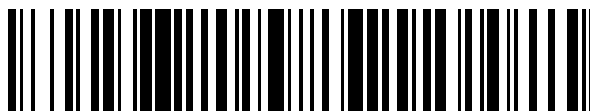


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 036**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2011** **E 11007613 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016** **EP 2570656**

54 Título: **Pala de rotor de una instalación de energía eólica con un borde trasero de perfil grueso**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.09.2016

73 Titular/es:

NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE

72 Inventor/es:

FISCHER, GUNTER REINALD

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 584 036 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 rotor de una instalación de energía eólica con un borde trasero de perfil grueso

- 5 La invención se refiere a una pala de rotor de una instalación de energía eólica con un perfil aerodinámico, que está realizado en un tramo longitudinal de la pala de rotor y que presenta un lado de presión, un lado de aspiración, un borde delantero de perfil y un borde trasero de perfil con un grosor de 3 mm o superior.

- Desde puntos de vista aerodinámicos, son óptimas las palas de rotor de instalaciones de energía eólica con bordes traseros delgados, es decir, con lados de presión y aspiración que convergen de forma puntiaguda en el perfil. No obstante, por razones estructurales, en particular en instalaciones de energía eólica con eje horizontal se necesitan en la zona de radios pequeños, es decir, cerca de un eje de rotor, grosores de perfiles relativos muy grandes. En particular, solo se consigue una altura de flexión suficiente en el caso de grandes grosores de perfiles, para garantizar una resistencia suficiente de las palas de rotor. Para que no se produzcan desprendimientos del flujo en el caso de grosores de perfil relativos grandes, se usan llamados bordes traseros de perfil gruesos. Estos se encuentran en particular en la zona de radios pequeños en casi todas las instalaciones de energía eólica modernas.

- En el caso de radios más grandes, es decir, a una mayor distancia del eje de rotor, por regla general ya no pueden usarse con éxito los bordes traseros de perfil gruesos, porque debido a las velocidades de flujo más elevadas que hay allí se producen dos efectos negativos. Por un lado, al aire se imponen vórtices de Karman tras el perfil por el borde trasero de perfil grueso, que oscila a una frecuencia característica y genera un llamado ruido de borde trasero. La presión acústica de este ruido aumenta a medida que aumenta el grosor del borde trasero de perfil. Por otro lado, por los desprendimientos de flujo se genera en los extremos del lado de presión y aspiración de los bordes traseros una zona de recirculación detrás del borde trasero de perfil en el que solo hay presión ambiente. Esta hace que haya una aspiración opuesta a la dirección de flujo, que conduce a una mayor resistencia de presión de la pala de rotor de la instalación de energía eólica. Por ello empeora el rendimiento aerodinámico de la pala de rotor.

- Por el documento EP 2063106 A1 se ha dado a conocer una pala de rotor de una instalación de energía eólica, en la que en un borde trasero de perfil grueso está dispuesto un perfil de arista viva adicional o una placa con una sección transversal constante en la dirección longitudinal de la pala de rotor. El perfil de arista viva debe reducir el grosor efectivo del borde trasero de perfil aproximadamente a cero. En la variante con una placa, esta debe insertarse entre la semicoquilla inferior y superior de la pala de rotor. Debido a ello deben contrarrestarse los desprendimientos por turbulencias de los flujos del lado de presión y aspiración.

- 35 Por el documento EP 1775464 A2 se ha dado a conocer una pala de rotor de una instalación de energía eólica en la que en un borde trasero de perfil delgado están dispuestas una serie de cerdas. Gracias a las cerdas deben compensarse las fluctuaciones de presión a los dos lados del perfil contrarrestándose de este modo una generación de ruido. Una disposición comparable de cerdas en un borde trasero de perfil delgado en una pala de rotor de una instalación de energía eólica se muestra también en el documento DE 102008003188 A1. La pala de rotor mostrada en el documento tiene cerdas dispuestas a lo largo de un borde trasero delgado, que están dispuestas siempre unas en paralelo a las otras.

- El documento US 2008/187442 A1 muestra una pala de rotor de una instalación de energía eólica con un borde final fabricado por separado, en cuyo extremo trasero están dispuestas una serie de cerdas en dos ejemplos de realización.

- Partiendo de ello, la invención tiene el objetivo de mejorar una pala de rotor de una instalación de energía eólica en el sentido de poder usar un perfil aerodinámico con un borde trasero de perfil grueso también adecuadamente en radios más grandes.

- 50 Este objetivo se consigue con la pala de rotor de una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes expuestas a continuación se indican configuraciones ventajosas.

