

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 117**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.07.2014 PCT/NL2014/050505**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15016704**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2014 E 14753325 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 3027894**

54 Título: **Paleta de rotor para una turbina eólica y campo de turbinas eólicas**

30 Prioridad:

30.07.2013 NL 2011236

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

19.12.2017

73 Titular/es:

**STICHTING ENERGIEONDERZOEK CENTRUM
NEDERLAND (100.0%)**

**Westerduinweg 3
1755 LE Petten, NL**

72 Inventor/es:

**VAN GARREL, ARNE y
BOT, EDWIN THEODORUS GERARDUS**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 647 117 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

Paleta de rotor para una turbina eólica y campo de turbinas eólicas.

5 Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a un campo de turbinas eólicas que comprende una pluralidad de turbinas eólicas posicionadas en una disposición predeterminada.

10 Técnica anterior

[0002] La solicitud de patente europea EP-A-2 508 750 divulga una turbina eólica, donde una parte de cada paleta de rotor dispone de un panel con un borde acanalado o perfil de diente de sierra, o con un panel de sustitución plano, para reducir el ruido. Los paneles que se describen en esta publicación se extienden alrededor de un tercio de la longitud de una paleta de rotor, lo que es necesario para influir realmente en la emisión de ruido de la turbina eólica.

[0003] La publicación de patente de EE.UU. US 6,431,498 B1 (Watts et al.) divulga un equipo para modificar un ala para proporcionar una mayor sustentación sobre proporciones de arrastre en comparación con alas similares con bordes de ataque rectos. Para alas que se extienden en una dirección lateral, y que definen una dirección longitudinal a contracorriente, el equipo forma un borde de ataque que se extiende lateralmente opuesto en la dirección a contracorriente ("borde de ataque de ala dentado"). El equipo forma una pluralidad de protuberancias distanciadas lateralmente a lo largo del borde de ataque, las protuberancias crean una superficie suavemente variable alternativamente hacia delante y hacia atrás a lo largo del borde de ataque relativo a la dirección a contracorriente del flujo a lo largo del borde de ataque.

[0004] La solicitud de patente de EE.UU. US 2009/0074585 (Koegler et al.) divulga un generador de viento y una paleta de turbina que comprenden un borde de salida con dientes muy estrechos para reducir el ruido del borde de salida durante el funcionamiento de la paleta de la turbina. En una forma de realización, un borde de salida de la paleta de la turbina comprende una pluralidad de dientes triangulares, con una longitud en la dirección del flujo de aire de aproximadamente el 10-40% de la cuerda del perfil alar local.

[0005] Estas paletas de turbina de la técnica anterior están diseñadas para maximizar la sustentación, minimizar el arrastre, proporcionar la máxima eficiencia aerodinámica de la paleta de rotor y/o reducir las emisiones de sonido.

[0006] Otras paletas de turbina eólica de la técnica anterior se conocen a través de DE 10 2008 002930 y WO 2009/098340.

40 Resumen de la invención

[0007] La presente invención busca mejorar la eficiencia global de una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico o en una configuración de parque eólico. Para ello, la presente invención busca modificar el comportamiento del flujo de viento de una o más turbinas eólicas modificando la aerodinámica de una paleta de rotor.

[0008] Según la presente invención, se proporciona tal como se ha definido anteriormente un campo de turbinas eólicas que comprende una pluralidad de turbinas eólicas posicionadas en una disposición predeterminada, donde solo al menos una turbina eólica en un extremo de la disposición predeterminada dispone de al menos una paleta de rotor, donde la punta de la paleta comprende un desestabilizador de vórtice que se configura para desestabilizar el vórtice de la punta de la paleta durante el funcionamiento de la paleta de rotor. La punta de la paleta tiene una longitud total de envergadura de como mucho el 10% de una longitud total de envergadura de la parte principal de la paleta, por ejemplo como mucho del 5%. Esto resulta en solo una penalización limitada en la eficiencia de la paleta de rotor específica con el desestabilizador de vórtice en combinación con la mejora deseada en la mezcla de estelas.

[0009] A partir de experimentos en una pluralidad de turbinas eólicas en una disposición en modo de fila, se ha descubierto que una turbina eólica que funciona en una estela generada por dos o más turbinas eólicas a contracorriente puede producir más energía que una turbina eólica que funciona en una estela generada por una única turbina eólica a contracorriente. También se ha descubierto que la reducida generación de energía de una turbina eólica que funciona en la estela de una turbina eólica más a contracorriente no corresponde o implica necesariamente una energía eólica reducida en la estela de dicha turbina más a contracorriente. Este efecto sorprendente se atribuye a una falta de mezcla o turbulencia en la estela generada por la turbina eólica más a contracorriente. También, en una disposición en modo de fila de una pluralidad de turbinas eólicas, se ha descubierto que una falta de mezcla o turbulencia inmediatamente detrás de una turbina eólica más a

contracorriente causa que las turbinas eólicas orientadas en el sentido de la corriente generen menos energía y sean menos eficaces.

5 [0010] El sorprendente y contradictorio efecto de la presente invención es que una reducción en la eficiencia de una o más turbinas eólicas a contracorriente en un campo de turbinas eólicas mejora en realidad la eficiencia de las turbinas eólicas en el sentido de la corriente de manera que se aumenta en realidad la eficiencia general del campo de turbinas eólicas (central eléctrica de turbinas eólicas o parque eólico).

10 [0011] En un grupo de formas de realización, el desestabilizador de vórtice proporciona una cuerda local cambiante o una periodicidad a lo largo del borde de salida con una anchura periódica de entre el 30% y 300% de una longitud de cuerda local asociada de la punta de la paleta. En otras formas de realización, la anchura periódica es de entre el 50% y 200%, o incluso de entre el 80% y 160%, tal como el 100% de la longitud de cuerda local asociada de la punta de la paleta. La cuerda local cambiante puede suponer una variación sinusoidal, pero también se pueden utilizar otras formas, tales como variantes de forma triangular o trapezoidal.
15 Estos valores de anchura periódica son claramente mayores que las formas periódicas usadas en publicaciones del la técnica anterior para fines de reducción de ruido (que de hecho tratan de imitar una pluma de pájaro).

