

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 881 709**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2017 PCT/EP2017/067614**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.01.2018 WO18015254**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2017 E 17736969 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.04.2021 EP 3488099**

54 Título: **Pala de turbina eólica con segmento de raíz de borde plano y procedimiento relacionado**

30 Prioridad:

**19.07.2016 EP 16180109**

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

**30.11.2021**

73 Titular/es:

**LM WIND POWER INTERNATIONAL  
TECHNOLOGY II APS (100.0%)**

**Jupitervej 6  
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**ROBERTS, DAVID y  
RIBER, ALLAN**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

**ES 2 881 709 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

Pala de turbina eólica con segmento de raíz de borde plano y procedimiento relacionado

5 **Campo técnico**

10 [0001] La presente divulgación concierne al campo de la fabricación de partes de pala de turbina eólica. En particular, la presente divulgación se refiere a un molde de pala para fabricar una parte de concha de pala de una pala de turbina eólica y/o a un procedimiento para fabricar una parte de concha de pala de una pala de turbina eólica.

**Antecedentes**

15 [0002] Las palas de turbina eólica de polímero reforzado con fibra y, en particular, las conchas aerodinámicas de las palas de turbina eólica se fabrican normalmente en moldes, donde el lado de presión y el lado de succión de la pala se fabrican por separado disponiendo piezas de tela de fibra de vidrio y/u otro material de refuerzo de fibra, tal como fibra de carbono, en cada una de las dos partes del molde. A continuación, las dos mitades se pegan una a otra, a menudo por medio de unas partes de brida interiores. Se aplica cola a la cara interior de la mitad inferior de la pala antes de bajar la mitad superior de la pala sobre esta. Adicionalmente, a menudo se fija uno o dos perfiles de refuerzo (vigas) dentro de la mitad inferior de la pala antes de pegarla a la mitad superior de la pala.

20 [0003] Las partes de concha aerodinámicas se fabrican típicamente usando de moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (VARTM), donde una pluralidad de piezas de tela de fibra se disponen sobre las partes de un molde rígido y posiblemente también un material de núcleo para proporcionar unas partes que tienen una estructura de emparedado. Cuando las piezas de tela de fibra se han apilado y superpuesto para formar la forma final de la parte de concha de pala de turbina eólica, se dispone una bolsa de vacío flexible encima de las piezas de tela de fibra y se sella contra la parte rígida del molde, formando de este modo una cavidad de molde que contiene las piezas de tela de fibra. Las entradas de resina y las salidas de vacío están conectadas a la cavidad del molde. En primer lugar, la cavidad del molde se evacua por medio de las salidas de vacío para formar una presión negativa en la cavidad de molde, después de lo cual se suministra una cantidad de resina líquida por medio de las entradas de resina. La resina es forzada a entrar en la cavidad del molde debido al diferencial de presión e impregna el material de fibra de las piezas de tela de fibra. Cuando el material de fibra se ha impregnado por completo, la resina se cura para formar la estructura compuesta final, es decir, la parte de concha de pala.

35 [0004] El documento US 2012027588 A1 divulga un conjunto de pala de rotor y un procedimiento para reducir la región de separación de una pala de rotor para una turbina eólica. El conjunto de pala de rotor incluye una aleta que se extiende en la dirección de envergadura en general desde la raíz hacia la punta, en el que la superficie interior de la aleta está montada conformemente en al menos uno del lado de presión, el lado de succión o el borde de salida, definiendo la superficie exterior y al menos uno del lado de presión o el lado de succión una superficie aerodinámica continua en general.

40 [0005] El documento EP 2341241 A1 se refiere a una pala de turbina eólica de múltiples paneles, en la que las secciones transversales de los bordes de los paneles prefabricados colocados en el lado de presión y de succión tienen unas características geométricas variables en el área de borde de salida a lo largo de la pala, con una primera sección de la pala que incluye su punta, en la que la configuración de los bordes de los paneles incluye superficies aplanadas cooperantes para facilitar la unión adhesiva. Estas características geométricas incluyen la posibilidad de usar un tercer panel en una sección de pala cerca de su raíz.

50 [0006] Las palas de turbina eólica que comprenden una sección de borde plano son conocidas en la técnica y se ha demostrado que contribuyen a incrementar la AEP. Sin embargo, incorporar secciones de borde plano en las palas de turbina eólica ha resultado ser una tarea desafiante.

**Breve explicación de la invención**

55 [0007] En consecuencia, existe una necesidad de sistemas y procedimientos que mejoren la calidad de las palas de turbina eólica con secciones de perfil de borde plano (o que al menos disminuyan el riesgo de que se produzcan errores).

60 [0008] En consecuencia, se proporciona una pala de turbina eólica que se extiende desde un extremo de raíz hasta un extremo de punta a lo largo de un eje longitudinal y que comprende una región de raíz, una región de transición y una región de perfil alar, comprendiendo la pala de turbina eólica un contorno perfilado con un borde de ataque y un borde de salida y una cuerda que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida; una concha de pala con una primera parte de concha de pala con un lado de presión y una segunda parte de concha de pala con un lado de succión, extendiéndose la primera y la segunda parte de concha de pala desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta y uniéndose a lo largo de una junta encolada principal; un primer cap de larguero (spar cap) principal integrado en la primera parte de concha de pala; un segundo cap de larguero principal integrado

en la segunda parte de concha de pala; y una o más almas a cortante (shear webs) conectadas entre el primer cap de larguero principal y el segundo cap de larguero principal. La pala de turbina eólica puede comprender una tercera parte de concha de pala que se extiende desde el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. La tercera parte de concha de pala se puede unir a la primera parte de concha de pala a lo largo de una primera junta encolada secundaria y/o a la segunda parte de concha de pala a lo largo de una segunda junta encolada secundaria.

**[0009]** También se proporciona un procedimiento de fabricación de una pala de turbina eólica que se extiende desde un extremo de raíz hasta un extremo de punta a lo largo de un eje longitudinal y que comprende una región de raíz, una región de transición y una región de perfil alar, comprendiendo la pala de turbina eólica un contorno perfilado con un borde de ataque y un borde de salida y una cuerda que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida, una concha de pala con un lado de presión y un lado de succión, un primer cap de larguero principal integrado en el lado de presión de la concha de pala, un segundo cap de larguero principal integrado en el lado de succión de la concha de pala, y una o más almas a cortante conectadas entre el primer cap de larguero principal y el segundo cap de larguero principal. El procedimiento comprende proporcionar una primera parte de armazón de pala y una segunda parte de armazón de pala que se extienden cada una desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta; proporcionar opcionalmente una tercera parte de concha de pala; unir la primera parte de concha de pala y la segunda parte de concha de pala a lo largo de una junta encolada principal; unir opcionalmente la primera parte de concha de pala y la tercera parte de concha de pala a lo largo de una primera junta encolada secundaria; y unir opcionalmente la segunda parte de concha de pala y la tercera parte de concha de pala a lo largo de una segunda junta encolada secundaria; opcionalmente de modo que la tercera parte de concha de pala se extiende desde el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. Proporcionar la tercera parte de concha de pala comprende opcionalmente formar una sección de borde plano en la tercera parte de concha de pala.

**[0010]** La pala y el procedimiento de turbina eólica divulgados proporcionan una flexibilidad de diseño incrementada cuando se diseñan palas de turbina eólica con secciones de borde plano. Además, la presente divulgación permite secciones de borde plano cerca de, o en, el extremo de raíz de la pala de turbina eólica.

