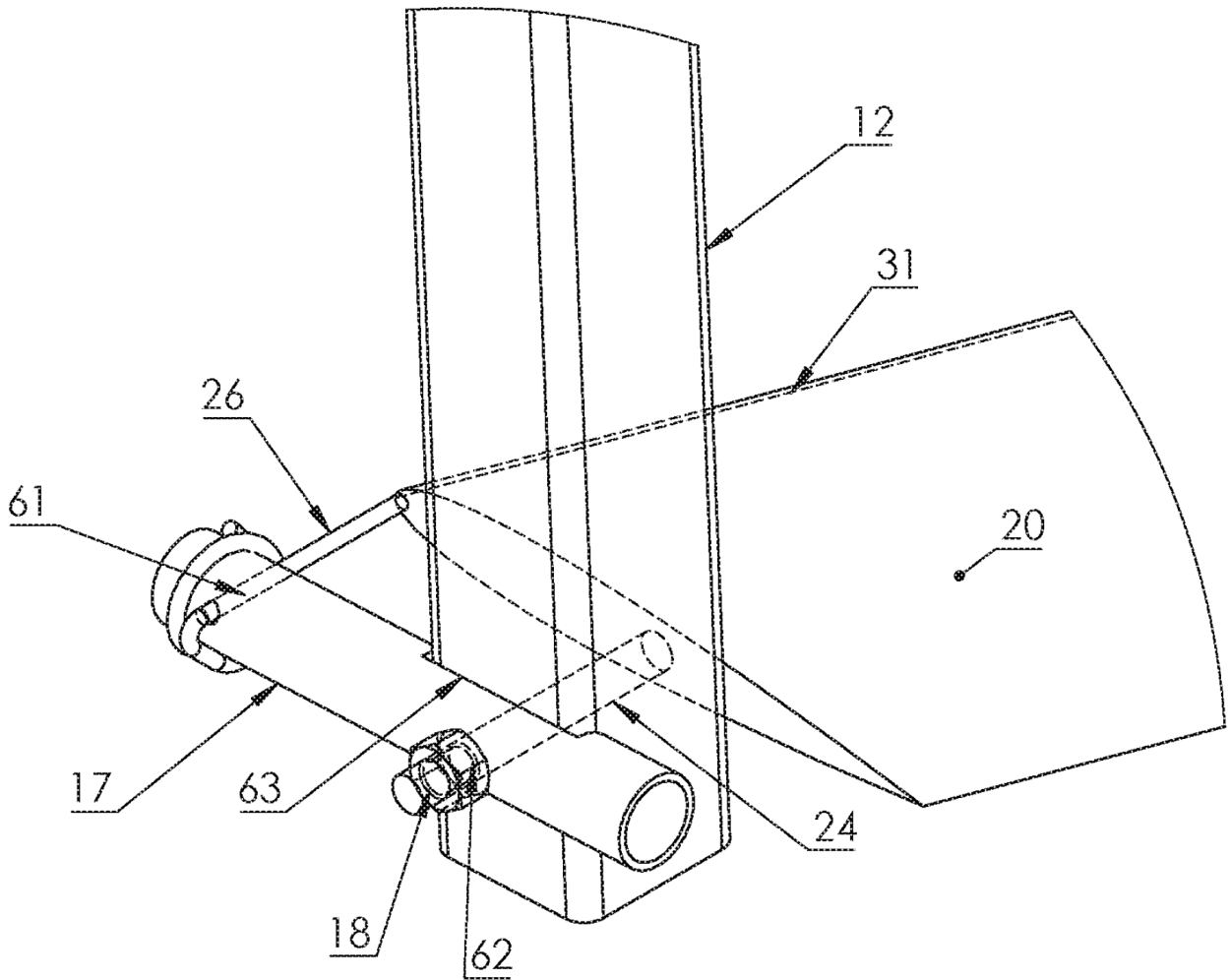


FIG. 1C