20 [0012] En una forma de realización ventajosa, el desestabilizador de vórtice comprende uno o más elementos de modificación de superficie locales (por ejemplo en forma de extensiones de cuerda) a lo largo de un borde de salida de la punta de la paleta. Esto dará lugar a una distribución de sustentación variable u oscilante en la envergadura de la punta de la paleta. La distribución de sustentación variable en la envergadura proporciona vórtices de la punta de la paleta adicionales que mejoran la mezcla de estelas en la región en el sentido de la corriente de la turbina eólica provista de tal paleta de rotor, a costa de una pequeña pérdida en la eficiencia de la turbina eólica provista de la paleta de rotor modificada.
25

[0013] En otras formas de realización, el desestabilizador de vórtice comprende uno o más elementos de deflexión descendente o modificaciones de superficie inferior de la punta de la paleta y/o uno o más elementos de deflexión ascendente o modificaciones de superficie superior de la punta de la paleta. Los elementos de deflexión descendente tienden a tener un mayor efecto deseado en la mezcla de estelas, ya que este tipo de elementos de modificación de superficie local aumentan la sustentación localmente con una cuerda aumentada, un aumento de curvatura trasera y un ángulo de ataque aumentado.
30

[0014] El número de elementos de modificación de superficie local en una forma de realización ventajosa es de entre uno y ocho, lo que proporciona un efecto suficiente en la mezcla de estelas y una posibilidad de modificación fácil de las paletas de rotor existentes. En otro grupo de formas de realización, se dispone el desestabilizador de vórtice para formar un borde de salida secundario en la punta de la paleta, donde el borde de salida secundario es un borde de salida recto, es decir, que a lo largo del desestabilizador de vórtice, la punta de la paleta tiene una longitud de cuerda continua.
35

[0015] El desestabilizador de vórtice tiene una longitud de extensión de entre el 0% y 25% de una longitud de cuerda local asociada de la punta de la paleta en otra forma de realización, que proporciona un efecto suficiente en el vórtice de la estela de la paleta de rotor y de la turbina eólica asociada.
40

[0016] La implementación real del desestabilizador de vórtice puede comprender uno o más elementos que proporcionan una variación de cuerda local del perfil de la paleta de rotor, un elemento que proporciona una variación del perfil alar local del perfil de la paleta de rotor (por ejemplo un aumento/reducción de curvatura trasera; un aumento/reducción de ángulo de ataque), un elemento que proporciona una variación de torsión local del perfil de la paleta de rotor, un elemento de extensión de cuerda local, un *flap* recto, un *flap* curvo, un deflector de borde de salida, una *flap* de Guerny, etc. Todos estos tipos de elementos son conocidos como tales por los expertos en la técnica de la aerodinámica y se pueden usar para mejorar la mezcla de estelas en el sentido de la corriente de la paleta de rotor introduciendo una distribución de sustentación oscilatoria sobre la longitud de la punta de la paleta para desestabilizar un vórtice de la punta de la paleta.
45
50

[0017] Las paletas de rotor actuales se pueden equipar con una punta de paleta que comprende una aleta o pala de punta. Según otra forma de realización, el desestabilizador de vórtice se dispone al menos parcialmente en la aleta o pala de punta, que es una ubicación muy eficaz para influir en el vórtice de la paleta del rotor. El desestabilizador de vórtice comprende uno o más elementos separados acoplables a la punta de la paleta de la paleta del rotor en otra forma más de realización. Como son uno o más elementos separados, que se pueden adherir a la paleta de rotor usando por ejemplo una conexión de perno, pegamento (por ejemplo resina) o una conexión de agarre, se puede modificar las paletas de rotor existentes de una manera eficaz. Con un desestabilizador de vórtice como una pieza adicional se reducen significativamente los costes de mantenimiento y de mejora de las paletas de rotor de la técnica anterior, ya que no necesitan ser sustituidas completamente, lo que elimina el uso de equipos pesados de sustentación y de transporte y mantienen las propiedades mecánicas de la estructura subyacente en caso de paletas diseñadas teniendo en cuenta el desestabilizador de vórtice. La presente invención se refiere a un campo de turbinas eólicas (o parque de turbinas eólicas, central eléctrica de turbinas eólicas) tal como se ha definido anteriormente, donde al menos una turbina eólica en un límite de la
55
60
65

disposición predeterminada dispone de al menos una paleta de rotor según una de las formas de realización de la presente invención. Por ejemplo, las turbinas eólicas en el límite de la disposición predeterminada están todas provistas de una paleta de rotor modificada de este tipo, o las turbinas eólicas en una parte del límite de la disposición predeterminada orientadas a los vientos predominantes locales. Como resultado de la mejorada mezcla de estelas de las turbinas eólicas modificadas (en la primera fila de un campo de turbinas eólicas), la turbina eólica en el sentido de la corriente tendrá una mejor eficiencia y así se mejorará la eficiencia global del campo de turbinas eólicas.

[0018] Estas y otras características y ventajas de la presente invención se harán aparentes por medio de ejemplo en la descripción detallada de formas de realización ejemplares.

Descripción corta de dibujos

[0019] Se comentará la presente invención con más detalle de ahora en adelante en base a un número de formas de realización ejemplares con referencia a los dibujos anexos, donde:

La fig. 1 muestra una vista desde arriba de una forma de realización de una paleta de rotor según una forma de realización de la presente invención.

Las fig. 2a y 2b muestran una vista desde arriba y una vista lateral de una forma de realización de una punta de paleta según una forma de realización de la presente invención.

La fig. 3 muestra una vista en corte transversal de otra forma de realización de una punta de paleta de una paleta de rotor según la presente invención.

Las fig. 4a y 4b muestran una vista desde arriba y una vista lateral de otra forma más de realización de una punta de paleta de una paleta de rotor.

Las fig. 5a y 5b muestran una vista desde arriba y una vista lateral de incluso otra forma más de realización de una punta de paleta de una paleta de rotor según una forma de realización de la presente invención.