**[0011]** La pala y el procedimiento de turbina eólica divulgados evitan ventajosamente unir dos juntas encoladas en una junta encolada en una región de alta tensión, tal como la región de raíz, de la pala de turbina eólica. Por tanto, se proporciona una reducción del riesgo de errores en la región de raíz de la pala de turbina eólica.

**[0012]** La integración de una tercera parte de concha de pala en la sección de borde de salida de la pala evitará comenzar una sección de borde plano donde las tensiones son relativamente altas y unir dos juntas encoladas del borde de salida en una junta encolada.

**[0013]** Una pala de turbina eólica se extiende desde un extremo de raíz hasta un extremo de punta a lo largo de un eje longitudinal y comprende una región de raíz, una región de transición y una región de perfil alar. La región de transición de la parte de pala de turbina eólica comprende un saliente que define una cuerda máxima de la pala de turbina eólica.

**[0014]** El procedimiento y/o los sistemas se refieren ventajosamente a la fabricación de palas de turbina eólica, por ejemplo, que tienen una longitud de pala de al menos 40 metros, o al menos 45 metros o incluso al menos 50 metros. Las palas de turbina eólica se pueden doblar previamente de modo que, cuando se monten en una turbina eólica horizontal con configuración a barlovento en un estado sin carga, se curvarán hacia adelante fuera del plano del rotor de modo que se incrementa la separación entre la punta y la torre. Una pala de turbina eólica tiene un extremo de punta y un extremo de raíz con una superficie interior y una superficie exterior. La superficie interior de una pala de turbina eólica o una parte de concha de pala es una superficie que no está expuesta al entorno cuando la pala de turbina eólica está ensamblada. La superficie exterior de una pala de turbina eólica de una parte de concha de pala es una superficie que está expuesta al entorno cuando la pala de turbina eólica está ensamblada.

**[0015]** La pala de turbina eólica comprende un contorno perfilado con un borde de ataque y un borde de salida y una cuerda que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida.

**[0016]** La pala de turbina eólica tiene una concha de pala y comprende una primera parte de concha de pala con un lado de presión y una segunda parte de concha de pala con un lado de succión, extendiéndose la primera y la segunda partes de concha de pala desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta y uniéndose a lo largo de una junta encolada principal. La junta encolada principal puede estar en el borde de ataque. La concha de pala comprende un primer cap de larguero principal integrado en la primera parte de concha de pala; un segundo cap de larguero principal integrado en la segunda parte de concha de pala; y una o más almas a cortante, tales como un alma a cortante principal y/o un alma a cortante secundaria. Las una o más almas a cortante están conectadas opcionalmente entre el primer cap de larguero principal y el segundo cap de larguero principal.

**[0017]** La pala de turbina eólica puede comprender una tercera parte de concha de pala que se extiende opcionalmente desde el extremo de raíz y/o la región de raíz de la pala de turbina eólica. La tercera parte de concha de pala se puede unir a la primera parte de concha de pala a lo largo de una primera junta encolada secundaria

- y/o a la segunda parte de concha de pala a lo largo de una segunda junta encolada secundaria. La tercera parte de concha de pala se puede extender dentro de la región de transición y/o dentro de la región de perfil alar. La tercera parte de concha de pala puede formar al menos una parte del borde de salida de la pala de turbina eólica. La tercera parte de concha de pala puede formar al menos un 1 % de la circunferencia de la concha de pala de turbina eólica en el extremo de raíz, tal como al menos un 5 %, tal como al menos un 10 %, tal como al menos un 15 % o tal como al menos al menos un 20 % de la circunferencia de la concha de pala de turbina eólica en el extremo de raíz.
- [0018]** La primera parte de concha de pala y la segunda parte de concha de pala se unen a lo largo de una junta encolada secundaria. La primera junta encolada secundaria y la segunda junta encolada secundaria se unen en la junta encolada secundaria a una distancia de unión del extremo de raíz. La distancia de unión puede estar en el intervalo de  $0,2 * L$  a  $0,8 * L$ , donde L es la longitud de pala de la pala de turbina eólica.
- [0019]** La superficie exterior de la parte de concha puede formar, al menos en una primera sección transversal perpendicular al eje longitudinal, tal como en el extremo de raíz o a una distancia del extremo de raíz, un segmento de línea recta y/o un segmento de línea cóncava, por ejemplo, formando una sección de borde plano en el borde de salida. El segmento de línea recta puede tener una longitud de al menos  $0,3 * t$ , donde t es el grosor máximo de la pala de turbina eólica en la respectiva sección transversal.
- [0020]** El armazón de pala, tal como la tercera parte de armazón de pala, puede comprender una sección de borde plano o al menos parte de la misma en el borde de salida, extendiéndose la sección de borde plano desde una primera distancia de borde plano del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal hasta una segunda distancia de borde plano del extremo de raíz. Por tanto, la sección de borde plano comienza en la primera distancia de borde plano y termina en la segunda distancia de borde plano. La primera distancia de borde plano puede ser inferior a 3 m, tal como en el intervalo de 1 m a 2,5 m. En una o más palas de turbina eólica ejemplares, la primera distancia de borde plano está en el intervalo de 1 m a 2 m, por ejemplo, aproximadamente 1,5 m o aproximadamente 1,7 m. En una o más palas de turbina eólica ejemplares, la primera distancia de borde plano puede ser inferior a 1 m. En una o más palas de turbina eólica ejemplares, la primera distancia de borde plano puede ser de 0 m. La segunda distancia de borde plano puede ser mayor de  $0,3 * L$ , tal como mayor de  $0,4 * L$ , donde L es la longitud de pala de la pala de turbina eólica. En una o más palas de turbina eólica ejemplares, la segunda distancia de borde plano puede ser mayor de  $0,5 * L$ , donde L es la longitud de pala de la pala de turbina eólica.
- [0021]** La sección de borde plano puede tener una longitud en el intervalo de  $0,01 * L$  a  $0,70 * L$ , donde L es la longitud de pala de la pala de turbina eólica.
- [0022]** La sección de borde plano o al menos una(s) parte(s) de la misma puede(n) tener una altura máxima en el intervalo de  $0,30 * t$  a t, donde t es el grosor de la pala de turbina eólica. La sección de borde plano puede tener, a una primera distancia del intervalo de 1 a 2 metros del extremo de raíz, una altura mayor de  $0,5 * t$ . La sección de borde plano puede tener, a una segunda distancia del intervalo de 2 a 3 metros del extremo de raíz, una altura superior a  $0,7 * t$ .
- [0023]** La primera junta encolada secundaria puede estar dispuesta entre el borde de salida y el primer cap de larguero principal. La segunda junta encolada secundaria puede estar dispuesta entre el borde de salida y el segundo cap del larguero principal.
- [0024]** Un eje de referencia puede estar, por ejemplo, en la región de raíz de la pala de turbina eólica y/o en la región de transición de la pala de turbina eólica, y ser un eje perpendicular al eje de pitch, que cruza el borde de ataque y el eje de pitch.
- [0025]** Un primer eje cruza la primera junta encolada secundaria y es perpendicular al eje longitudinal y/o al eje de pitch de la pala de turbina eólica. El primer eje puede cruzar, por ejemplo, en la región de raíz o a una distancia inferior a 5 m del extremo de raíz, el eje de pitch de la pala de turbina eólica.
- [0026]** Un segundo eje cruza la segunda junta encolada secundaria y es perpendicular al eje longitudinal y/o al eje de pitch de la pala de turbina eólica. El segundo eje puede cruzar, por ejemplo, en la región de raíz o a una distancia inferior a 5 m del extremo de raíz, el eje de pitch de la pala de turbina eólica.
- [0027]** Un primer ángulo también denotado por V1 entre el primer eje y el eje de referencia puede ser mayor de 15 grados, por ejemplo, al menos a una primera distancia y/o una segunda distancia del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal. El primer ángulo V1 puede estar, al menos a una distancia de 2 m, 3 m o 6,5 m del extremo de raíz, y ser mayor de 40 grados, tal como mayor de 50 grados. El primer ángulo V1 puede estar, al menos a una distancia menor de 2 m del extremo de raíz, tal como en el extremo de raíz, y ser mayor de 30 grados, tal como mayor de 50 grados.
- [0028]** En una o más palas de turbina eólica ejemplares, el primer ángulo está, por ejemplo, a una primera distancia y/o una segunda distancia del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal, en el intervalo de 30 grados

a 80 grados.