- 55 La pala de rotor de la instalación de energía eólica tiene un perfil aerodinámico; que está realizado en un tramo longitudinal de la pala de rotor, y un lado de presión, un lado de aspiración, un borde delantero de perfil y un borde trasero de perfil con un grosor de 3 mm o superior. La pala de rotor de la instalación de energía eólica tiene además una pluralidad de cerdas dispuestas en el borde trasero de perfil, que están dispuestas en una fila del lado de aspiración y en una fila del lado de presión, formando la fila del lado de aspiración una superficie aerodinámica, que

representa una prolongación lisa del lado de aspiración y formando la fila del lado de presión una superficie aerodinámica, que es una prolongación lisa del lado de presión.

La pala de rotor de la instalación de energía eólica está prevista, en particular, para un rotor con un eje horizontal.
5 Puede estar hecha de un material plástico reforzado con fibras, en particular de dos semicoquillas unidas entre sí. Puede presentar una raíz de pala para la unión al cubo del rotor, para lo que puede estar provista en particular de una brida de fijación en la raíz de pala. Puede presentar una longitud de por ejemplo 20 m, 30 m, 40 m o superior. El lado de presión y el lado de aspiración se extienden respectivamente en un lado superior o inferior de la pala de rotor de la instalación de energía eólica desde el borde delantero de perfil hasta el borde trasero de perfil.

10

En el caso de palas de rotor de instalaciones de energía eólica con un borde trasero delgado, es deseable una convergencia del lado de presión y del lado de aspiración formando una arista lo más viva posible. Por razones relacionadas con la técnica de fabricación, los bordes traseros de perfil de las palas de rotor de este tipo presentan a pesar de ello cierto grosor, en muchos casos en el intervalo de 1 mm a 2 mm. Los perfiles con un borde trasero más
15 grueso pueden llamarse bordes traseros de perfil gruesos.

15

El borde trasero de perfil en el tramo longitudinal de la pala de rotor en el que está dispuesto el perfil aerodinámico, es un borde trasero de perfil grueso de este tipo. El grosor de este borde trasero de perfil es al menos de 3 mm, aunque también puede ser sustancialmente más grande y medir por ejemplo 5 mm, 10 mm, 20 mm, 50 mm, 100 mm
20 o superior.

20

Las cerdas pueden presentar una forma alargada. Además, presentan una elasticidad que es tan grande que pueden adoptar una posición que difiere de su posición de reposo en función de las condiciones de flujo.

25

Las cerdas están dispuestas en dos filas, que pueden extenderse sustancialmente en la dirección longitudinal de la pala de rotor de la instalación de energía eólica. Una de estas filas se denomina la fila del lado de aspiración, la otra la fila del lado de presión. Dentro de las filas, las cerdas pueden presentar una distancia relativamente reducida entre sí o incluso pueden delimitar directamente unas a otras. En cualquier caso, las distancias entre las cerdas y las medidas de las cerdas están dimensionadas de tal modo que las cerdas dispuestas en filas actúan en conjunto
30 respectivamente como una superficie aerodinámica en el funcionamiento de la pala de rotor. En particular, el flujo puede fluir de forma lisa a lo largo de estas superficies.

30

El hecho de que las dos superficies aerodinámicas representen una prolongación lisa del lado de aspiración o del lado de presión significa que las superficies aerodinámicas están dispuestas en la zona del borde trasero de perfil a
35 continuación del lado de aspiración o del lado de presión, de modo que el flujo puede fluir en el lado de presión a lo largo de la superficie aerodinámica formada por la fila del lado de presión y el flujo pueda fluir en el lado de aspiración a lo largo de la superficie aerodinámica formada por la fila del lado de aspiración. Para ello, por un lado las orientaciones del lado de presión o del lado de aspiración y de las superficies aerodinámicas que representan su prolongación deben corresponderse sustancialmente en la zona cerca del borde trasero de perfil. Además, entre el
40 lado de presión o de aspiración y la superficie aerodinámica que representa respectivamente su prolongación, no debería estar realizado ningún escalón que conduciría a mayores desprendimientos de flujo o turbulencias. No obstante, son aceptables escalones pequeños y también desviaciones pequeñas en la orientación de las superficies respectivamente adyacentes, mientras que pueda producirse en condiciones normales de uso un flujo sustancialmente liso a lo largo de las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas.

45

El tramo longitudinal de la pala de rotor, en el que está realizado el perfil aerodinámico especial, puede presentar una longitud de por ejemplo el 5 %, el 10 %, el 25 %, el 50 % o superior de la longitud total de la pala de rotor. El tramo longitudinal puede estar realizado a una distancia de la raíz de la pala y/o a una distancia de la punta de la pala. En particular, el tramo longitudinal puede encontrarse en una zona central de la pala de rotor de la instalación
50 de energía eólica. También es posible que estén dispuestos varios tramos longitudinales distribuidos a lo largo de la longitud de la pala de rotor en diferentes posiciones del radio.