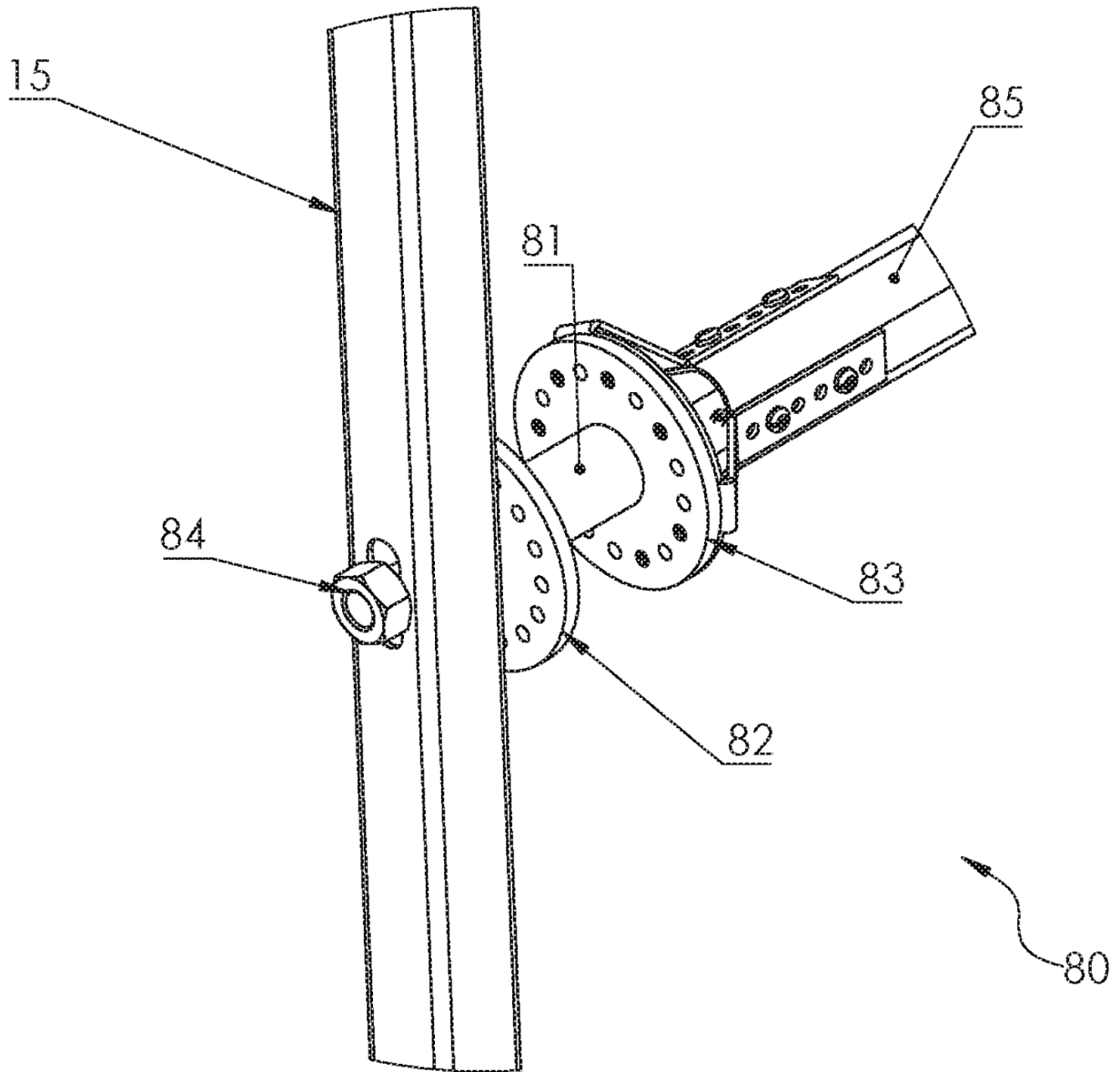


FIG. 1D