**[0029]** Un segundo ángulo denotado también por V2 entre el eje de referencia y el segundo eje puede ser mayor de 0 grados, por ejemplo, y estar al menos a una primera distancia y/o una segunda distancia del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal. El segundo ángulo V2 puede estar, al menos a una distancia de 6,5 m del extremo de raíz, y ser mayor de 0 grados.

**[0030]** En una o más palas de turbina eólica ejemplares, el segundo ángulo está, por ejemplo, a una primera distancia y/o una segunda distancia del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal, en el intervalo de 0 grados a 10 grados.

**[0031]** En una o más palas de turbina eólica ejemplares, un ángulo también denotado por V3 entre el primer eje y el segundo eje puede estar, por ejemplo, a una primera distancia y/o una segunda distancia del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal, y ser mayor de 20 grados.

**[0032]** El ángulo V3 entre el primer eje y el segundo eje puede estar, al menos a una distancia de 2 m, 3 m o 6,5 m del extremo de raíz, y ser mayor de 40 grados, tal como mayor de 50 grados. El ángulo V3 entre el primer eje y el segundo eje puede estar, al menos a una distancia de 2 m y/o 3 m del extremo de raíz, y ser mayor de 50 grados, por ejemplo, en el intervalo de 60 grados a 70 grados.

**[0033]** El ángulo V3 puede estar, por ejemplo, a una distancia menor de 2 m del extremo de raíz, tal como en el extremo de raíz, y ser mayor de 30 grados, por ejemplo, mayor de 50 grados.

**[0034]** La tabla 1 muestra unas características de las secciones transversales C0, C1, ..., C8 de unas palas de turbina eólica ejemplares de acuerdo con la invención. En la tabla 1,  $D_{root}$  es la distancia de la sección transversal al extremo de raíz, LS es la longitud del segmento de línea recta, V1 es el primer ángulo, V2 es el segundo ángulo y V3 es el ángulo entre el primer eje y el segundo eje.

Tabla 1. Secciones transversales de palas de turbina eólica ejemplares

|            | C0               | C1               | C2               | C3                                | C4                                | C5                  | C6                         | C7                        | C8                        |
|------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $D_{root}$ | 0                | $0,01 * L$       | 1 m              | 2 m                               | 3 m                               | $0,1 * L$           | $0,2 * L$                  | $0,3 * L$                 | $0,4 * L$                 |
| LS         | de 0 a $0,3 * t$ | de 0 a $0,3 * t$ | de 0 a $0,3 * t$ | $>0,4 * t$ o $>1$ m               | $>0,4 * t$ o $>1$ m               | $>0,4 * t$ o $>1$ m | $>0,5 * t$ o $>0,5$ m      | $>0,5 * t$ o $>0,1$ m     | de 0 a 0,5 m              |
| V1         | $>15^\circ$      | $>15^\circ$      | $>15^\circ$      | $>30^\circ$ o $\geq 50^\circ$     | $>30^\circ$ o $\geq 50^\circ$     | $>30^\circ$         | de $0^\circ$ a $30^\circ$  | de $0^\circ$ a $30^\circ$ | de $0^\circ$ a $30^\circ$ |
| V2         | $\geq 0^\circ$   | $\geq 0^\circ$   | $\geq 0^\circ$   | $\geq 0^\circ$                    | $\geq 0^\circ$                    | $>0^\circ$          | de $0^\circ$ a $30^\circ$  | de $0^\circ$ a $30^\circ$ | de $0^\circ$ a $30^\circ$ |
| V3         | $>15^\circ$      | $>15^\circ$      | $>15^\circ$      | $\geq 30^\circ$ o $\geq 50^\circ$ | $\geq 30^\circ$ o $\geq 50^\circ$ | $\geq 30^\circ$     | de $10^\circ$ a $30^\circ$ | de $0^\circ$ a $10^\circ$ | de $0^\circ$ a $10^\circ$ |

**[0035]** La tabla 2 muestra características de palas de turbina eólica ejemplares B1, ..., B4 de acuerdo con la invención. En la tabla 2, D1 es la primera distancia de borde plano, D2 es la segunda distancia de borde plano, LF es la longitud de la sección de borde plano.

Tabla 2. Palas de turbina eólica ejemplares

|                                 | B1         | B2                                 | B3         | B4         |
|---------------------------------|------------|------------------------------------|------------|------------|
| D1                              | $<2$ m     | $<2$ m                             | $<3$ m     | $<3$ m     |
| D2                              | $>0,2 * L$ | $>0,4 * L$                         | $>0,3 * L$ | $>0,3 * L$ |
| LF                              | $>0,2 * L$ | $>0,4 * L$                         | $>0,3 * L$ | $>0,3 * L$ |
| Secciones transversales de pala | C3         | C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 | C3, C4, C5 | C1, C2, C3 |

**[0036]** El procedimiento divulgado se puede usar para la fabricación de una pala de turbina eólica como se describe en el presente documento. Las características descritas en relación con la pala de turbina eólica también pueden aparecer en el procedimiento y/o viceversa.

**Descripción detallada**

**[0037]** La invención se explica en mayor detalle a continuación con referencia a los dibujos, en los que

la FIG. 1 muestra una turbina eólica,

la FIG. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica,

5 la FIG. 3 muestra una vista esquemática de un perfil alar,

la FIG. 4 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica, vista desde arriba y desde el lateral y

10 la FIG. 5 muestra una sección transversal de una pala de turbina eólica ejemplar de acuerdo con la invención,

la FIG. 6 muestra una sección transversal de una pala de turbina eólica ejemplar de acuerdo con la invención y

15 la FIG. 7 muestra una vista en perspectiva parcialmente seccionada de una pala de turbina eólica ejemplar.

**[0038]** La presente invención se refiere a la fabricación de partes de concha de pala de palas de turbina eólica para turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT).

20 **[0039]** La FIG. 1 ilustra una turbina eólica a barlovento moderna convencional de acuerdo con el denominado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, teniendo cada una una raíz de pala 16 más cercana al buje y una punta de pala 14 más alejada del buje 8. El rotor tiene un radio denotado por R.

25 **[0040]** La FIG. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica 10 ejemplar. La pala de turbina eólica 10 tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional con un extremo de raíz y un extremo de punta y comprende una región de raíz 30 más cercana al buje, una región perfilada o de perfil alar 34 más alejada del buje y una región de transición 32 entre la región de raíz 30 y la región de perfil alar 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 orientado en la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el buje, y un borde de salida 20 orientado en la dirección opuesta del borde de ataque 18.