50

Respecto a su efecto aerodinámico, el perfil incluidas las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas puede corresponder al de un perfil convencional con un borde trasero delgado. Esto es válido, en particular, en el
55 funcionamiento regular de la instalación de energía eólica, cuando el flujo llega desde delante al perfil aerodinámico. En este caso, el flujo puede fluir en el lado de presión y en el lado de aspiración del perfil de forma lisa en las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas. De este modo se evita o al menos se reduce considerablemente el ruido de borde trasero observado en perfiles convencionales con un borde trasero grueso. Puesto que el borde trasero realizado de este modo por las cerdas presenta una resolución fina por la pluralidad de cerdas, puede

55

reducirse la generación de ruido, dado el caso, incluso en comparación con un borde trasero delgado convencional. También puede evitarse o reducirse considerablemente la resistencia de presión más elevada que va unida a los bordes traseros de perfil gruesos convencionales.

- 5 Al mismo tiempo, gracias al uso de las cerdas en la disposición según la invención se consiguen las ventajas estructurales de un borde trasero de perfil grueso. Gracias al uso de las cerdas, que presentan cierta flexibilidad, se reduce la profundidad efectiva del perfil cuando el flujo llega a la pala de rotor desde el lado de presión o desde el lado de aspiración, por ejemplo en caso de ráfagas extremas, porque las cerdas se desvían de su posición de reposo y ya no actúan como superficie aerodinámica. En comparación con un perfil con un borde trasero puntiagudo, 10 de este modo pueden reducirse las cargas extremas en el caos de ráfagas y de direcciones del flujo que difieren del caso normal. Esto permite una mejor relación de resistencia y peso de la pala de rotor.

- En una configuración, el grosor del borde trasero de perfil es inferior a 10 cm. Como ya se ha explicado, en las palas de rotor de instalaciones de energía eólica convencionales, se usan en la zona de radios muy pequeños por regla 15 general perfiles con un borde trasero de perfil grueso, pudiendo ser el grosor de los bordes traseros de perfil cerca de la raíz de pala, por ejemplo, de 50 m o superior. En principio, la invención también puede aplicarse en zonas de la pala de rotor. No obstante, preferentemente se usa cuando hay grosores del borde trasero de perfil de 10 cm o inferiores.

- 20 En la invención, las cerdas de la fila del lado de aspiración se extienden en la dirección de una tangente respecto al lado de aspiración y las cerdas de la fila del lado de presión se extienden en la dirección de una tangente respecto al lado de presión. Las tangentes correspondientes se disponen en particular en la zona del borde trasero de perfil o en el borde trasero de perfil respecto al lado de aspiración o respecto al lado de presión. Si también las cerdas están dispuestas en esta dirección con su dirección longitudinal, las superficies aerodinámicas formadas por las filas de 25 cerdas representan una prolongación lisa de los lados correspondientes de la pala de rotor, de modo que se favorece un flujo liso más allá del borde trasero de perfil. En principio, no es necesario que las cerdas estén dispuestas con su dirección longitudinal en la superficie aerodinámica formada por las filas correspondientes de cerdas. También es concebible que las cerdas formen en conjunto la superficie aerodinámica correspondiente mediante una variación adecuada de sus longitudes. Gracias a la orientación de la dirección longitudinal de las 30 cerdas en la dirección de las superficies aerodinámicas formadas, en particular a lo largo de la dirección de flujo en estas superficies aerodinámicas, el efecto deseado se consigue, no obstante, de una forma especialmente sencilla.

- En una configuración, el borde trasero de perfil presenta un punto final del lado de aspiración, en el que coincide con el lado de aspiración, y un punto final del lado de presión, en el que coincide con el lado de presión, y las cerdas de 35 la fila del lado de aspiración presentan respectivamente un extremo fijado, que está dispuesto a una distancia del 30 % del grosor del borde trasero de perfil o inferior del punto final del lado de aspiración y/o las cerdas de la fila del lado de presión presentan respectivamente un extremo fijado, que está dispuesto a una distancia del 30 % del grosor del borde trasero de perfil o inferior del punto final del lado de presión. En este caso, entre las dos filas de cerdas en el borde trasero de perfil queda un espacio libre, que representa al menos un 40 % del grosor del borde 40 trasero de perfil. Las filas de cerdas correspondientes están fijadas en conjunto cerca de las superficies aerodinámicas que han de formar en el borde trasero de perfil. Esto favorece el efecto de las filas de cerdas como superficies aerodinámicas. Además, en el caso de flujos que se produzcan en la dirección perpendicular respecto a las superficies aerodinámicas formadas, se favorece una deformación de las filas de cerdas en la forma deseada.