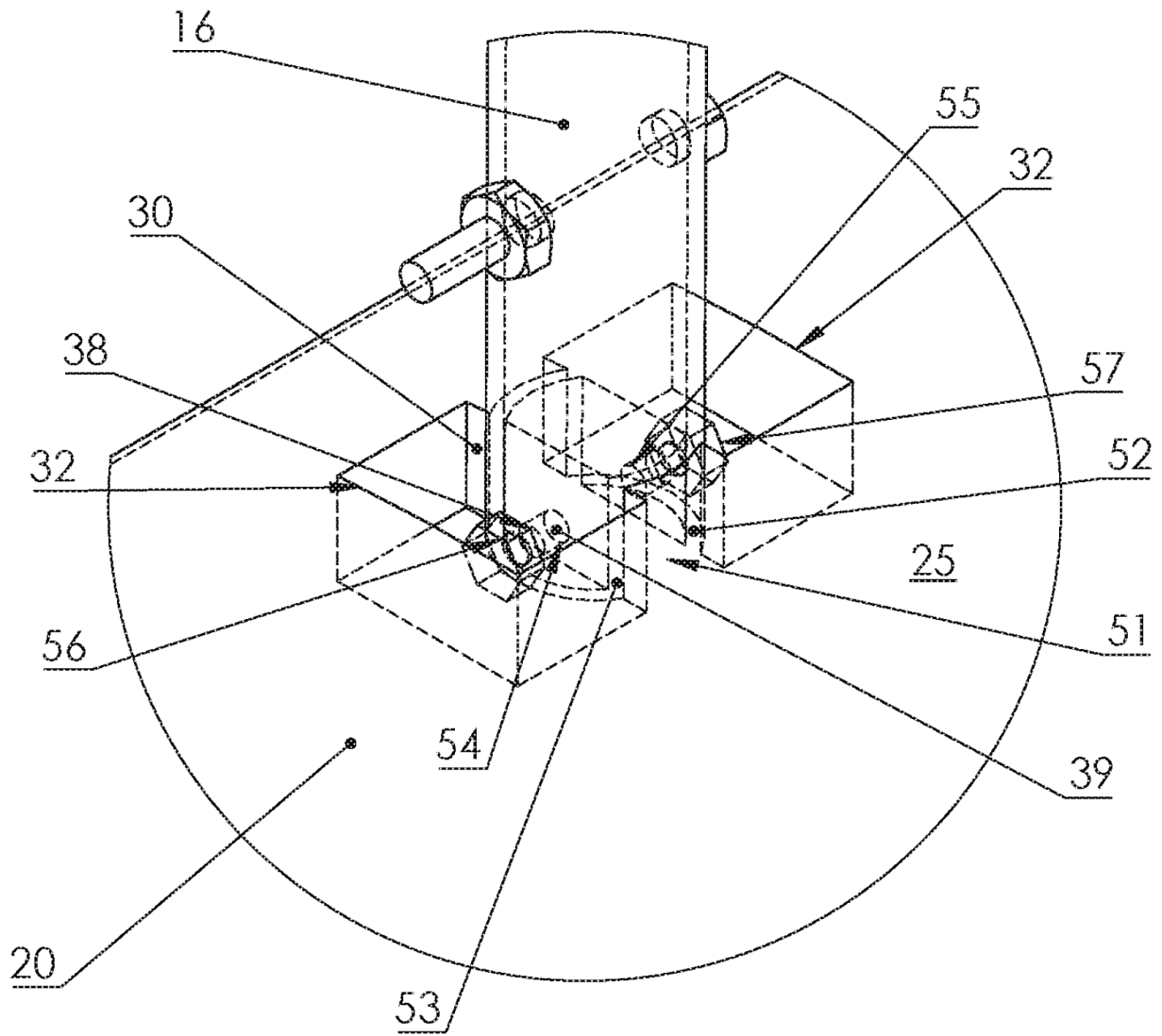


FIG. 1F

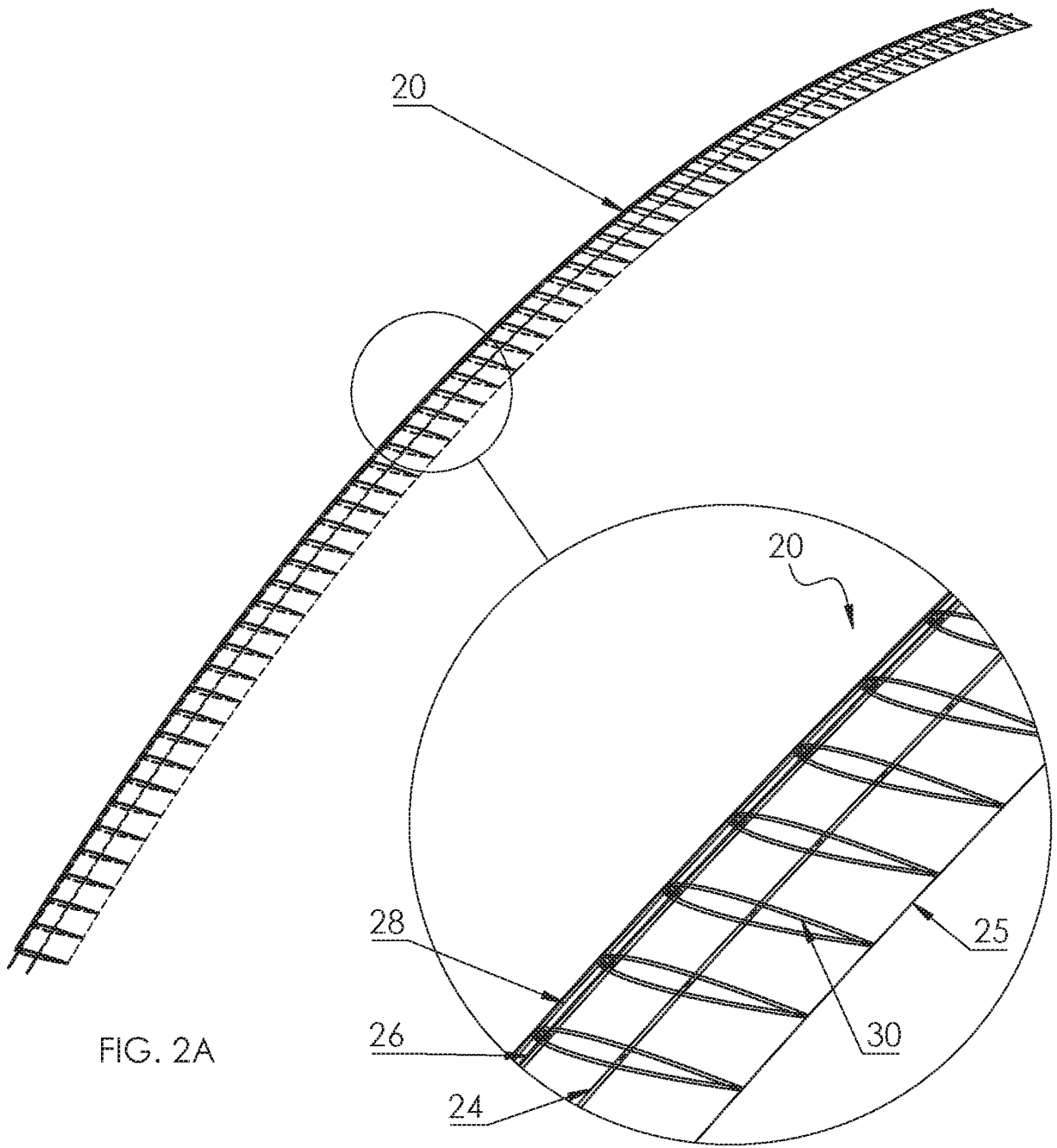