La fig. 6 muestra una vista en corte transversal de otra forma de realización de una punta de paleta de una paleta de rotor según la presente invención.

Descripción detallada de formas de realización ejemplares

[0020] Para claridad y facilidad de referencia, se referirá a una pluralidad o a un múltiplo de turbinas eólicas como un campo, una central eléctrica o un parque de turbinas eólicas. Aunque un campo de turbinas eólicas podría comprender por ejemplo una única turbina eólica, en vista de la presente invención, un campo de turbinas eólicas comprende al menos dos turbinas eólicas, es decir, una pluralidad de turbinas eólicas.

[0021] El término "a contracorriente" se referirá a una dirección que es sustancialmente paralela pero en la dirección opuesta de la dirección del viento gobernante con respecto a una turbina eólica (o un campo). El término "en el sentido de la corriente" debe referirse a una dirección que es sustancialmente paralela y en la misma dirección de la dirección del viento gobernante.

[0022] Según la presente invención, se puede conseguir un aumento de la eficiencia y de la generación de energía de un campo de turbinas eólicas generando la turbulencia suficiente en una estela inmediatamente después de una turbina eólica más a contracorriente en un límite de un campo de turbinas eólicas. Sorprendentemente se ha descubierto que generar la turbulencia suficiente inmediatamente detrás la turbina eólica más a contracorriente (mezcla de vórtices de estela) en un campo de turbinas eólicas causa que las turbinas eólicas en el sentido de la corriente generen más energía que en una situación donde no se produce mezcla de vórtices de estela. Como resultado, el campo de turbinas eólicas o parque eólico como conjunto se vuelve más eficaz y genera más energía.

[0023] La fig. 1 muestra una vista desde arriba de una forma de realización de una paleta de rotor según una forma de realización de la presente invención. La paleta de rotor 1 comprende una parte principal de la paleta 4 con una parte de raíz 2 conectable a un rotor y una punta de paleta 8 fijamente conectada a la parte principal de la paleta 4 distal de la parte de raíz 2. La parte principal de la paleta 4 comprende un borde de ataque recto 5 y un borde de salida recto 6, que se extienden ambos a lo largo de una longitud total de envergadura $L1$, de la parte principal de la paleta 4. Los bordes de ataque y de salida rectos 5, 6 son bordes lisos que se encuentran comúnmente en las paletas de rotor de la técnica anterior, donde el borde de ataque recto 5 y el borde de salida recto 6 definen cada uno un borde liso monótonamente cambiante cuando se ve en la vista desde arriba de la paleta de rotor 1.

[0024] Hay diferentes maneras para generar más turbulencia en un vórtice de estela detrás de una turbina eólica. Según la invención, se proporcionan varias formas de realización de una paleta de rotor que comprenden una parte principal de la paleta con una parte de raíz conectable a un rotor de una turbina eólica y una punta de la paleta 8 distal a la parte de raíz. Durante el funcionamiento de la paleta de rotor 1, se desestabiliza un vórtice de punta de la paleta detrás la turbina eólica mediante una distribución de sustentación variable en una dirección de envergadura de la paleta de rotor cerca de la punta de la paleta 8. Una dirección de envergadura debe referirse a una dirección a lo largo de la paleta de rotor 1 desde la parte de raíz a la punta de la paleta 8, o viceversa, visto en una vista desde arriba de la paleta de rotor 1, como la vista desde arriba de la figura 1. La distribución de sustentación variable para desestabilizar los vórtices se puede conseguir a través de una variación de la envergadura de por ejemplo longitudes de cuerda, formas de perfil alar y/o ángulos de torsión de la paleta locales de la punta de la paleta 8.

[0025] En las formas de realización de la presente invención, la punta de la paleta 8 comprende un borde de ataque recto 9 que se extiende a lo largo de una longitud total de envergadura L_2 de la punta de la paleta 8 y un desestabilizador de vórtice 7, donde el desestabilizador de vórtice 7 se configura para desestabilizar vórtices de punta de la paleta durante el funcionamiento de la paleta de rotor 1. En la forma de realización mostrada, el desestabilizador de vórtice 7 está dispuesto a lo largo de una longitud de envergadura de un borde de salida 10 de la punta de la paleta 8. La longitud total de envergadura L_2 es como máximo el 10% de la longitud total de envergadura L_1 de la parte principal de la paleta 4. Esto permite ubicar adecuadamente el desestabilizador de vórtice con el fin previsto, sin conllevar demasiada penalización en la eficiencia de la turbina eólica. En otra forma de realización, el desestabilizador de vórtice 7 se sitúa en una sección de la punta de la paleta 8 con una longitud total de envergadura L_2 de como mucho el 5% de la longitud total de envergadura L_1 de la parte principal de la paleta 4. Esto proporciona todavía una suficiente desestabilización de vórtice, pero supone incluso una menor influencia en el arrastre, etc. de la paleta de rotor 1.

[0026] Más precisamente, el desestabilizador de vórtice 7 de la presente invención es capaz de desestabilizar un vórtice de la punta de la paleta generando vórtices de punta de la paleta adicionales a través de una distribución de sustentación variable de envergadura en la punta de la paleta 8 durante el funcionamiento de la paleta de rotor 1. La punta de la paleta 8 de la invención aumenta y promueve la mezcla de la estela detrás de la paleta de rotor 1 además de en la capa límite atmosférica cercana a la punta de la paleta 8. Como resultado, se aumenta más la generación de energía de turbinas eólicas en el sentido de la corriente de un campo de turbinas eólicas.