- 45 En una configuración, los extremos libres de las cerdas de la fila del lado de aspiración están dispuestos cerca de los extremos libres de las cerdas de la fila del lado de presión, de modo que las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas convergen a lo largo de un borde trasero. El hecho de que los extremos libres de dichas cerdas estén dispuestos unos cerca de los otros significa que los extremos libres se tocan al menos en parte directamente unos a 50 otros o que solo hay distancias reducidas entre los extremos libres de las cerdas. Las distancias no pueden rebasar por ejemplo diez veces un diámetro de cerda o el 20 % de la longitud media de las cerdas. Gracias a ello, las dos superficies aerodinámicas formadas por las dos filas de cerdas convergen sustancialmente para formar un solo borde trasero delgado y la pala de rotor de la instalación de energía eólica presenta en el caso de una dirección de flujo regular propiedades aerodinámicas comparables a las de una pala de rotor convencional con borde trasero delgado.

- 55 En una configuración, las longitudes de las cerdas están dimensionadas de tal modo que las cerdas de la fila del lado de aspiración y/o las cerdas de la fila del lado de presión disminuyen a medida que aumenta la distancia del borde trasero de perfil. Dicho de otro modo, el número de las cerdas dispuestas unas de forma adyacente a otras se reduce a medida que aumenta la distancia del borde trasero de perfil. De este modo puede conseguirse un borde

trasero especialmente delgado formado por las cerdas.

En una configuración, las cerdas de la fila del lado de aspiración y/o las cerdas de la fila del lado de presión están sujetadas en cuerpos unidos de forma articulada con el borde trasero de perfil. En principio, las diferentes cerdas pueden estar fijadas de una forma a elegir libremente en la pala de rotor de la instalación de energía eólica, por ejemplo mediante pegado directo de las cerdas en una semicoquilla de la pala de rotor que forma la distancia correspondiente del borde trasero de perfil, o mediante engarzado o encastrado de las cerdas en la semicoquilla correspondiente. Como alternativa pueden fijarse varias cerdas, en particular unidas en haces, en el interior o exterior de un cuerpo base, de forma comparable con la cabeza de un cepillo. El cuerpo base puede unirse a continuación a su vez con los componentes restantes de la pala de rotor, por ejemplo mediante tornillos o pegado, en particular con una de las semicoquillas. En la configuración mencionada, un cuerpo de este tipo, en el que están sujetadas al menos una parte de las cerdas de una de las dos filas, está unido de forma articulada con el borde trasero de perfil. Esto permite un plegado de las cerdas de su posición en prolongación del lado de presión o del lado de aspiración, por ejemplo a una posición en la que descansan en el lado de presión o en el lado de aspiración de la pala de rotor. Un plegado de este tipo de las cerdas puede ser útil, por ejemplo, para fines de transporte. Además, gracias a la unión articulada, puede variarse el ángulo en el que las cerdas y, por lo tanto, las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas, están orientadas respecto a los demás componentes de la pala de rotor, y puede adaptarse a las necesidades.

En una configuración, al menos una parte de las cerdas presenta una sección transversal plana. En principio, las cerdas pueden presentar una sección transversal a elegir libremente, en particular circular o cuadrada. Las cerdas con sección transversal plana, en particular con sección transversal rectangular, ovalada o elíptica, pueden conseguir de forma más sencilla el efecto pretendido como superficie aerodinámica cuando están dispuestas de una forma adecuada o pueden deformarse de forma más sencilla preferentemente en direcciones determinadas que en otras direcciones. La parte ancha de la sección transversal de las cerdas puede estar orientada por ejemplo en dirección a la fila de cerdas correspondiente, de modo que un lado ancho de las cerdas está orientado hacia la superficie aerodinámica a formar.

En una configuración, al menos una parte de las cerdas están alojadas de forma giratoria alrededor de respectivamente un eje de giro, estando dispuesto el eje de giro de forma desplazada en paralelo respecto a un eje longitudinal central de la cerda correspondiente. Por ejemplo, puede variar la sección transversal de una cerda plana en un tramo longitudinal en dirección a un punto de fijación y puede reducirse, por ejemplo a una sección transversal circular, que está dispuesta de forma desplazada respecto al centro de la sección transversal plana. La parte de la cerda con la sección transversal circular lateralmente desplazada puede realizar un movimiento de torsión en caso de llegar el flujo de forma correspondiente al tramo longitudinal plano de la cerda y puede actuar, por lo tanto, como apoyo giratorio. También es concebible el uso de elementos de apoyo separados, por ejemplo de un resorte de acero, en el que está fijada la cerda. Las cerdas planas también pueden presentar una sección transversal relativamente grande y pueden estar realizadas por ejemplo de forma laminada. Gracias al apoyo giratorio representado en el dibujo, las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas pueden abrirse mediante un giro de las cerdas en caso de llegar el flujo desde una dirección que difiere de la dirección de flujo normal, de modo que dejan de actuar como superficie aerodinámica casi cerrada. De este modo puede reducirse la carga de la pala de rotor, en particular en caso de ráfagas fuertes.