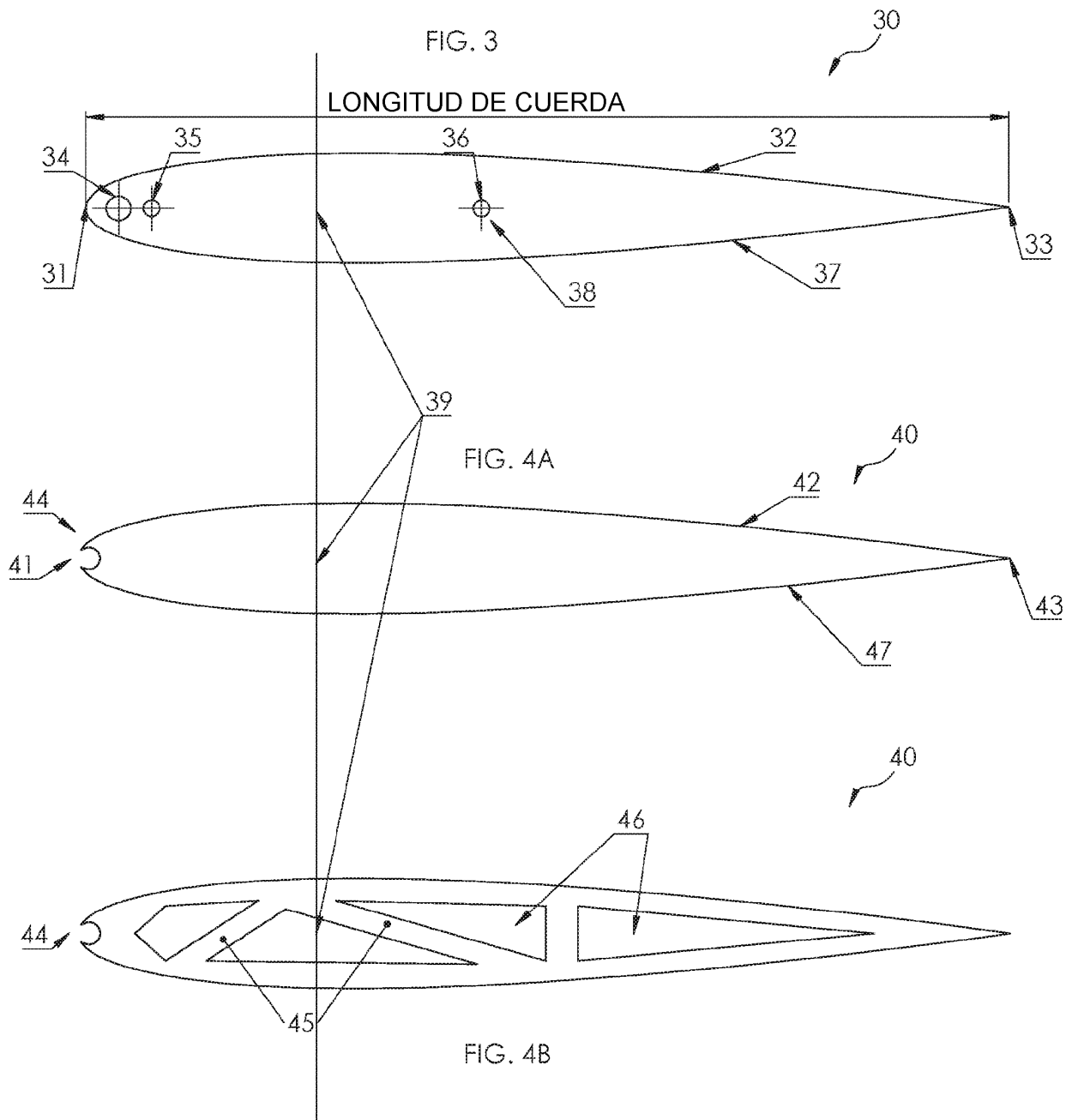


