

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 061**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2013 PCT/NL2013/000016**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.09.2013 WO13137716**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2013 E 13728545 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 2834517**

54 Título: **Raiz de pala alabeada**

30 Prioridad:

13.03.2012 NL 1039465

18.07.2012 NL 1039739

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

02.02.2021

73 Titular/es:

WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)

Borsigstrasse 26

26607 Aurich, DE

72 Inventor/es:

CORTEN, GUSTAVE, PAUL

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 804 061 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

Raíz de pala alabeada

- 5 La invención se refiere a un conjunto de pala de rotor para una turbina eólica que comprende una raíz de pala, una parte de transición y una parte aerodinámica, en el que la parte de raíz de pala está optimizada esencialmente para la fijación de la pala de rotor al cubo y la parte aerodinámica está optimizada esencialmente para extraer energía del viento y en el que la parte de transición realiza un fenómeno transitorio favorable entre la raíz de la pala y la parte aerodinámica.
- 10 Una sección transversal de la pala perpendicular al eje longitudinal de la pala se denomina perfil. La línea de unión entre dos puntos del perfil con la mayor distancia mutua se denomina cuerda. En el caso de que el borde de salida del perfil sea esencialmente plano, la línea de cuerda corta el borde de salida plano por la mitad. Esta definición de la cuerda también es aplicable para la determinación del alabeo. Una segunda definición de la cuerda progresa de
- 15 manera análoga con la diferencia que está relacionada con el perfil sin extensiones o adiciones. El grosor de perfil más grande perpendicular a la dirección de la cuerda se denomina grosor, que también está relacionado con el perfil sin adiciones ni extensiones. El grosor relativo es la relación entre el grosor y la cuerda, ambos en relación con la sección transversal del perfil sin adiciones o extensiones. En la dirección desde la punta a la raíz, el grosor relativo habitualmente aumenta. Esto es necesario para hacer frente a los momentos de flexión y limitar la flexión de la pala.
- 20 Las palas de rotor modernas tienen una sección transversal circular cerca de la raíz de la pala para que la pala encaje fácilmente con el cojinete de la pala. Entre la raíz de la pala y la parte aerodinámica situada más hacia afuera de una pala de rotor, está ubicada la parte de transición en la que los perfiles se transforman de, por ejemplo, un grosor del 100 % de c_a , por ejemplo, un grosor del 35 % de c , intervalo de grosor que generalmente comprende superficies aerodinámicas con bajo rendimiento aerodinámico. Aun así, para permitir que esta parte contribuya al rendimiento
- 25 energético, se conocen varias realizaciones en la bibliografía.
- Un intento de alcanzar un buen rendimiento aerodinámico de la parte de transición es elegir la cuerda cerca del eje del rotor por más larga de lo convencional como se describe en los documentos PCT/EP2004/003294 y PCT/EP03/05605 (Wobben). Según el fabricante, esta opción da como resultado un aumento del rendimiento del orden
- 30 del 10-15 %, sin embargo, la realización es compleja, pesada y, por lo tanto, costosa. Además, la superficie total del rotor aumenta, lo que conduce, entre otras cosas, a mayores cargas de viento, en particular a la velocidad del viento de supervivencia, lo que significa costos adicionales para la torre y los cimientos. Una variante de esta opción se describe en el documento EP2194267A2 (GE), para el cual también se requieren adiciones grandes, costosas y complejas para capturar el rendimiento adicional. Se pueden encontrar desarrollos adicionales en los documentos
- 35 US20120134836A1 (GE) y US20120141281A1 (GE), para lo cual siempre se aplica que considera grandes adiciones a la pala, lo que genera grandes costes y problemas estructurales. Una parte de transición alternativa se describe en el documento US6910867B2 (Corten) y también se incluye en el documento EP2343450A1 (LM). En este contexto se propone mejorar el rendimiento aerodinámico de la parte cerca de la raíz de la pala para unir manipuladores de flujo tales como generadores de vórtices y tiras de estancamiento. Esta solución es simple y ofrece un rendimiento adicional
- 40 del 1 ½ %, aunque la mayor parte de la pérdida aerodinámica en el centro del rotor persiste.
- Una variante de esta solución se describe en el documento US8052394B2 (Repower), en el que la tira se reemplaza por un gran elemento de bloqueo de flujo agregado a la pala que también caracteriza esta adición como compleja, costosa y arriesgada. Referencias arriesgadas a la probabilidad de que una parte fijada a la raíz de la pala se suelte.
- 45 Otras realizaciones de la parte de transición se describen en los documentos US2011/0229332 A1 (Nordex) y US2012/0027588A1 (GE). En el primer caso, se propone una adición que se desvía mucho de una forma estructuralmente óptima. En el segundo caso, se propone una adición o extensión de, por ejemplo, el 10 % de la longitud de la pala que se fija a la raíz de la pala. Esta también es una solución compleja, costosa y arriesgada.
- 50 La aplicación de aletas de Gurney que bloquean el flujo a los perfiles de la turbina eólica se ha estudiado muchas veces y demuestra que proporciona un aumento de sustentación, pero también una pérdida debido a una mayor resistencia aerodinámica. El documento US20100141269A1 (GE) describe además dicho dispositivo de bloqueo de flujo. En el presente documento se presenta una solución para la fijación de las aletas de Gurney, que se proponen como placas planas plegadas hacia atrás. El problema de esto es que dichas formas tienen una alta rigidez y, por lo
- 55 tanto, atraen fuerzas y, por lo tanto, se sueltan fácilmente de la pala. Las variantes de la aleta de Gurney son adiciones tales como, por ejemplo, se describen en los documentos EP1845258A1 (Siemens) y US2009/0263252A1 (Gamesa). Con esas adiciones en forma de bordes de salida divergentes, se reivindica una resistencia aerodinámica más baja, sin embargo, en comparación con los perfiles sin adiciones, uno no alcanza una sustentación considerablemente mayor, por lo que se requiere una cuerda grande desventajosa para lograr la máxima eficiencia y, además, los bordes
- 60 de salida planos son técnicamente desventajosos desde el punto de vista estructural y de producción y, por lo tanto,