[0027] La fig. 2a muestra una vista desde arriba de una forma de realización de una punta de paleta 8 según la presente invención. La punta de la paleta 8 comprende un borde de ataque recto 9 que se extiende a lo largo de una longitud total de envergadura L_2 de la punta de la paleta 8 y un desestabilizador de vórtice 7 dispuesto a lo largo de la longitud de envergadura L_2 de un borde de salida 10 de la punta de la paleta 8. En la forma de realización mostrada, el desestabilizador de vórtice 7 comprende uno o más elementos de modificación de superficie en forma de extensiones de cuerda local 11. Las extensiones de cuerda local 11 alargan localmente la cuerda más allá del borde de salida 10 de la punta de la paleta 8, lo que se indica en la fig. 2a con dos flechas y la referencia l . Por lo tanto, una extensión de cuerda local 11 tiene una longitud de cuerda local asociada L_{c+} entre el borde de ataque recto 9 de la punta de la paleta y un punto más externo de la extensión de cuerda local 11.

[0028] Se configuran una o más extensiones de cuerda local 11 para generar vórtices de salida adicionales que desestabilicen un vórtice de la punta de la paleta 8 durante el funcionamiento de la paleta de rotor 1, imponiendo así una distribución de sustentación oscilatoria variable en envergadura a lo largo de la punta de la paleta 8.

[0029] La fig. 2b muestra una vista lateral de una forma de realización de una punta de la paleta 8 según la presente invención. En esta forma de realización la punta de la paleta 8 comprende una superficie de punta superior 12 y una superficie de punta inferior 14. Los elementos de modificación de superficie están ahora implementados como una o más extensiones de cuerda local 11a, 11b que se disponen de manera ascendente (elementos de deflexión ascendente 11a), de manera descendente (elementos de deflexión descendente 11b) o una combinación alterna de las mismas (como mostrada en la forma de realización de la figura 2b). El término "ascendente" debe referirse a una dirección vista desde el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8 hacia la superficie de la punta superior 12 y el término "descendente" debe referirse a una dirección desde el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8 hacia la superficie de punta inferior 14.

[0030] En otras formas de realización, cada extensión o extensiones de cuerda local 11 se disponen de manera neutral con respecto a la punta de la paleta 8, lo que significa que cada extensión o extensiones de cuerda local 11 extiende una línea de curvatura local asociada en una posición asociada a una extensión de cuerda local 11 (formando un borde de salida ondulado 10 de la punta de la paleta 8). Aquí, una línea de curvatura de una forma de perfil alar de por ejemplo la punta de la paleta 8 se define como una curva que es equidistante entre la superficie de punta superior 12 y la superficie de punta inferior 14 de la punta de la paleta 8.

[0031] Las disposiciones anteriores de la extensión o extensiones de cuerda local 11 pueden ser además explicadas con una vista en sección transversal de una forma de realización de una punta de la paleta 8 según la presente invención, como se muestra en la fig. 3.

5 [0032] La forma de realización de una punta de la paleta 8 mostrada en la fig. 3 comprende una o más extensiones de cuerda local 11a, 11b dispuestas a lo largo del borde de salida 10 de la punta de la paleta 8, donde el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8 comprende una superficie de borde de salida superior 13 y una superficie de borde de salida inferior 15. Típicamente, se puede prever que dos formas de realización de extensiones de cuerda local 11a, 11b puedan proporcionar una configuración de borde de salida ondulado para la punta de la paleta 8.

10 [0033] En una primera forma de realización, cada extensión o extensiones de cuerda local 11b proporciona una curvatura que mejora la modificación de la superficie de punta inferior 14 o la modificación de la superficie de borde de salida inferior 15. En una segunda forma de realización, la extensión o extensiones de cuerda local 11a, 11b proporcionan una curvatura que mejora la modificación de superficie de punta superior 12 o la modificación de superficie de borde de salida superior 13 de manera alterna a lo largo del borde de salida 10 de la punta de la paleta 8. La extensión o extensiones de cuerda local 11a, 11b proporcionan un ángulo disminuido o aumentado de ataque y sustentación, como resultado de lo cual se consigue una mayor mezcla de estelas.

15 [0034] Con respecto a las dimensiones de la extensión o extensiones de cuerda local 11 como se ha descrito anteriormente en relación a las formas de realización de las fig. 1, 2a, 2b y 3, cada extensión o extensiones de cuerda local 11 tiene una anchura w de entre el 40% y 200% de una longitud de cuerda local L_c , por ejemplo de entre el 50% y 200%. Este rango tiene valores mucho mayores que la anchura típicamente empleada en las modificaciones de borde de salida para reducción de ruido, tales como los dientes. Por ejemplo, en el documento de la técnica anterior US2009/0074585, la longitud de los dientes se define como de entre el 10% y 40% de la cuerda local, y la proporción de longitud y anchura de los dientes se define como de entre 1:1 y 4:1 de la longitud de diente. En estas formas de realización de la técnica anterior, típicamente la anchura de un diente es por consiguiente menos del 40% de la longitud de cuerda local, o incluso mucho más pequeña. En otras formas de realización de la presente invención, la anchura periódica w es de entre el 80% y 160%, tal como el 100% de la longitud de cuerda local asociada L_c . Esto asegura que durante el funcionamiento se generen suficientes vórtices adicionales en la punta de la paleta 8 para obtener el efecto deseado de esta invención, es decir, la desestabilización de vórtices.

20 [0035] En otras formas de realización, cada extensión o extensiones de cuerda local 11 tiene una longitud l de entre el 0% y 25% de una longitud de cuerda local L_c .

25 [0036] Las fig. 4a y 4b muestran, respectivamente, una vista desde arriba y una vista lateral de otra forma de realización de una punta de la paleta 8 según la presente invención. Como se muestra en la fig. 4a, cada elemento o elementos de modificación de superficie se implementan como extensiones de cuerda local 16a, 16a, 16b que comprenden un borde de salida extensible recto 17 sustancialmente paralelo al borde de salida 10 de la punta de la paleta 8. En esencia, cada extensión o extensiones de cuerda local 16a, 16b desplaza hacia atrás el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8 una distancia l , produciendo el borde de salida extensible recto 17.

30 [0037] Nótese que la extensión o extensiones de cuerda local 11 representadas en la fig. 2a proporcionan una configuración de borde de salida ondulado o sinusoidal para la punta de la paleta 8 como se ha visto en una vista desde arriba de la punta de la paleta 8 de la fig. 2a. Este no es el caso para la forma de realización mostrada en la fig. 4a, donde el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8 se desplaza hacia atrás en una forma paralela a partir de una longitud de cuerda local L_c hasta una longitud de cuerda local aumentada L_c+l , produciendo un borde de salida extensible 17 para cada extensión o extensiones de cuerda local 16.