FIG. 2A

FIG. 2B



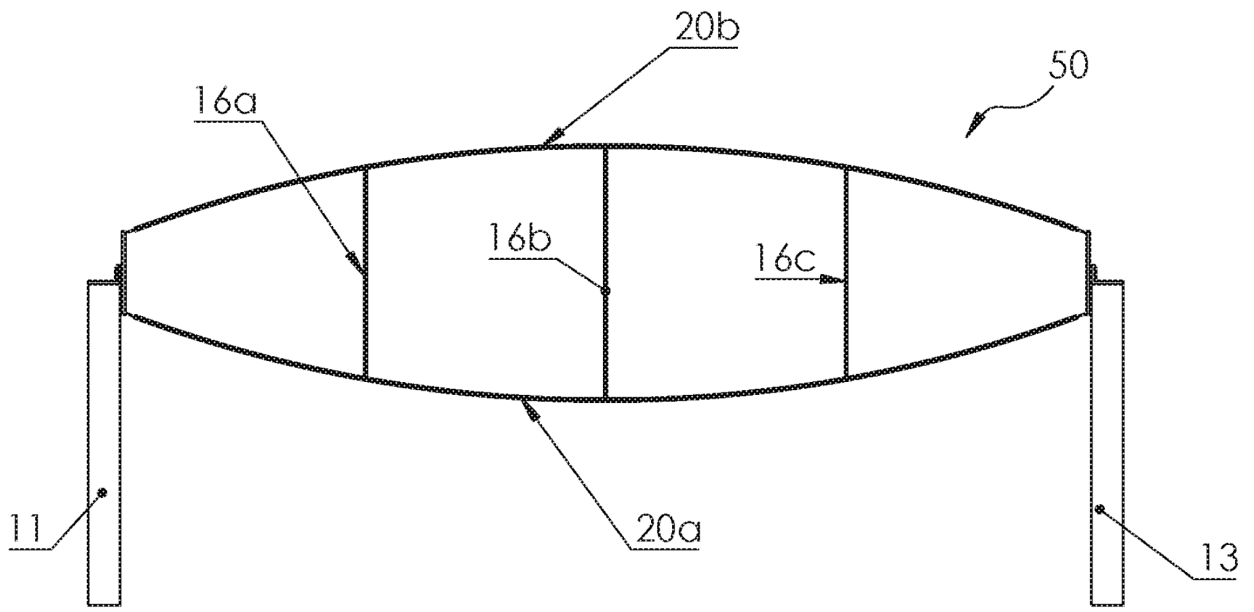


FIG. 5A

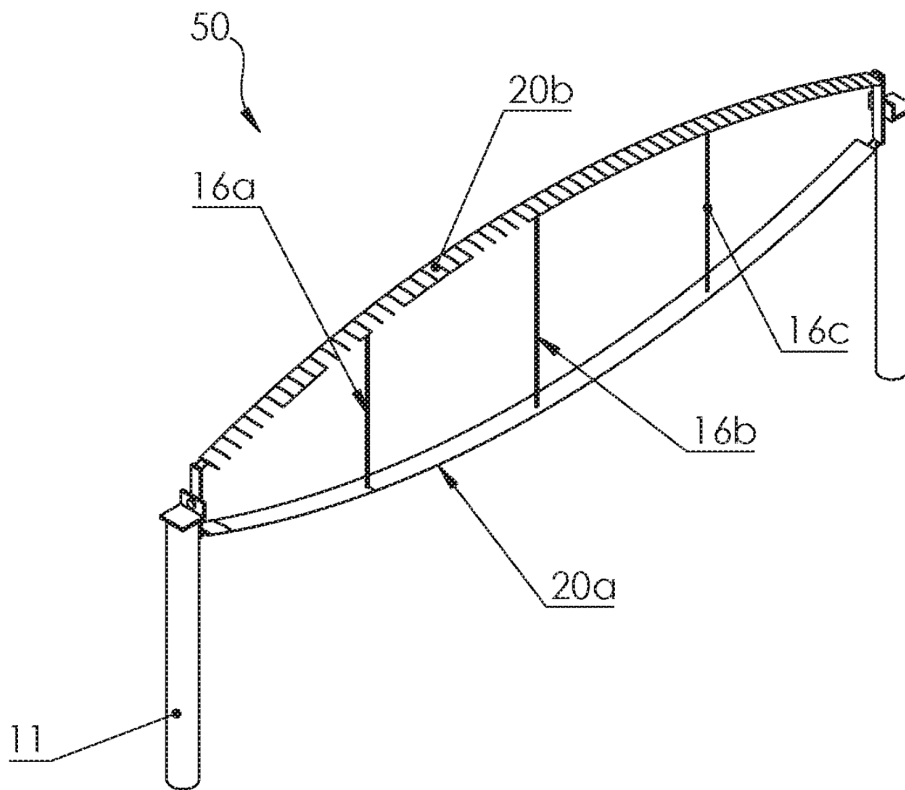