En una configuración, al menos una parte de las cerdas es intercambiable. Por ejemplo, las cerdas pueden estar engarzadas o estar fijadas de otro modo en cuerpos base, que pueden intercambiarse junto con las cerdas fijadas en los mismos. También es concebible cambiar cerdas individuales. Gracias a esta configuración es sencillo reparar unas palas de rotor con cerdas dañadas.

En una configuración, al menos una parte de las cerdas presenta respectivamente al menos dos tramos longitudinales con elasticidades diferentes, estando dispuesto un tramo más elástico en un extremo fijado y un tramo más rígido en un extremo libre de la cerda correspondiente. De este modo, en particular en el caso de cerdas más largas, queda realizada una superficie aerodinámica comparativamente plana y las cerdas pueden realizar al mismo tiempo el movimiento deseado en caso de llegar el flujo desde una dirección oblicua.

A continuación, la invención se explicará más detalladamente con ayuda de un ejemplo de realización representado en las figuras. Muestran:

La figura 1, una vista en planta desde arriba de una pala de rotor según la invención;

la figura 2, una vista en corte transversal de la pala de rotor de la figura 1 a lo largo del plano designado con A-A;

la figura 3, una vista a escala ampliada de un detalle de la figura 2;

5 la figura 4, un detalle que corresponde a la figura 3 de otra pala de rotor;

la figura 5, otro detalle que corresponde a la figura 3 de una pala de rotor con cuerpos base fijados de forma articulada;

la figura 6, otro detalle que corresponde a la figura 3 de una pala de rotor con cerdas que presentan tramos longitudinales
10 de diferentes elasticidades;

la figura 7, una vista en planta desde arriba de un detalle de un lado de aspiración con una fila de cerdas del lado de aspiración; y

15 la figura 8, una vista en planta desde arriba desde el borde trasero de perfil de una de las cerdas de la figura 7.

Todas las figuras muestran representaciones esquemáticas. Para los componentes correspondientes de diferentes ejemplos de realización se usan los mismos signos de referencia.

20 La figura 1 muestra una pala de rotor 10 de una instalación de energía eólica con una punta de pala 12 y una raíz de pala 14. En un tramo longitudinal 16, la pala de rotor presenta un perfil aerodinámico, cuyas características se explican con ayuda de la figura 2, que muestra una sección transversal a título de ejemplo en la posición designada con A-A de la pala de rotor 10.

25 El perfil aerodinámico de la figura 2 tiene un borde delantero de perfil 18, un lado de aspiración 20, un lado de presión 22 y un borde trasero de perfil 24 grueso. El grosor del borde trasero de perfil 24 es de 3 mm o superior, en el ejemplo representado aproximadamente de 20 mm. En el borde trasero de perfil 24 están dispuestas cerdas, concretamente en una fila del lado de aspiración 26 y una fila del lado de presión 28. Estas filas se extienden en la dirección longitudinal de la pala de rotor 10 de la instalación de energía eólica y se muestran en la figura 2 en una
30 vista en corte transversal. Las cerdas individuales de la fila del lado de aspiración 26 y de la fila del lado de presión 28 se extienden respectivamente aproximadamente en prolongación de la superficie del perfil de la sección transversal mostrada. En este plano de sección transversal se extiende también el flujo en el funcionamiento regular de la pala de rotor 10.

35 La figura 3 muestra un detalle de la figura 2 en una vista a escala ampliada, comprendiendo un tramo trasero del lado de aspiración 20 y del lado de presión 22, así como del borde trasero de perfil 24 y la fila del lado de aspiración 26 y la fila del lado de presión 28 de las cerdas. La figura muestra una representación esquemática de la disposición de las cerdas individuales dentro de dichas filas de cerdas. Puede verse bien que el conjunto de las cerdas de la fila del lado de aspiración 26 forma una superficie aerodinámica, que representa una prolongación lisa del lado de
40 aspiración 20 hacia atrás. De la misma forma, el conjunto de las cerdas de la fila del lado de presión 28 forma una superficie aerodinámica, que representa una prolongación lisa del lado de presión 22 hacia atrás.

Las cerdas individuales presentan respectivamente un extremo fijado, que está fijado en el borde trasero de perfil 24, y un extremo libre.

45 Los extremos libres de las cerdas de la fila del lado de aspiración 26 están dispuestos cerca de los extremos libres de las cerdas de la fila del lado de presión 28, de modo que las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas convergen a lo largo de un borde trasero 42. En la figura también se muestra que los extremos libres de las cerdas individuales se tocan unos a otros o, en cualquier caso, que están dispuestos a una distancia reducida unos de
50 otros.