costosos. Se pueden encontrar otros ejemplos de la técnica anterior en MEJIA J M Y COL: "Simulation of wind energy output at Guajira, Colombia", RENEWABLE ENERGY, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, vol. 31, no. 3, 1 de marzo de 2006, páginas 383-399 y EP1152148A1.

5 Dado que el momento de las fuerzas aerodinámicas aumenta al disminuir la distancia al árbol y debido a que el área barrida por una sección de la pala y, por lo tanto, también la participación en el rendimiento de energía disminuye al disminuir la distancia al árbol, una sección transversal de la pala se optimiza de esencialmente aerodinámica a esencialmente estructural en la dirección desde la punta al eje. Esto significa que los perfiles cerca del eje del rotor son relativamente gruesos con la desventaja de la pérdida aerodinámica. El deseo del ingeniero estructural sería elegir a partir de la raíz de la pala hasta una posición radial del 80 % un grosor de perfil que sea (mucho) mayor que el grosor aerodinámicamente óptimo del 15-18 % para crear más altura de construcción de modo que un diseño de pala más liviana sea alcanzable. Sin embargo, la relación entre sustentación y resistencia aerodinámica disminuye al aumentar el grosor relativo del perfil y, además, la sensibilidad a la rugosidad aumenta mucho al aumentar el grosor relativo del perfil. Aun así, el diseñador se verá obligado a aplicar superficies aerodinámicas gruesas por razones estructurales con una reducción del rendimiento como consecuencia.

Una complicación del problema con las palas de la turbina eólica es que la cuerda óptima esencialmente es inversamente proporcional a la posición radial y que se requiere una cuerda grande en el lado de la raíz de la pala para extraer energía óptimamente del flujo. Al mismo tiempo, el área barrida cerca del centro del rotor es relativamente pequeña, de modo que la contribución relativa al rendimiento de la parte interna de la pala es pequeña. La cuerda grande necesaria y la contribución relativamente baja al rendimiento son motivo para que muchos fabricantes elijan la cuerda cerca de la raíz de la pala más corta que la óptima, de modo que el rendimiento se reduce.