35 [0038] En una forma de realización ventajosa, la extensión o extensiones de cuerda local 16a, 16b se disponen de una manera ascendente 16a, de manera descendente 16b o una combinación de las mismas, produciendo una distribución de sustentación oscilatoria variable en envergadura a lo largo de la punta de la paleta 8 para desestabilizar el vórtice de la punta de la paleta (la última alternativa se muestra en la forma de realización de la fig. 4b).

40 [0039] En otra forma de realización ventajosa, cada extensión o extensiones de cuerda local 16 es un *flap* sustancialmente rectangular y plano. En esta forma de realización, la extensión o extensiones de cuerda local 16a, 16b son *flaps* sustancialmente planos y rectangulares que proporcionan una configuración de borde de salida más discontinuo o no homogéneo para la punta de la paleta 8, produciendo una mezcla de estelas más fuerte.

45 [0040] Las fig. 5a y 5b muestran, respectivamente, una vista desde arriba y una vista lateral de otra forma de realización de una punta de la paleta 8 según la presente invención. Como se representa en la fig. 5a, cada extensión o extensiones de cuerda local 16a, 16b comprende un borde de salida extensible recto 17 sustancialmente paralelo al borde de salida 10 de la punta de la paleta 8, desplazando esencialmente más hacia

atrás el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8, o cambiando de una longitud de cuerda local L_c a una longitud de cuerda local aumentada L_{c+} . En la fig. 5b se puede observar que la extensión o extensiones de cuerda local 16a, 16b proporcionan una configuración de borde de salida en forma ondulada o sinusoidal en dirección ascendente y descendente, proporcionando todavía suficiente distorsión del vórtice de la punta de la paleta.

[0041] Nótese que la extensión o extensiones de cuerda local 16a, 16b representadas en la fig. 4b proporcionan una configuración de borde de salida más discontinua o no homogénea para la punta de la paleta 8 en comparación con la configuración de borde de salida en forma ondulada o sinusoidal mostrada en la fig. 5b. Como resultado, la distribución de sustentación variable en envergadura para la punta de la paleta 8 mostrada en la forma de realización de la fig. 4b puede ser menos lisa o menos gradual que la distribución de sustentación variable en envergadura para la punta de la paleta 8 mostrada en la fig. 5b.

[0042] Se indica que los elementos que forman el desestabilizador de vórtice 7 como se ha comentado en relación a las formas de realización anteriormente descritas se alinean en la dirección del flujo de aire sobre la paleta de rotor 1, sin ninguna desviación ni ángulo. Esto asegura una pequeña influencia negativa en el arrastre, etc. de la paleta de rotor 1, obteniendo sin embargo todavía el efecto deseado de desestabilización de vórtice.

[0043] Según la presente invención, la distribución de sustentación variable en envergadura en la punta de la paleta 8 durante el funcionamiento de la paleta de rotor 1 también se puede realizar sin extender las longitudes de las cuerdas locales de la punta de la paleta 8 como se representa en las fig. 2a, 4a o 5a. En cambio, la paleta de rotor 8 de la presente invención se puede proporcionar con un desestabilizador de vórtice 7 que comprende uno o más deflectores de aire dispuestos a lo largo de las superficies de borde de salida sin extender localmente el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8, proporcionando sin embargo todavía un grado suficiente de mezcla de vórtice de estela. Como alternativa, la punta de la paleta 8 se puede proporcionar con modificaciones de la paleta de rotor 1 que incluyen un ángulo de torsión local de la paleta de rotor 1. Nuevamente, esto se puede implementar en el diseño integral de la paleta de rotor o adicionarse como uno o más elementos separados.

[0044] Por ejemplo, la fig. 6 muestra una vista en corte transversal de otra forma de realización de una punta de la paleta 8 según la presente invención. En esta forma de realización, el desestabilizador de vórtice 7 comprende uno o más elementos de modificación de superficie en forma de deflectores de borde de salida 18a, 18b, donde cada deflector o deflectores de borde de salida 18a, 18b está dispuesto en una superficie de borde de salida superior 13, respectivamente una superficie de borde de salida inferior 15 entre el borde delantero recto 9 y el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8. El deflector o los deflectores de borde de salida 18a, 18b no se extienden más allá del borde de salida 10 de la punta de la paleta 8 en esta forma de realización, sin embargo se obtiene ahora una distribución de sustentación variable en envergadura a través de la deflexión de aire local adicional con el deflector o los deflectores de borde de salida 18a, 18b. El deflector o los deflectores de borde de salida 18a, 18b proporcionan vórtices de punta de la paleta adicionales durante el funcionamiento de la punta de la paleta 8, de modo que se cambia una distribución de sustentación en envergadura en la punta de la paleta y se generan vórtices de punta de la paleta adicionales, por lo que se aumenta la mezcla de estelas.

[0045] En una forma de realización, cada deflector o deflectores de borde de salida 18a, 18b comprende una superficie de deflexión lisa que extiende suavemente una superficie de punta superior asociada 12 o una superficie de punta inferior asociada 14. Más precisamente, para un deflector de borde de salida 18a dispuesto en una superficie de borde de salida superior 13 en una posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8, el deflector de borde de salida 18a comprende una superficie de deflexión lisa que extiende suavemente la superficie de punta superior 12 en la posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8. Por el contrario, para un deflector de borde de salida 18b dispuesto en una superficie de borde de salida inferior 15 en una posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8, el deflector de borde de salida 18b comprende una superficie de deflexión lisa que extiende suavemente la superficie de punta inferior 14 en la posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8.

[0046] Cada deflector o deflectores de borde de salida 18a, 18b proporcionan además un aumento de curvatura trasera de la punta de la paleta 8, proporcionando así una distribución de sustentación variable para desestabilizar vórtices de punta de la paleta.