Además, puede verse en la figura 3 que el borde trasero de perfil 24 presenta un punto final del lado de aspiración 30, en el que coincide con el lado de aspiración 20, y un punto final del lado de presión 32, en el que coincide con el lado de presión 22. Los extremos fijados de las cerdas de la fila del lado de aspiración 26 están fijados a una
55 distancia reducida del punto final del lado de aspiración 30 en el borde trasero de perfil 24. De la misma forma, los extremos fijados de las cerdas de la fila del lado de presión 28 están fijados a una distancia reducida del punto final del lado de presión 32 en el borde trasero de perfil 24. Entre las zonas en las que están fijadas las cerdas en el borde trasero de perfil 24, el borde trasero de perfil 24 presenta un tramo central, en el que no están dispuestas cerdas. El grosor del borde trasero de perfil 24 está designado con d.

La figura 4 muestra otro ejemplo de realización, en el que la superficie aerodinámica formada por la fila del lado de aspiración 26 y la superficie aerodinámica formada por la fila del lado de presión 28 no convergen formando un borde trasero delgado, estando dispuestos por el contrario los extremos libres de las cerdas correspondientes a una distancia más grande unos de otros. En esta disposición, que es adecuada en particular para grosores muy grandes del borde trasero de perfil 24, con los que posiblemente sea problemática la convergencia de la fila del lado de aspiración 26 y de la fila del lado de presión 28 formando un borde trasero común, al menos puede reducirse el ruido de borde trasero, aunque por regla general no puede conseguirse una clara reducción de la resistencia de presión más elevada por el borde trasero de perfil 24 grueso.

10

El otro ejemplo de realización de la figura 5 muestra superficies aerodinámicas formadas por una fila del lado de aspiración 26 y una fila del lado de presión 28, cuya disposición corresponde a la de la figura 3. A diferencia de la figura 3 se muestra que las cerdas de dichas filas de cerdas están engarzadas respectivamente en un cuerpo base 34 o 36. Los cuerpos base 36, 34 están fijados respectivamente mediante una unión articulada 38, 40 en los demás componentes de la pala de rotor de la instalación de energía eólica. De este modo pueden controlarse las posiciones angulares de la fila del lado de aspiración 26 y de la fila del lado de presión 28. También es posible un plegado completo de dichas filas de cerdas, por ejemplo para fines de transporte.

15

La figura 6 muestra otro ejemplo de realización con una fila de cerdas del lado de aspiración 26 y una fila de cerdas del lado de presión 28. Las cerdas presentan respectivamente dos tramos longitudinales diferentes. Un tramo más elástico 44 está dispuesto en el extremo fijado y un tramo más rígido 46 está dispuesto en el extremo libre de la cerda correspondiente.

20

La figura 7 muestra un detalle de un lado de aspiración 20 de otro ejemplo de realización. El borde trasero de perfil 24 se extiende en la dirección perpendicular respecto al plano del dibujo. Además, pueden verse las cerdas de una fila de cerdas del lado de aspiración 26. Cada una de las cerdas presenta una sección transversal plana en un tramo longitudinal 48 que está dispuesto a distancia del borde trasero de perfil 24. Esta sección transversal plana se estrecha en dirección al borde trasero de perfil 24 hasta una sección transversal realizada de forma circular en el tramo longitudinal 50. El tramo longitudinal 50 con sección transversal circular actúa como un resorte de torsión, de modo que las cerdas están alojadas de forma giratoria alrededor del eje de giro 52. El eje de giro 52 se encuentra desplazado en paralelo a una distancia de un eje longitudinal central 54 de la cerda correspondiente.

25

30

La disposición del eje de giro 52 y del eje longitudinal central 54 respecto a las diferentes secciones transversales realizadas en los dos tramos longitudinales 48, 50 está representada en la figura 8.

35

Lista de los signos de referencia usados

10. Pala de rotor de una instalación de energía eólica

40

12. Punta de pala

14. Raíz de pala

16. Tramo longitudinal

45

18. Borde delantero de perfil

20. Lado de aspiración

50

22. Lado de presión

24. Borde trasero de perfil

26. Fila del lado de aspiración

55

28. Fila del lado de presión

30. Punto final del lado de aspiración

- 32. Punto final del lado de presión
- 34, 36. Cuerpo base
- 5 38, 40. Unión articulada
- 42. Borde trasero
- 44. Tramo más elástico
- 10 46. Tramo más rígido
- 48. Tramo longitudinal con sección transversal plana
- 15 50. Tramo longitudinal con sección transversal circular
- 52. Eje de giro
- 54. Eje longitudinal central
- 20 d. Grosor del borde trasero de perfil