FIG. 5B

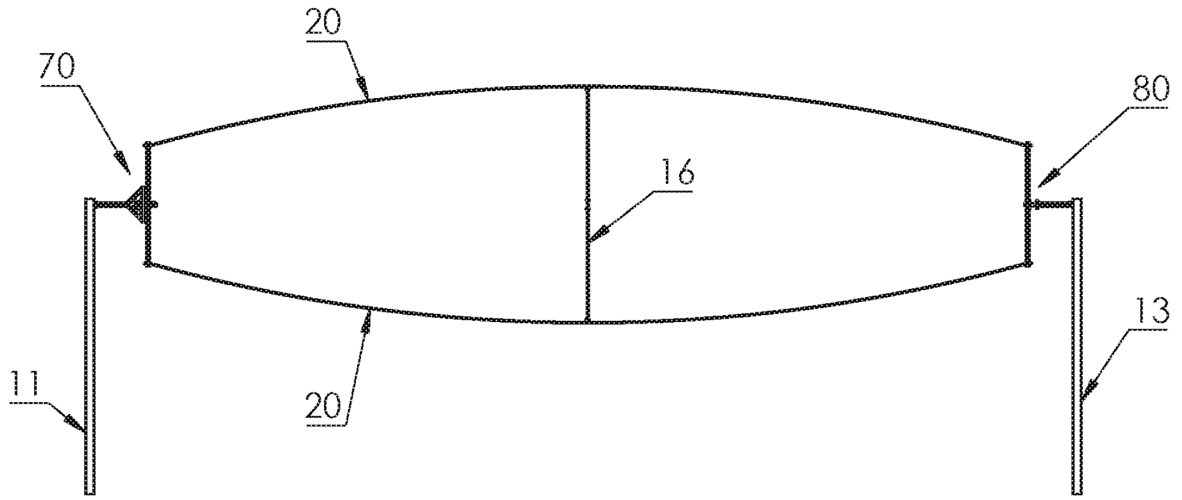


FIG. 6A

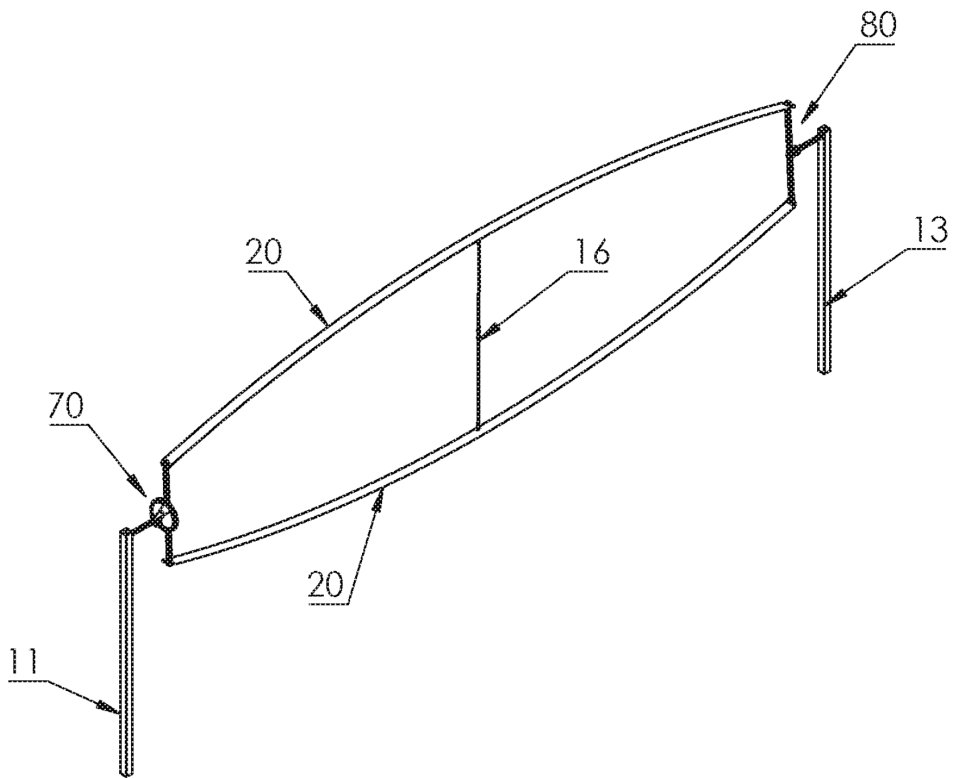