[0047] En una forma de realización alternativa, cada deflector o deflectores de borde de salida 18a, 18b comprende una superficie de deflexión sustancialmente perpendicular respecto a una superficie de punta superior asociada 12 o una superficie de punta inferior asociada 14 (también conocida en el campo como *flap* de Guerny). Esto es, para un deflector de borde de salida 18a dispuesto en una superficie de borde de salida superior 13 en una posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8, el deflector de borde de salida 18a comprende una superficie de deflexión sustancialmente perpendicular con respecto a la superficie de punta superior 12 en la posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8. Por el contrario, para un deflector de borde de salida 18b dispuesto en una superficie de borde de salida inferior 15 en una posición de envergadura particular en la punta de la paleta 8, el deflector de borde de salida 18b comprende una superficie de deflexión sustancialmente perpendicular con respecto a la superficie de punta inferior 14 en la posición de

envergadura particular en la punta de la paleta 8. Cada deflector o deflectores de borde de salida 18a, 18b está dispuesto entre el borde de ataque recto 9 y el borde de salida 10 de la punta de la paleta 8, proporcionando una distribución de sustentación variable para desestabilizar vórtices de punta de la paleta.

5 [0048] En una forma de realización típica, cada deflector o deflectores de borde de salida 18a, 18b comprende un deflector en forma de L dispuesto en una superficie de borde de salida superior 13 o una superficie de borde de salida inferior 15. El deflector en forma de L aumenta la mezcla de estelas y proporciona vórtices de punta de la paleta adicionales y suponen una actualización fácil para una paleta de rotor existente 1.

10 [0049] Las modificaciones de borde de salida de la punta de la paleta 8 de las formas de realización de la presente invención comprenden cualquier modificación descrita previamente tal como la extensión o extensiones de cuerda local 11a, 11b, 16a, 16b, las modificaciones de curvatura trasera 18a, 18b y el aumento de un ángulo de ataque 11b, 16b, 18b. Todas estas modificaciones aumentan localmente la sustentación en la punta de la paleta 8 durante el funcionamiento de la paleta de rotor 1 y proporcionan así además una mayor mezcla de estelas y vórtices de punta de la paleta adicionales.

15 [0050] En formas de realización ventajosas, la modificación de borde de salida de la punta de la paleta 8 puede formarse íntegramente con la punta de la paleta 8 durante el proceso de fabricación de una paleta de rotor 1. Esto permite combinar las últimas tecnologías de formas de perfil alar de las partes principales de la paleta con las modificaciones de borde de salida de la presente invención. Por otro lado, se puede ganar mucho modificando paletas de rotor regulares existentes, esto es, paletas de rotor con un borde de salida recto a lo largo de una longitud total de envergadura de la paleta de rotor. Para ese fin, el desestabilizador de vórtice 7 es una pieza separada acoplable a una punta de la paleta de una paleta de rotor regular. En esta forma de realización, las paletas de rotor regulares existentes se pueden actualizar con el desestabilizador de vórtice 7 de la presente invención, de modo que pueda mejorarse la generación de energía de los campos de turbinas eólicas o parques eólicos existentes.

20 [0051] En otro aspecto, la presente invención podría también usarse en combinación con o como parte de, por ejemplo, aletas o palas de punta, que proporcionarían grados de libertad adicionales para desestabilizar vórtices de punta de la paleta.

25 [0052] El uso de la punta de la paleta 8 que comprende un desestabilizador de vórtice 7 es ventajoso para un anillo externo de una o más turbinas eólicas en el límite de un campo de turbinas eólicas. Así, la presente invención es particularmente adecuada para un campo de turbinas eólicas que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, donde al menos una turbina eólica en un límite del campo de turbinas eólicas dispone de al menos una paleta de rotor 1 según cualquiera de las formas de realización anteriormente descritas. En otras formas de realización, todas las turbinas eólicas en un anillo externo de una disposición de un campo de turbinas eólicas disponen de una o más paletas de rotor según una de las formas de realización descritas aquí, asegurando que la mezcla de vórtice de estela esté siempre presente sin tener en cuenta la dirección real del viento durante el funcionamiento. En otra forma más de realización, solo se equipa una fila de turbinas eólicas del lado "frontal" con una paleta de rotor modificada, por ejemplo la fila de turbinas eólicas en la disposición orientadas en la dirección del viento más predominante en la ubicación del campo de turbinas eólicas.

30 [0053] En vista de la invención, una punta de la paleta 8 que comprende un desestabilizador de vórtice 7 con longitudes de cuerda variables, modificaciones de curvatura trasera y/o torsiones cerca de la punta de la paleta 8 para generar vórtices de salida extra para desestabilizar el vórtice de la punta resulta particularmente ventajosa para mejorar eficientemente los campos de turbinas eólicas o parques eólicos.