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica con un perfil aerodinámico, que está realizado en un tramo longitudinal (16) de la pala de rotor y presenta un lado de presión (22), un lado de aspiración (20), un
5 borde delantero de perfil (18) y un borde trasero de perfil (24) con un grosor de 3 mm o superior, así como una pluralidad de cerdas dispuestas en el borde trasero de perfil (24), **caracterizada porque** las cerdas están dispuestas en una fila del lado de aspiración (26) y en una fila del lado de presión (28), formando la fila del lado de aspiración (26) una superficie aerodinámica, que representa una prolongación lisa del lado de aspiración (20), y formando la fila del lado de presión (28) una superficie aerodinámica, que representa una prolongación lisa del lado de presión (22),
10 y extendiéndose las cerdas de la fila del lado de aspiración (26) en la dirección de una tangente respecto al lado de aspiración (20) y las cerdas de la fila del lado de presión (28) en la dirección de una tangente respecto al lado de presión (22).
2. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada**
15 **porque** el grosor (d) del borde trasero de perfil (24) es de 10 cm o inferior.
3. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizada porque** el borde trasero de perfil (24) presenta un punto final del lado de aspiración (30), en el que coincide con el lado de aspiración (20), y un punto final del lado de presión (32), en el que coincide con el lado de presión (22), y porque las cerdas de la fila del lado de aspiración (26) presentan respectivamente un extremo fijado, que está dispuesto a una distancia del 30 % del grosor (d) del borde trasero de perfil (24) o inferior del punto final del lado de aspiración (30) y/o las cerdas de la fila del lado de presión (28) presentan respectivamente un extremo fijado, que está dispuesto a una distancia del 30 % del grosor (d) del borde trasero de perfil (24) o inferior del punto final del lado de presión (32).
25
4. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** los extremos libres de las cerdas de la fila del lado de aspiración (26) están dispuestos cerca de los extremos libres de cerdas de la fila del lado de presión (28), de modo que las superficies aerodinámicas formadas por las cerdas convergen a lo largo de un borde trasero (42).
30
5. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada porque** las longitudes de las cerdas están dimensionadas de tal modo que las cerdas de la fila del lado de aspiración (26) y/o las cerdas de la fila del lado de presión (28) disminuyen a medida que aumenta la distancia del borde trasero de perfil (24).
35
6. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** las cerdas de la fila del lado de aspiración (26) y/o las cerdas de la fila del lado de presión (28) están sujetadas en cuerpos base (34, 36) unidos de forma articulada con el borde trasero de perfil (24).
40
7. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada porque** al menos una parte de las cerdas presenta una sección transversal plana.
8. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según la reivindicación 7, **caracterizada**
45 **porque** al menos una parte de las cerdas están alojadas de forma giratoria alrededor de respectivamente un eje de giro (52), estando dispuesto el eje de giro (52) de forma desplazada en paralelo respecto a un eje longitudinal central (54) de la cerda correspondiente.
9. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada porque** al menos una parte de las cerdas es intercambiable.
50
10. Pala de rotor (10) de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada porque** al menos una parte de las cerdas presenta respectivamente al menos dos tramos longitudinales con elasticidades diferentes, estando dispuesto un tramo más elástico (44) en el extremo fijado y un tramo más rígido (46) en el extremo libre de la cerda correspondiente.
55