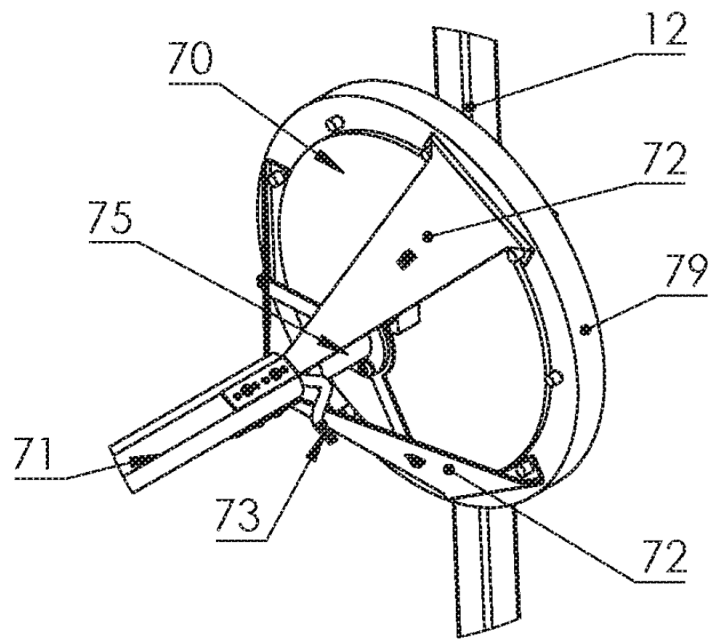
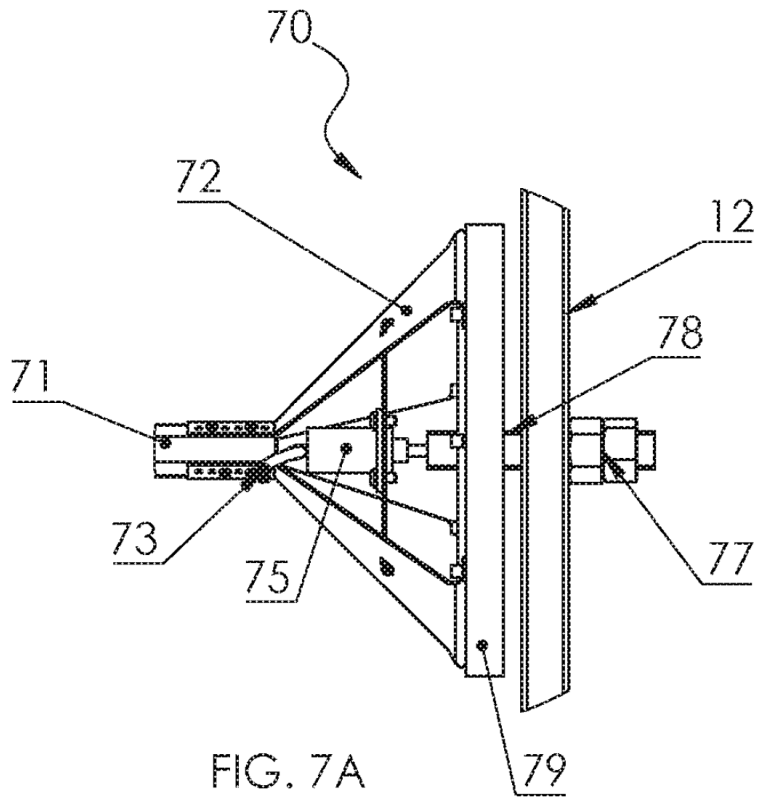