35 [0054] Cabe señalar que las paletas de rotor de la técnica anterior y las modificaciones de paleta de rotor se centran en un mayor rendimiento aerodinámico, un menor arrastre y/o niveles de ruido inferiores. La paleta de rotor 1 de la presente invención, por otro lado, está prevista para dar un arrastre algo mayor y un suministro de energía inferior en una turbina eólica en la que se instala la paleta de rotor 1. La idea de la presente invención es que la paleta de rotor 1 debería instalarse en una o más turbinas eólicas en un límite del parque eólico, de modo que se mejore la mezcla de estelas en el sentido de la corriente y que la central eléctrica eólica en su totalidad produzca más energía. Por ello, la presente invención tiene el efecto sorprendente de que una reducción local de eficiencia de una turbina eólica en realidad mejora la eficiencia global del campo de turbinas eólicas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Campo de turbinas eólicas que comprende una pluralidad de turbinas eólicas posicionadas en una disposición predeterminada, donde solo al menos una turbina eólica en un límite de la disposición predeterminada dispone de al menos una paleta de rotor (1), la paleta de rotor (1) comprende una parte principal de la paleta (4) con una punta de la paleta (8), la punta de la paleta (8) dando como resultado un vórtice de la punta de la paleta en el sentido de la corriente de la paleta de rotor (1) durante el funcionamiento, donde la punta de la paleta (8) comprende un desestabilizador de vórtice (7), el desestabilizador de vórtice (7) estando configurado para desestabilizar la punta de la paleta de vórtice durante el funcionamiento de la paleta de rotor (1), y el desestabilizador de vórtice (7) siendo proporcionado a lo largo de una longitud total de envergadura (L2) de como mucho el 10% de una longitud total de envergadura (L1) de la parte principal de la paleta (4).
- 10
- 15 2. Campo de turbinas eólicas según la reivindicación 1, donde el desestabilizador de vórtice se dispone a lo largo de una longitud total de envergadura (L2) de como mucho el 5% de una longitud total de envergadura (L1) de la parte principal de la paleta (4).
- 20 3. Campo de turbinas eólicas según la reivindicación 1 o 2, donde el desestabilizador de vórtice (7) tiene una periodicidad a lo largo del borde de salida (10) con una anchura periódica (w) de entre el 40% y 300% de una longitud de cuerda local asociada (Lc) de la punta de la paleta (8).
- 25 4. Campo de turbinas eólicas según la reivindicación 3, donde la anchura periódica (w) es de entre el 50% y 200%, por ejemplo de entre el 80% y 160%, por ejemplo igual a aproximadamente el 100%, de una longitud de cuerda local asociada (Lc) de la punta de la paleta (8).
- 30 5. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde el desestabilizador de vórtice (7) comprende uno o más elementos de modificación de superficie (11; 16; 18) a lo largo de un borde de salida (10) de la punta de la paleta (8).
- 35 6. Campo de turbinas eólicas según la reivindicación 5, donde el desestabilizador de vórtice (7) comprende uno o más elementos de deflexión descendente (11b; 16b; 18b).
7. Campo de turbinas eólicas según la reivindicación 5 o 6, donde el desestabilizador de vórtice (7) comprende uno o más elementos de deflexión ascendente (11a; 16a; 18a).
- 40 8. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 5-7, donde el desestabilizador de vórtice (7) está dispuesto para formar un borde de salida secundario (17) para la punta de la paleta (8), donde el borde de salida secundario (17) es un borde de salida recto.
- 45 9. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, donde el desestabilizador de vórtice (7) tiene una longitud de extensión (l) de entre el 1% y 25% de una longitud de cuerda local asociada (Lc) de la punta de la paleta (8).
10. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, donde el desestabilizador de vórtice (7) comprende uno o más de:
- un elemento que proporciona una variación de cuerda local del perfil de la paleta de rotor;
 - un elemento que proporciona una variación de perfil alar local de la paleta de rotor;
 - un elemento que proporciona una variación de torsión local del perfil de la paleta de rotor;
 - un elemento de extensión de cuerda local; un *flap* recto; un *flap* curvo; un deflector de borde de salida; un *flap* de Guerny.
- 55 11. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, donde la punta de la paleta (8) comprende una aleta o pala de punta y el desestabilizador de vórtice (7) se proporciona al menos parcialmente en la aleta o pala de punta.
- 60 12. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, donde el desestabilizador de vórtice (7) comprende uno o más elementos separados acoplables a la punta de la paleta (8) de la paleta de rotor (1).
- 65 13. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, donde todas las turbinas eólicas en el límite de la disposición predeterminada están dispuestas con al menos una paleta de rotor (1).

14. Campo de turbinas eólicas según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, donde las turbinas eólicas en una parte del límite de la disposición predeterminada orientada hacia los vientos locales predominantes están dispuestas con al menos una paleta de rotor (1).