30 **[0041]** La región de perfil alar 34 (también denominada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de sustentación, mientras que, debido a consideraciones estructurales, la región de raíz 30 tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, lo que, por ejemplo, hace que el montaje de la pala 10 en el buje sea más fácil y seguro. El diámetro (o la cuerda) de la región de raíz 30 puede ser constante a lo largo de toda el área de raíz 30. La región de transición 32 tiene un perfil de transición que cambia gradualmente desde la forma circular o elíptica de la región de raíz 30 hasta el perfil alar de la región de perfil alar 34. La longitud de la cuerda de la región de transición 32 se incrementa típicamente con el incremento de la distancia  $r$  desde el buje. La región de perfil alar 34 tiene un perfil alar con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. La anchura de la cuerda disminuye al incrementarse la distancia  $r$  desde el buje.

35 **[0042]** Un saliente 40 de la pala 10 se define como la posición donde la pala 10 tiene su mayor longitud de cuerda. El saliente 40 se proporciona típicamente en el límite entre la región de transición 32 y la región de perfil alar 34.

40 **[0043]** Cabe destacar que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, ya que la pala puede estar torcida y/o curvada (es decir, doblada previamente), proporcionando por tanto al plano de cuerda un correspondiente recorrido torcido y/o curvado, siendo este caso el más frecuente para compensar la dependencia que la velocidad local de la pala tiene con el radio desde el buje.

45 **[0044]** La pala de turbina eólica 10 comprende una concha que comprende dos partes de concha de pala hechas con polímero reforzado con fibra, y típicamente se realiza como un lado de presión o una parte de concha de pala a barlovento 24 y un lado de succión o una parte de concha a sotavento 26 que se pegan entre sí a lo largo de unas líneas de adhesión o juntas encoladas 28 que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y el borde de ataque 18 de la pala 10. Típicamente, los extremos de raíz de las partes de concha de pala 24, 26 tienen una forma de sección transversal exterior semicircular o semiovalada.

50 **[0045]** Las FIGS. 3 y 4 representan parámetros que se pueden usar para explicar las características geométricas de las partes de concha de pala que se van a fabricar de acuerdo con la invención.

55 **[0046]** La FIG. 3 muestra una vista esquemática de un perfil alar 50 de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros, que se usan típicamente para definir la forma geométrica de un perfil alar. El perfil alar 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que durante el uso, es decir, durante la rotación del rotor, normalmente están orientados hacia el lado en dirección contraria al viento (o barlovento) y el lado en la dirección del viento (o sotavento), respectivamente. El perfil alar 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El perfil alar 50 tiene

un grosor  $t$ , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El grosor  $t$  del perfil alar varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico viene dada por una línea de curvatura 62, que es una línea mediana a través del perfil alar 50. La línea mediana se puede encontrar dibujando círculos inscritos desde el borde de ataque 56 hasta el borde de salida 58. La línea mediana sigue los centros de estos círculos inscritos, y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se denomina curvatura  $f$ . La asimetría también se puede definir mediante el uso de parámetros denominados curvatura superior (o curvatura de lado de succión) y curvatura inferior (o curvatura de lado de presión), que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52, respectivamente.

5  
10  
15  
[0047] Los perfiles alares se caracterizan a menudo mediante los siguientes parámetros: la longitud de la cuerda  $c$ , la curvatura máxima  $f$ , la posición  $df$  de la curvatura máxima  $f$ , el grosor de perfil alar máximo  $t$ , que es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea mediana de curvatura 62, la posición  $d_t$  del grosor máximo  $t$ , y un radio de cono (no mostrado). Estos parámetros se definen típicamente como proporciones con respecto a la longitud de la cuerda  $c$ . Por tanto, se da un grosor de pala local relativo  $t/c$  como la proporción entre el grosor local máximo  $t$  y la longitud de cuerda local  $c$ . Además, la posición  $d_p$  de la curvatura de lado de presión máxima se puede usar como parámetro de diseño y, por supuesto, también la posición de la curvatura de lado de succión máxima.

20  
25  
[0048] La FIG. 4 muestra otros parámetros geométricos de la pala y las partes de concha de pala. Las palas y las partes de concha de pala tienen una longitud de pala total  $L$ . Como se muestra en la FIG. 3, el extremo de raíz está localizado en la posición  $r = 0$ , y el extremo de punta está localizado en  $r = L$ . El saliente 40 de las partes de concha de pala está localizado en una posición  $r = L_w$ , y tiene una anchura de saliente  $W$ , que es igual a la longitud de cuerda en el saliente 40. El diámetro del raíz se define como  $X$ . Además, la pala/partes de concha de pala están provistas de un predoblez, que se define como  $\Delta y$ , que corresponde a la deflexión fuera de plano desde un eje de pitch 22 de la pala.

30  
35  
[0049] La FIG. 5 muestra una sección transversal en la región de raíz de una pala de turbina eólica ejemplar, siendo la sección transversal perpendicular al eje longitudinal a una distancia a lo largo del eje longitudinal, tal como a una distancia inferior a 5 m del extremo de raíz, tal como en el extremo de raíz. La pala de turbina eólica 100 comprende un contorno perfilado 102 con un borde de ataque 104 y un borde de salida 106 y una cuerda 108 que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida. La pala de turbina eólica comprende una primera parte de concha de pala 110 con un lado de presión 112 y una segunda parte de concha de pala 114 con un lado de succión 116, extendiéndose la primera y la segunda partes de concha de pala desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta y uniéndose a lo largo de una junta encolada principal 118 en el borde de ataque 104. La pala de turbina eólica comprende un primer cap de larguero principal integrado en la primera parte de concha de pala, un segundo cap de larguero principal integrado en la segunda parte de concha de pala, y un alma a cortante principal y un alma a cortante secundaria conectadas entre el primer cap de larguero principal y el segundo cap de larguero principal.

40  
45  
[0050] La pala de turbina eólica 100 comprende una tercera parte de concha de pala 128 que se extiende desde el extremo de raíz de la pala de turbina eólica y forma al menos una parte del borde de salida. La tercera parte de concha de pala 128 está unida a la primera parte de concha de pala 110 a lo largo de una primera junta encolada secundaria 130 y a la segunda parte de concha de pala 114 a lo largo de una segunda junta encolada secundaria 132.

50  
55  
[0051] La superficie exterior de la tercera parte de concha de pala 128 forma o comprende un segmento de línea recta 134 que forma una sección de borde plano en el borde de salida 106. El segmento de línea recta 134 tiene una longitud  $LS$  de al menos  $0,3 * t$ , donde  $t$  es el grosor máximo de la pala de turbina eólica en la sección transversal. En la sección transversal ilustrada,  $LS = 0,5 * t$ . La superficie exterior de la tercera parte de concha de pala 128 puede formar y/o comprender un segmento de línea cóncava. En una o más palas de turbina eólica ejemplares,  $LS$  es de aproximadamente 1,7 m, por ejemplo, a una distancia de 2 m y/o a una distancia de 3 m y/o a una distancia de 6,5 m del extremo de raíz. En una o más palas de turbina eólica ejemplares,  $LS > 1,7$  m, por ejemplo, a una distancia de 2 m y/o a una distancia de 3 m y/o a una distancia de 6,5 m del extremo de raíz.