FIG. 6B





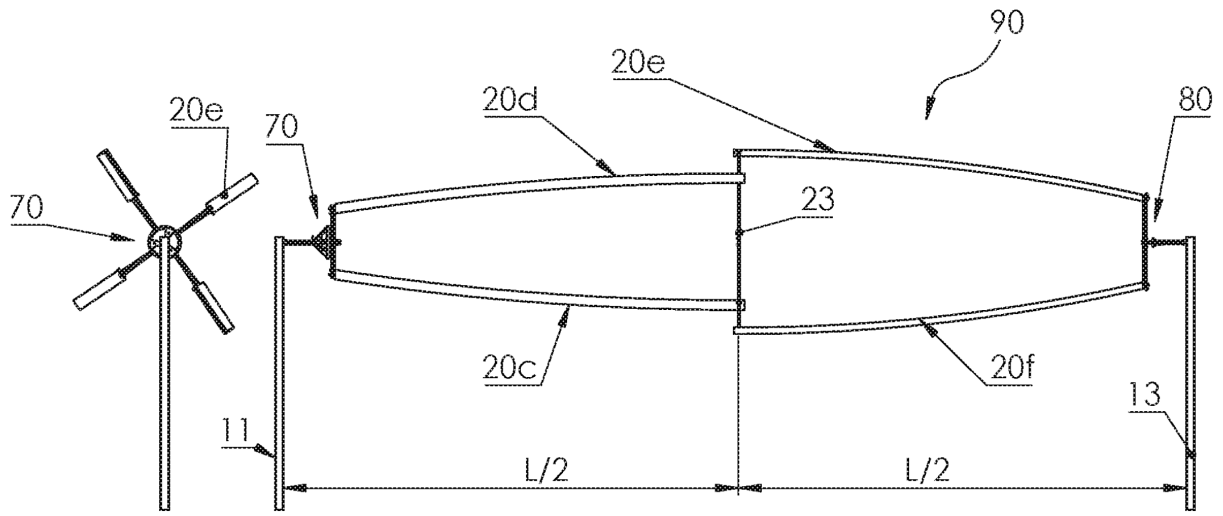


FIG. 8C

FIG. 8A

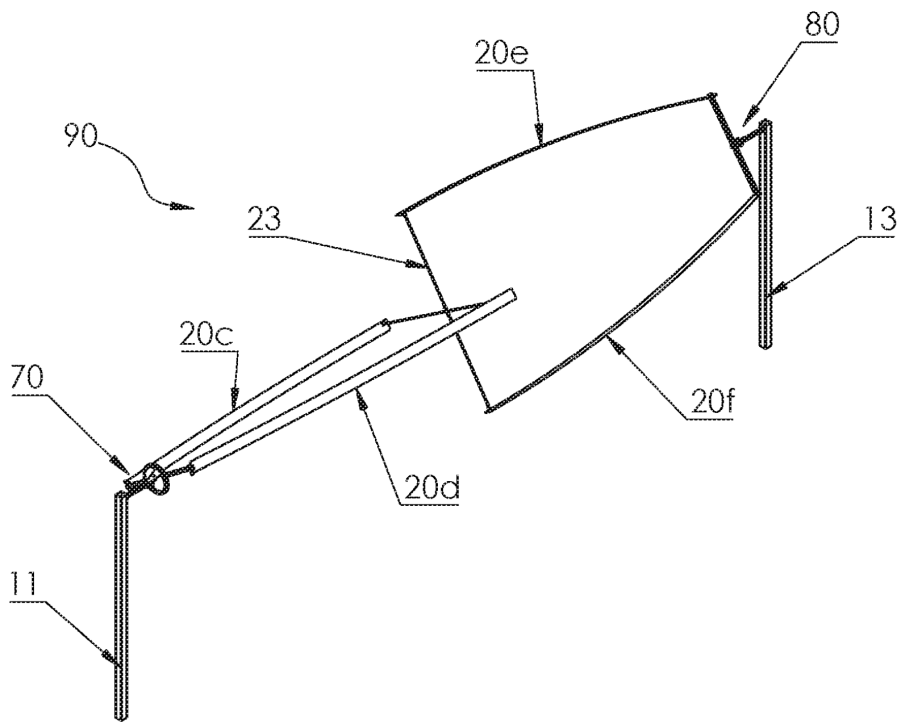


FIG. 8B

<b>Parámetro</b>	<b>Típico</b>	<b>Notas</b>
Altura de soporte (m)	12	
Radio de rotor (m)	6	
Distancia de soporte (m)	48-50	
Peso de ala (kg)	250 (ala única) 250 (doble ala)	Se suponen rachas de 70 m/s; misma solidez de rotor para cada una de las dos alas
RPM	25-80	
Energía anual media (MWh)	90 – 98	Se suponen 4 m/s
	700 - 780	Se suponen 8 m/s
Potencia nominal (kW)	60	Se suponen 8 m/s
	7.5	Se suponen 4 m/s

**FIG. 9**