Fig. 1

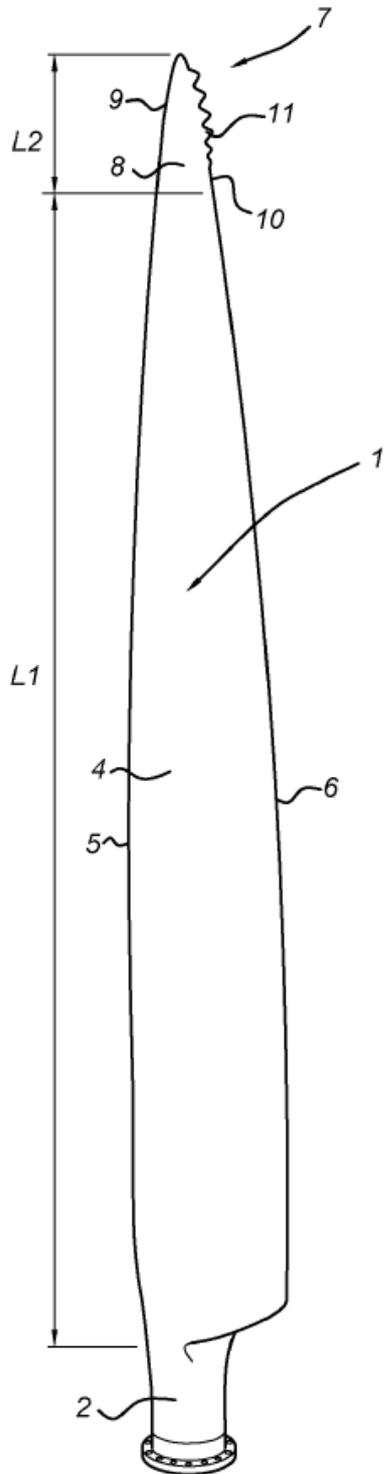


Fig. 2a

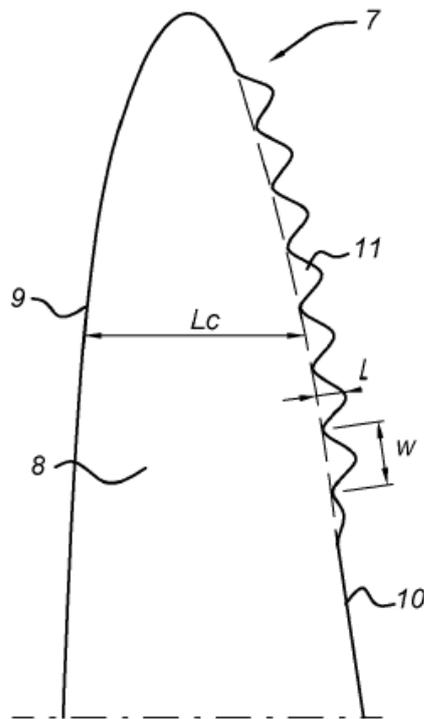


Fig. 2b

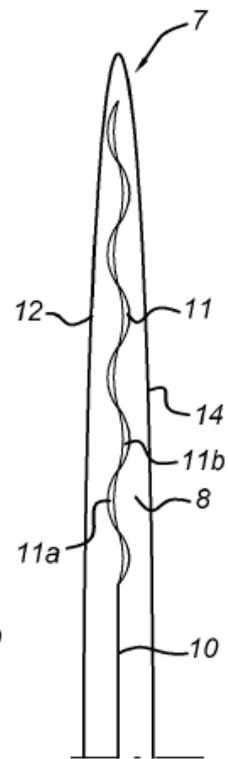


Fig. 3

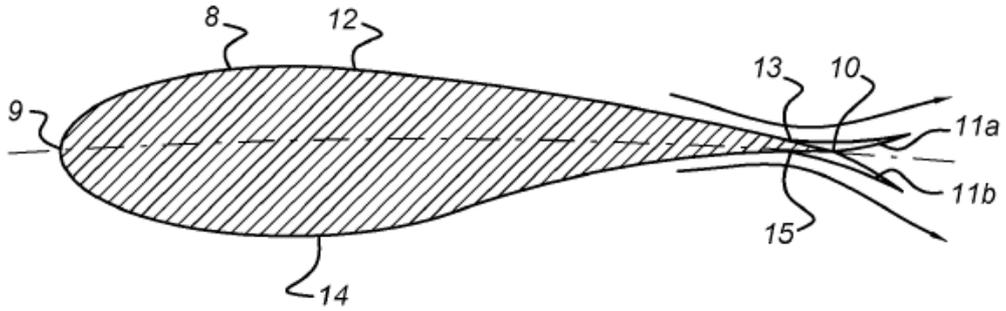


Fig. 4a

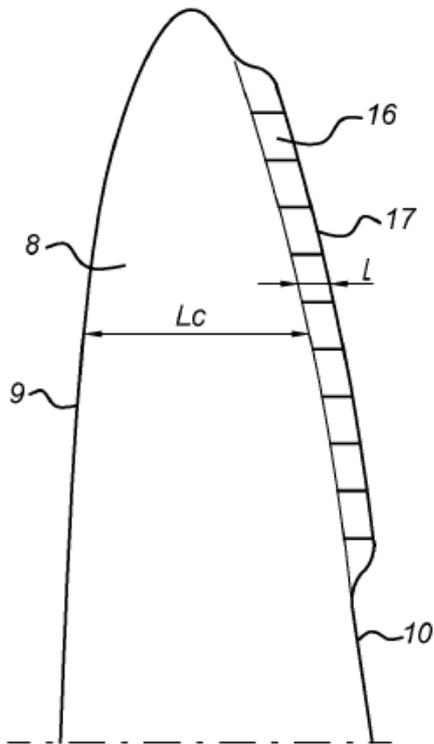


Fig. 4b

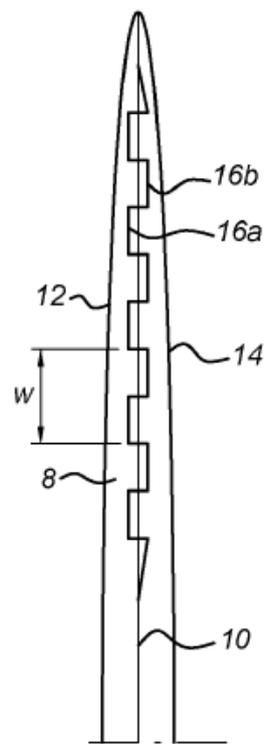


Fig. 5a

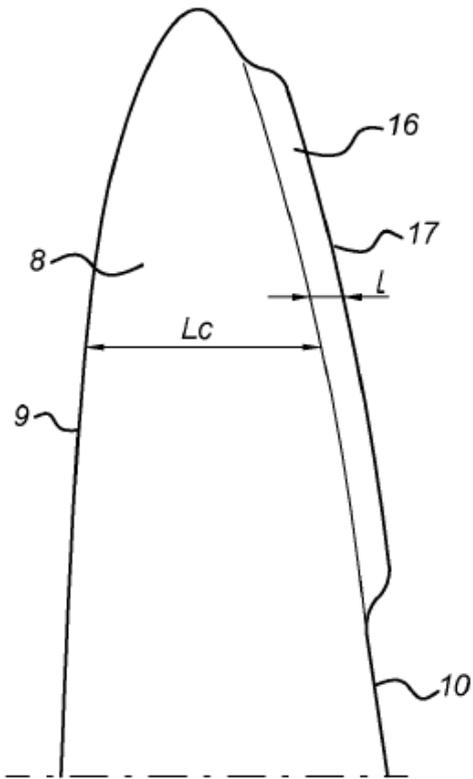


Fig. 5b

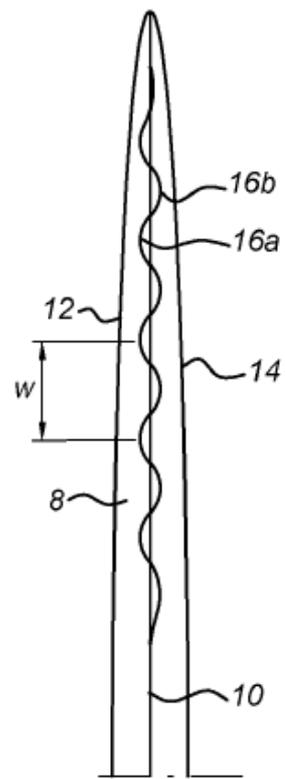


Fig. 6