60  
65  
[0052] Un primer eje  $X1$  es perpendicular al eje de pitch 136 y cruza la primera junta encolada secundaria 130 y el eje de pitch 136. Un primer ángulo  $V1$  entre el primer eje  $X1$  y el eje de referencia  $R$  es de 32 grados. El eje de referencia  $R$  es perpendicular al eje de pitch 136 y cruza el borde de ataque 104 y el eje de pitch 136. Un segundo eje  $X2$  es perpendicular al eje de pitch 136 y cruza la segunda junta encolada secundaria 132 y el eje de pitch 136. Un segundo ángulo  $V2$  entre el segundo eje  $X2$  y el eje de referencia  $R$  es 32. El ángulo  $V3$  entre el primer eje  $X1$  y el segundo eje  $X2$  es de 64 grados. En una o más palas de turbina eólica ejemplares,  $V1$  puede ser de 65 grados y/o  $V2$  puede ser de 0 grados, por ejemplo, a una distancia de 2 m del extremo de raíz. En una o más palas de turbina eólica ejemplares,  $V3$  puede ser mayor de 60 grados, por ejemplo, a una distancia de 2 m y/o a una distancia de 3 m del extremo de raíz.

[0053] La FIG. 6 muestra una sección transversal en la región de raíz de una pala de turbina eólica ejemplar, siendo la sección transversal perpendicular al eje longitudinal a una distancia a lo largo del eje longitudinal, tal

como a una distancia inferior a 5 m del extremo de raíz, tal como en el extremo de raíz.

**[0054]** El primer ángulo V1 entre el primer eje X1 y el eje de referencia R es de 48 grados. El eje de referencia R es perpendicular al eje de pitch 136 y cruza el borde de ataque 104 y el eje de pitch 136. El primer eje X1 es perpendicular al eje de pitch 136 y cruza la primera junta encolada secundaria 130 y el eje de pitch 136.

**[0055]** Un segundo ángulo V2 entre el segundo eje X2 y el eje de referencia R es de 49 grados. El segundo eje X2 es perpendicular al eje de pitch 136 y cruza la segunda junta encolada secundaria 132 y el eje de pitch 136. El ángulo V3 entre el primer eje X1 y el segundo eje X2 es de 97 grados.

**[0056]** La FIG. 7 muestra una vista en perspectiva parcialmente seccionada de una parte de una pala de turbina eólica ejemplar. La pala de turbina eólica 100 comprende una sección de borde plano 138 en el borde de salida de la pala de turbina eólica. La sección de borde plano 138 está formada en la tercera parte de concha de pala 128 entre la primera junta encolada secundaria 130 y la segunda junta encolada secundaria 132. La sección de borde plano 138 se extiende desde una primera distancia de borde plano D1 desde el extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal hasta una segunda distancia de borde plano D2 desde el extremo de raíz. En la pala de turbina eólica ilustrada, la sección de borde plano comienza a una primera distancia de borde plano de menos de 2 m, por ejemplo, menos de 1 m, del extremo de raíz, tal como en el extremo de raíz, y termina en una segunda distancia de borde plano mayor de  $0,3 * L$ , donde L es la longitud de la pala. La primera junta encolada secundaria 130 y la segunda junta encolada secundaria 132 se unen en una junta encolada secundaria a una distancia de unión desde el extremo de raíz. La distancia de unión puede ser mayor que la segunda distancia de borde plano. La distancia de unión puede ser superior a  $0,3 * L$ , donde L es la longitud de pala de la pala de turbina eólica.

**[0057]** La presente invención se ha descrito con referencia a unos modos de realización preferentes. Sin embargo, el alcance de la invención no está limitado a los modos de realización ilustrados, y se pueden realizar alteraciones y modificaciones sin desviarse del alcance de la invención que se define en las siguientes reivindicaciones. La invención no está limitada a los modos de realización descritos en el presente documento y se puede modificar o adaptar sin apartarse del alcance de la presente invención.

### Lista de números de referencia

#### **[0058]**

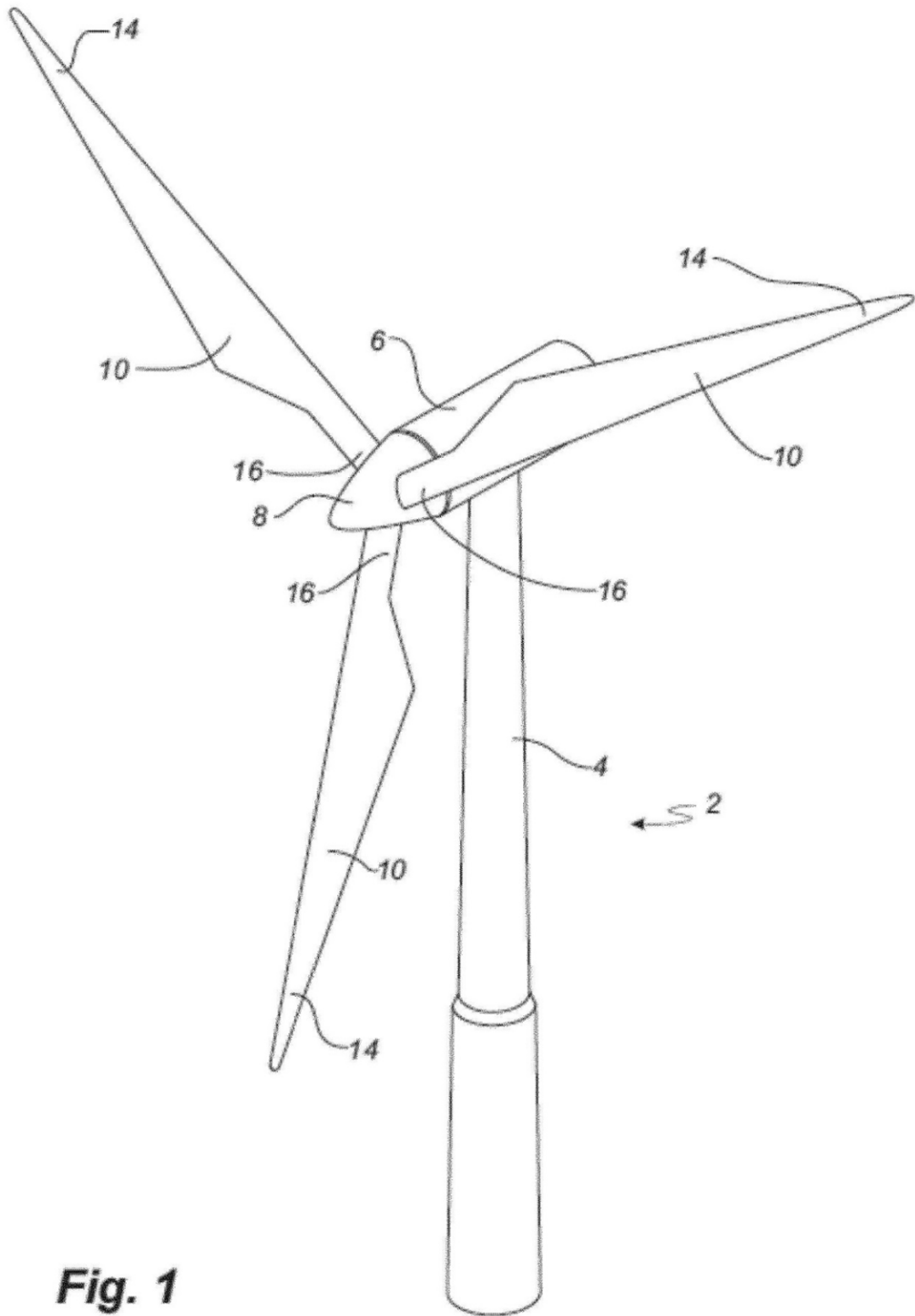
|     |  |
|-----|--|
| 2   | turbina eólica   |
| 4   | torre  |
| 6   | góndola  |
| 8   | buje   |
| 10  | pala   |
| 14  | punta de pala  |
| 15  | sección de extremo de punta  |
| 16  | raíz de pala   |
| 17  | cara de extremo de raíz  |
| 18  | borde de ataque  |
| 20  | borde de salida  |
| 22  | eje de pitch   |
| 24  | parte de concha de pala del lado de presión/parte de concha de pala a barlovento |
| 26  | parte de concha de pala del lado de succión/parte de concha de pala a sotavento  |
| 28  | líneas de unión/juntas encoladas   |
| 29  | horizontal   |
| 30  | región de raíz   |
| 32  | región de transición   |
| 34  | región de perfil alar  |
| 50  | perfil alar  |
| 52  | lado de presión/lado a barlovento  |
| 54  | lado de succión/lado a sotavento   |
| 56  | borde de ataque  |
| 58  | borde de salida  |
| 60  | cuerda   |
| 62  | línea de curvatura/línea mediana   |
| 100 | pala de turbina eólica   |
| 102 | contorno perfilado   |
| 104 | borde de ataque  |
| 106 | borde de salida  |
| 108 | cuerda   |
| 110 | primera parte de concha de pala  |
| 112 | lado de presión  |