Fig. 1

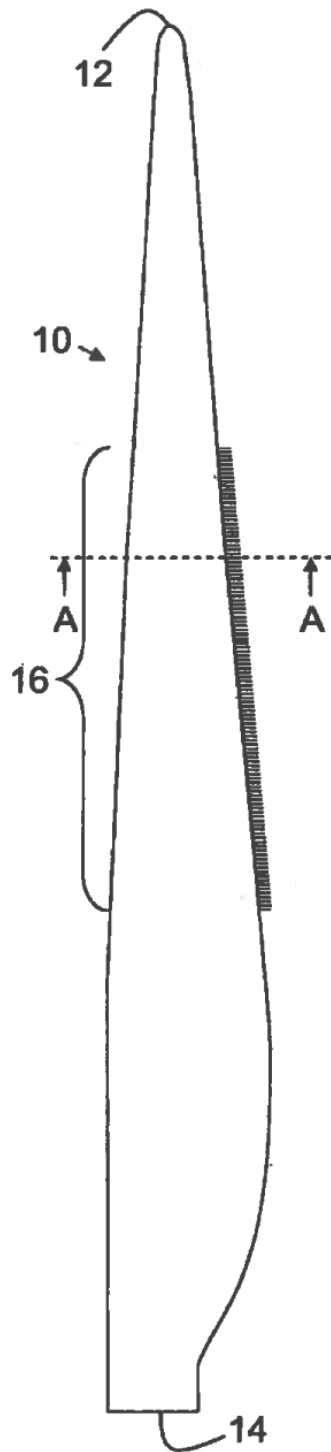


Fig. 2

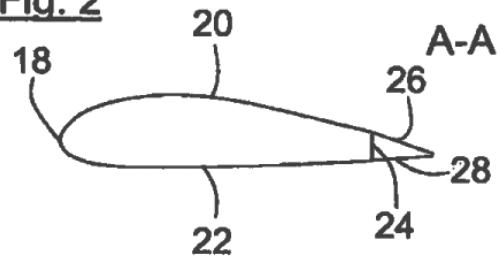


Fig. 3

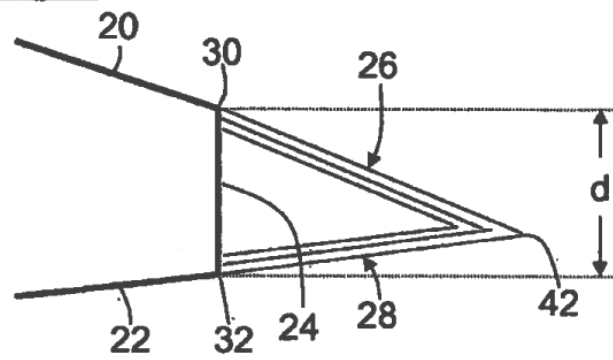


Fig. 4

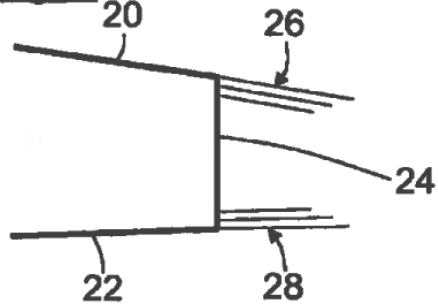


Fig. 5

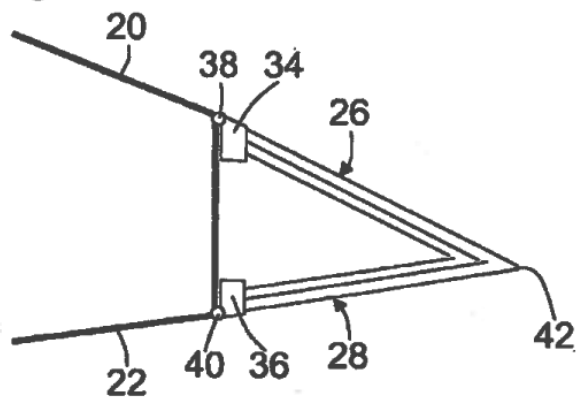


Fig. 6

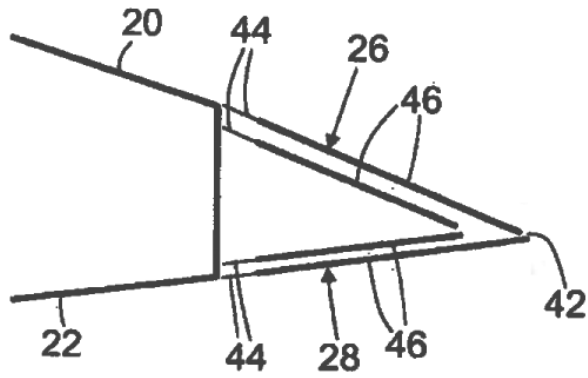


Fig. 7

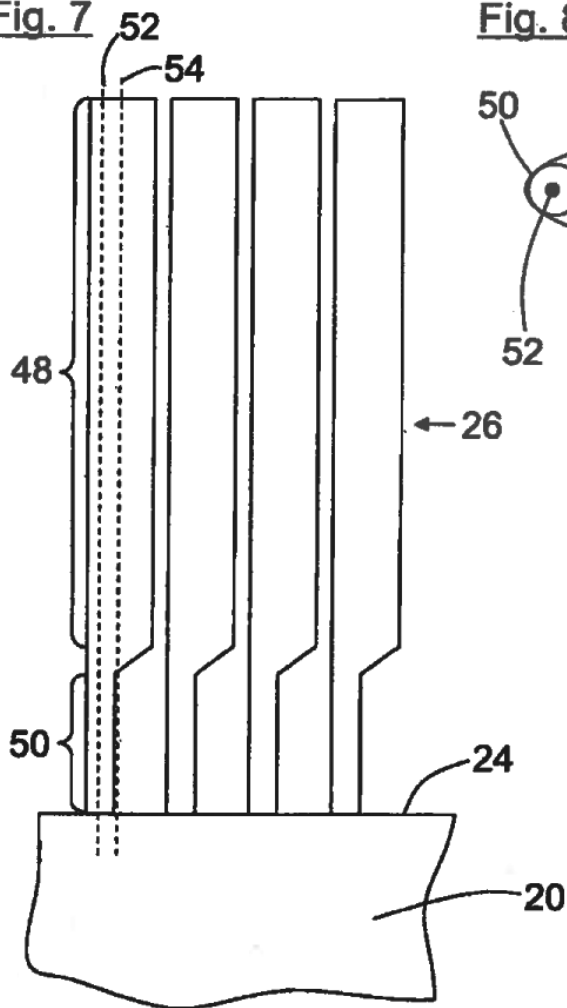


Fig. 8