|    |                      |  |
|----|----------------------|--|
|    | 114                  | segunda parte de concha de pala                        |
|    | 116                  | lado de succión  |
|    | 118                  | junta encolada principal                               |
|    | 120                  | primer cap de larguero principal                       |
| 5  | 122                  | segundo cap de larguero principal                      |
|    | 124                  | alma a cortante principal                              |
|    | 126                  | alma a cortante secundaria                             |
|    | 128                  | tercera parte de concha de pala                        |
|    | 130                  | primera junta encolada secundaria                      |
| 10 | 132                  | segunda junta encolada secundaria                      |
|    | 134                  | segmento de línea recta                                |
|    | 136                  | eje de pitch   |
|    | 138                  | sección de borde plano                                 |
|    | <i>c</i>             | longitud de cuerda                                     |
| 15 | <i>d<sub>t</sub></i> | posición de grosor máximo                              |
|    | <i>d<sub>f</sub></i> | posición de curvatura máxima                           |
|    | <i>d<sub>p</sub></i> | posición de curvatura del lado de presión máxima       |
|    | <i>f</i>             | curvatura  |
|    | <i>l<sub>t</sub></i> | distancia longitudinal entre marcos de extremo de raíz |
| 20 | <i>l<sub>o</sub></i> | extensión longitudinal de voladizo de punta de pala    |
|    | <i>L</i>             | longitud de pala                                       |
|    | <i>r</i>             | radio local, distancia radial desde raíz de pala       |
|    | <i>t</i>             | grosor   |
|    | <i>D</i>             | diámetro de raíz de pala                               |
| 25 | $\Delta y$           | predoblez  |
|    | <i>X</i>             | eje longitudinal                                       |
|    | <i>X1</i>            | primer eje   |
|    | <i>X2</i>            | segundo eje  |
|    | <i>R</i>             | eje de referencia                                      |
| 30 | <i>V1</i>            | primer ángulo  |
|    | <i>V2</i>            | segundo ángulo   |
|    | <i>V3</i>            | ángulo entre primer eje y segundo eje                  |
|    | <i>D1</i>            | primera distancia de borde plano                       |
|    | <i>D2</i>            | segunda distancia de borde plano                       |
| 35 | <i>Dm</i>            | distancia de fusión                                    |
|    | <i>LS</i>            | longitud del segmento de línea recta                   |
|    | <i>LF</i>            | longitud de sección de borde plano                     |

**REIVINDICACIONES**

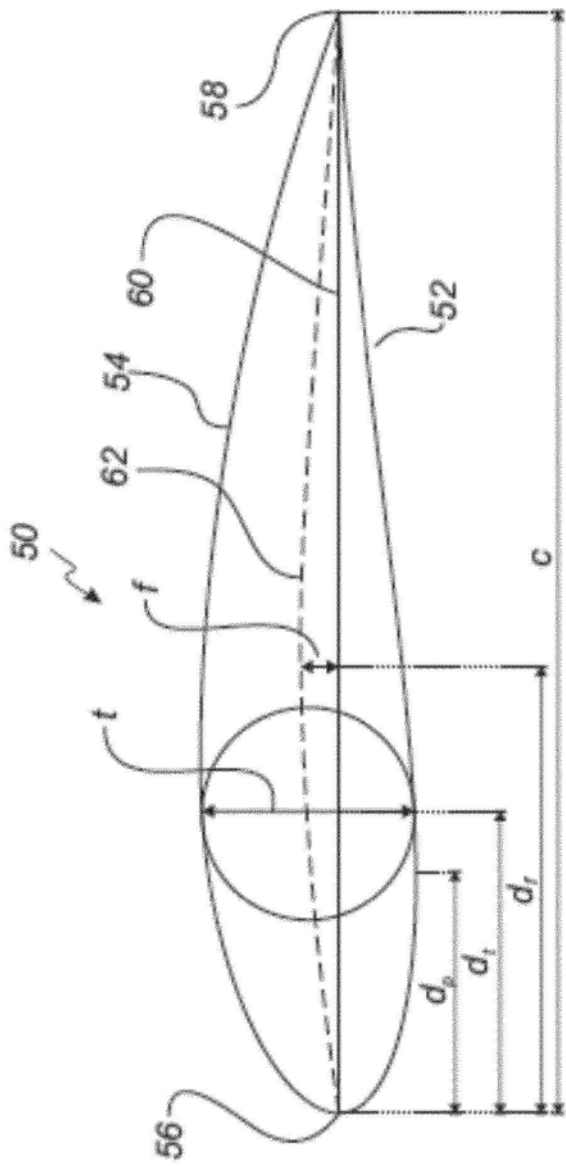
1. Una pala de turbina eólica (100) que se extiende desde un extremo de raíz (16) hasta un extremo de punta (14) a lo largo de un eje longitudinal y que comprende una región de raíz (30), una región de transición (32), y una región de perfil alar (34), comprendiendo la pala de turbina eólica
- un contorno perfilado con un borde de ataque (18) y un borde de salida (20) y una cuerda que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida;
  - una concha de pala con una primera parte de concha de pala (110) con un lado de presión y una segunda parte de concha de pala (114) con un lado de succión, extendiéndose la primera y segunda partes de concha de pala desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta y uniéndose a lo largo de una junta encolada principal (118);
  - un primer cap de larguero principal integrado en la primera parte de concha de pala;
  - un segundo cap de larguero principal integrado en la segunda parte de concha de pala; y
  - una o más almas a cortante conectadas entre el primer cap de larguero principal y el segundo cap de larguero principal,
- en la que la concha de pala comprende una tercera parte de concha de pala (128) que se extiende desde el extremo de raíz de la pala de turbina eólica, y en la que la tercera parte de concha de pala (128) está unida a la primera parte de concha de pala a lo largo de una primera junta encolada secundaria (130) y a la segunda parte de concha de pala a lo largo de una segunda junta encolada secundaria (132),
- en la que la primera junta encolada secundaria (130) y la segunda junta encolada secundaria (132) se unen en una junta encolada secundaria a una distancia de unión desde el extremo de raíz, y en la que la primera parte de concha de pala y la segunda parte de concha de pala se unen a lo largo de la junta encolada secundaria.
2. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la tercera parte de concha de pala forma al menos un 1 % de la circunferencia de la concha de pala de turbina eólica en el extremo de raíz.
3. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la tercera parte de concha de pala (128) se extiende dentro de la región de transición (32).
4. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la superficie exterior de la tercera parte de concha de pala (128) en una primera sección transversal perpendicular al eje longitudinal forma un segmento de línea recta (134) que forma una sección de borde plano (138) en el borde de salida.
5. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la concha de pala comprende una sección de borde plano (138) en el borde de salida, extendiéndose la sección de borde plano desde una primera distancia de borde plano del extremo de raíz a lo largo del eje longitudinal hasta una segunda distancia de borde plano del extremo de raíz, en la que la primera distancia de borde plano es inferior a 2 m.
6. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 5, en la que la sección de borde plano (138) tiene una longitud en el intervalo de  $0,01 * L$  a  $0,70 * L$ , donde L es la longitud de pala de la pala de turbina eólica.
7. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en la que la sección de borde plano (138) tiene una altura máxima en el rango de  $0,30 * t$  a  $t$ , donde t es el grosor máximo de la pala de turbina eólica en la sección transversal respectiva a la máxima altura de la sección de borde plano.
8. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la tercera parte de concha de pala (128) forma al menos una parte del borde de salida de la pala de turbina eólica.
9. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la junta encolada principal (118) está en el borde de ataque (56).
10. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que un primer eje es perpendicular al eje de pitch (22) y cruza la primera junta encolada secundaria (130) y el eje de pitch (22), un eje de referencia es perpendicular al eje de pitch y cruza el borde de ataque (56) y el eje de pitch, y en la que un primer ángulo entre el primer eje y el eje de referencia es mayor de 15 grados.

- 5
11. Pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que un segundo eje es perpendicular al eje de pitch (22) y cruza la segunda junta encolada secundaria (132) y el eje de pitch, un eje de referencia es perpendicular al eje de pitch y cruza el borde de ataque y el eje de pitch, y en la que un segundo ángulo entre el eje de referencia y el segundo eje es mayor de 15 grados.
12. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que un ángulo entre el primer eje y el segundo eje es mayor de 20 grados.
- 10
13. Un procedimiento de fabricación de una pala de turbina eólica (100) que se extiende desde un extremo de raíz (16) a un extremo de punta (14) a lo largo de un eje longitudinal y que comprende una región de raíz (30), una región de transición (32), y una región de perfil alar (34), comprendiendo la pala de turbina eólica un contorno perfilado con un borde de ataque (18) y un borde de salida (20) y una cuerda que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida, una concha de pala con un lado de presión y un lado de succión, un primer cap de larguero principal integrado en el lado de succión de la concha de pala, un segundo cap de larguero principal integrada en el lado de succión de la concha de pala, y una o más almas a cortante conectadas entre el primer cap de larguero principal y el segundo cap del larguero principal, comprendiendo el procedimiento
- 15
- proporcionar una primera parte de concha de pala (110) y una segunda parte de concha de pala (114) extendiéndose cada una desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta;
  - proporcionar una tercera parte de concha de pala (128);
  - unir la primera parte de concha de pala y la segunda parte de concha de pala a lo largo de una junta encolada principal (118);
  - unir la primera parte de concha de pala y la tercera parte de concha de pala a lo largo de una primera junta encolada secundaria (130); y
  - unir la segunda parte de concha de pala y la tercera parte de concha de pala a lo largo de una segunda junta encolada secundaria (132);
- 20
- de modo que la tercera parte de concha de pala (128) se extiende desde el extremo de raíz de la pala de turbina eólica, en la que la primera junta encolada secundaria (130) y la segunda junta encolada secundaria (132) se fusionan en una junta encolada secundaria a una distancia de fusión del extremo de raíz, y en el que la primera parte de concha de pala y la segunda parte de concha de pala se unen a lo largo de la junta encolada secundaria.
- 25
- 30
- 35
- 40
14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, en el que proporcionar la tercera parte de concha de pala comprende formar una sección de borde plano (138) en la tercera parte de concha de pala.

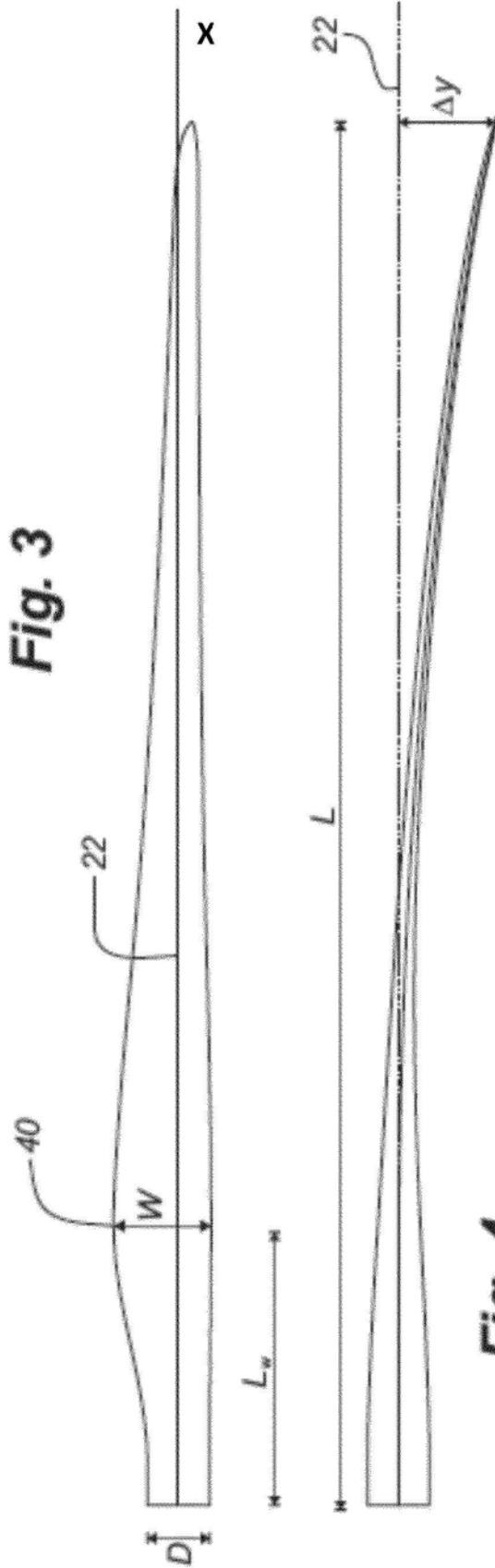


**Fig. 1**

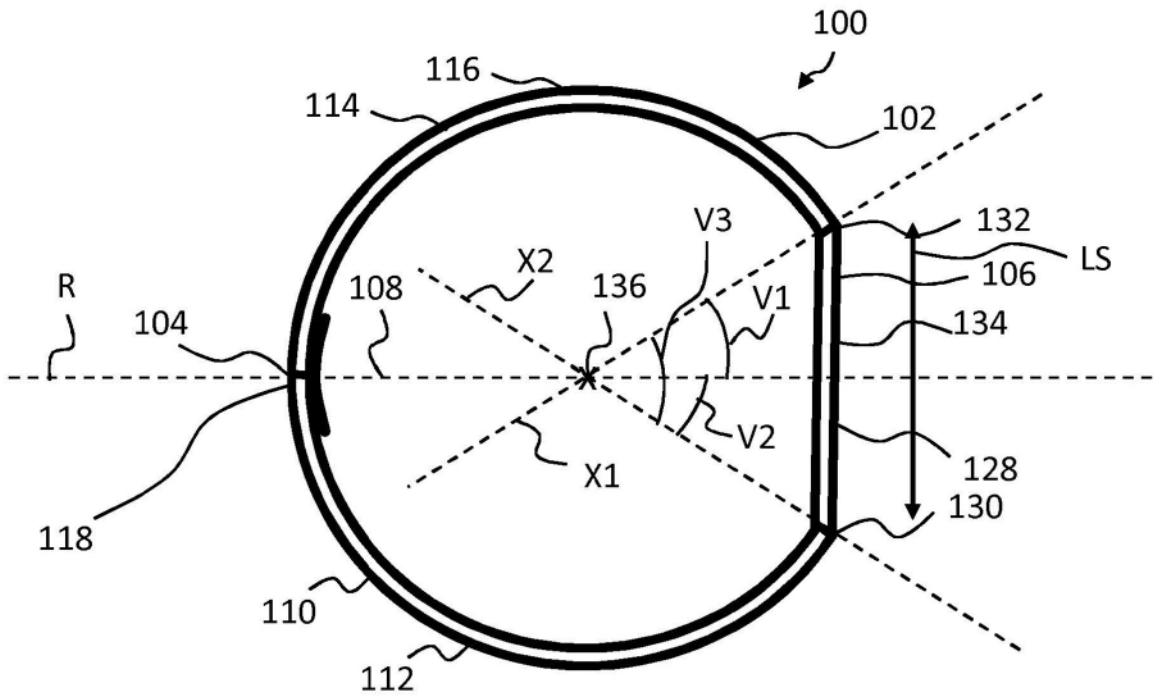




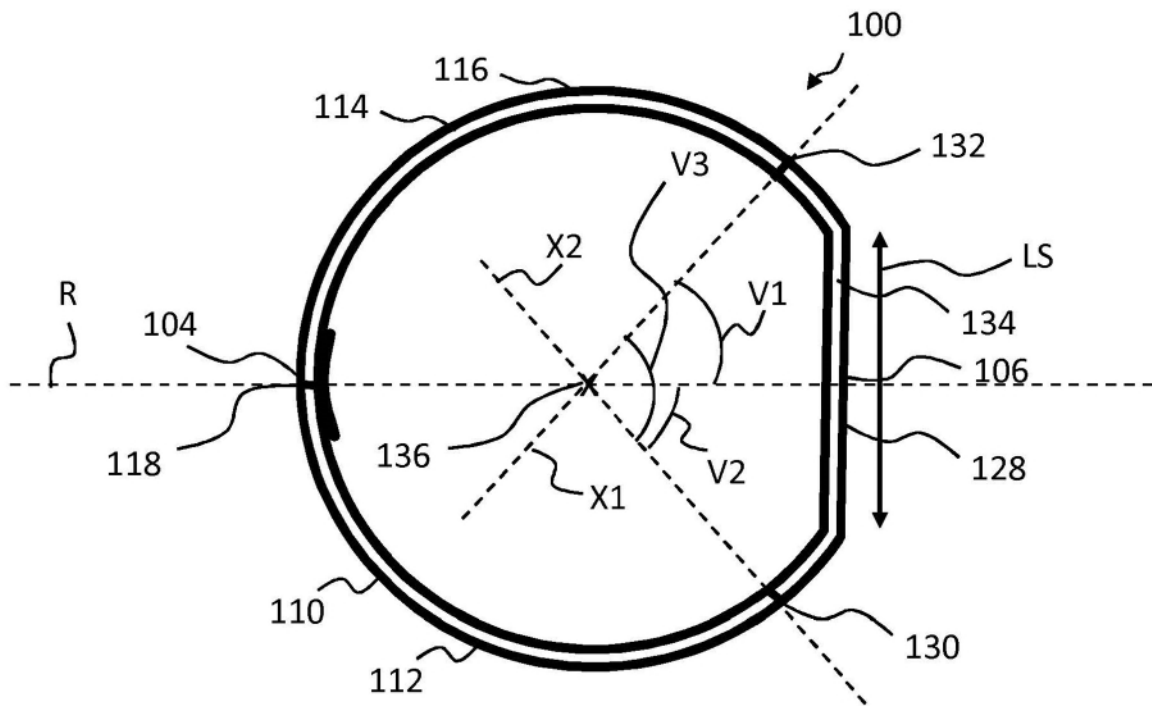
**Fig. 3**



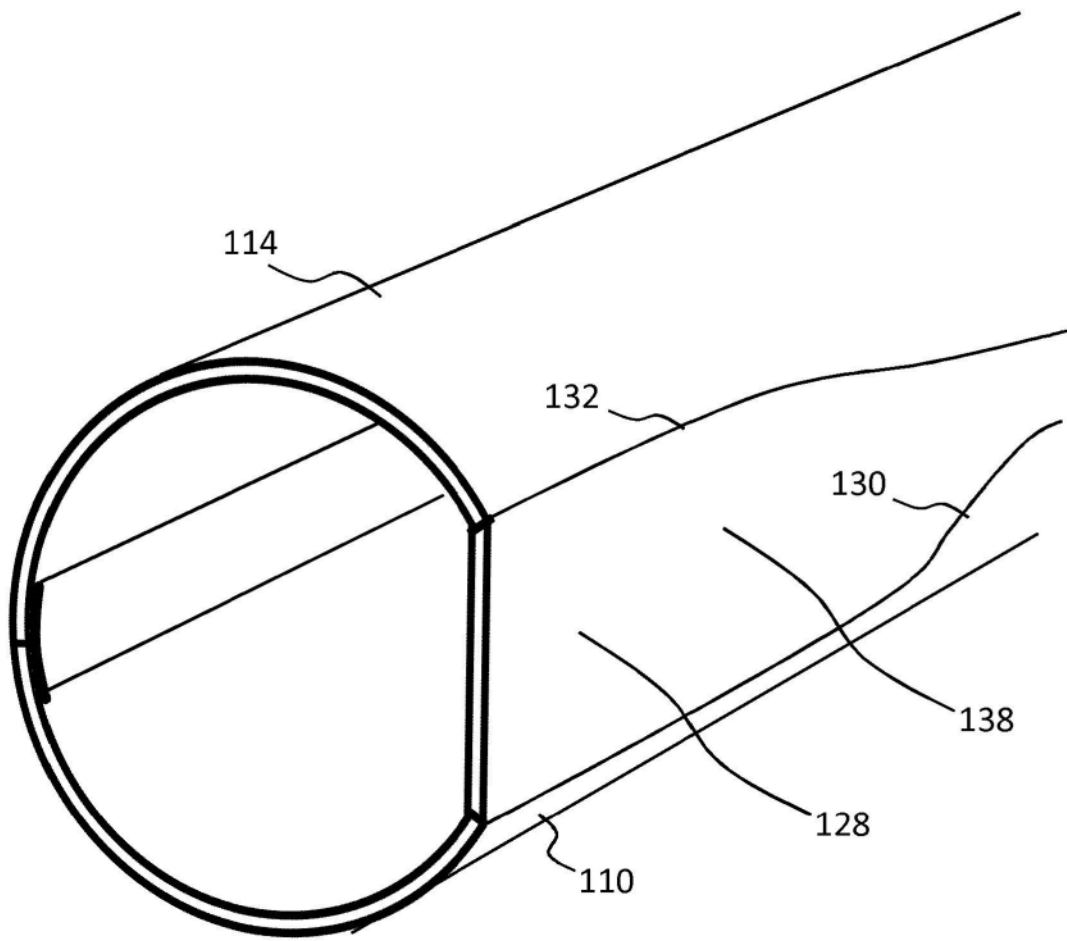
**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**