Otra complicación llega desde el alabeo del ángulo de ataque del flujo de aire respecto al perfil en la dirección desde la punta al eje: desde más en el plano del rotor hasta casi paralelo al eje de la raíz de la pala. Por lo tanto, una pala de rotor moderna está alabeada, lo que significa que la línea de cuerda de las superficies aerodinámicas en la dirección desde la punta a la raíz está girando. El número de grados de alabeo en la dirección de la longitud se denomina alabeo o diferencia de alabeo y es, por ejemplo, 10°-12 ° para palas clásicas. Gracias al alabeo, los perfiles se ajustan de manera óptima al flujo, al menos en la parte aerodinámica de la pala. En la parte de transición, el ángulo de flujo entrada gira rápidamente con una distancia decreciente al eje. Este hecho, junto con el hecho de que el ángulo de ataque óptimo para un perfil disminuye al aumentar el grosor relativo del perfil, significa que se requiere mucho alabeo para establecer los perfiles en el ángulo correcto. El gran alabeo en una pequeña distancia radial (alta tasa de alabeo) causa problemas estructurales y no mucha energía extra y, por lo tanto, el diseñador elige no alabeo aún más la parte de transición, por ejemplo, la parte entre el 0 % de L y el 20 % de L o aquella entre el 5 % de R y el 20 % de R. Un argumento adicional para esto es que los códigos informáticos convencionales para calcular el rendimiento, tales como los códigos Blade Element Momentum o los códigos CFD, estiman que añadir alabeo en la parte de transición apenas tiene un beneficio de rendimiento, por ejemplo, menos del 1 %.

Una complicación final es que las cargas extremas en una turbina eólica a menudo se producen a la velocidad del viento de supervivencia cuando la turbina se detiene. Entonces la superficie de la pala es el factor determinante para la magnitud de las fuerzas. Por lo tanto, al diseñador le gustaría elegir la pala lo más pequeña posible, sin embargo, debido a los coeficientes de sustentación moderados y las superficies aerodinámicas relativamente gruesas en el lado interno del rotor, se ve obligado a elegir una cuerda grande (para alcanzar un rendimiento energético aceptable), en consecuencia, con altas cargas a velocidades de viento extremas y, por tanto, una estructura pesada y costosa.

El objetivo de la invención es realizar una pala de rotor de modo que el rendimiento, entre otras cosas, del centro del rotor aumente de tal manera que se eviten las desventajas descritas anteriormente.

Se ha descubierto que, en contradicción con la creencia clásica, en el centro del rotor es posible un diseño de pala que, tanto desde el punto de vista aerodinámico como estructural, es más beneficioso que los diseños clásicos y que este diseño se pueda realizar de manera simple al proporcionar una o más de las siguientes 6 características en la parte de la pala ubicada cerca del eje, alrededor de la parte entre el 0 % de L y el 55 % de L: más alabeo de lo habitual, medidas de estimulación de flujo unidas en el lado de succión, medidas de bloqueo de flujo (radial) en lado de presión, superficies aerodinámicas más gruesas de lo habitual, una forma triangular de la parte de salida del perfil y alabeo hacia atrás.

Completamente en contradicción con los puntos de vista imperantes, se descubre que alabeo la parte de transición ciertamente conduce a un aumento relevante del rendimiento y que una elección exhaustiva de la distribución del alabeo, la pala se puede producir fácilmente y que la pala funciona estructuralmente bien o incluso mejor, donde la pala clásica es siempre la referencia.

- La conclusión sorprendente adicional es que, según una realización de la invención, el grosor relativo del perfil en la parte de transición se puede elegir más grande de lo habitual, de modo que se crea una ventaja estructural y que mediante la aplicación de manipuladores de capa límite, el rendimiento aerodinámico aumenta adicionalmente, entre
- 5 otras cosas, cuando se proporcionan manipuladores de flujo de superficie aerodinámica tanto en el lado de presión como en el lado de succión. Dichos manipuladores de flujo son elementos pequeños, baratos y fiables que se pueden unir a la pala fácilmente, por ejemplo, con cinta adhesiva de doble cara, posiblemente combinada con tornillos o mediante cualquier otro procedimiento de fijación convencional posible en el que los elementos se unen a la superficie de la pala directamente o en un rebaje en la pala.
- 10 Debido a la invención, el diseñador puede usar una parte de transición más o menos ideal que funciona considerablemente mejor si se tienen en cuenta los argumentos técnicos aerodinámicos, estructurales y de producción.
- 15 Según la invención y en contradicción con lo que el diseñador de palas de rotor considera como un hecho, las superficies aerodinámicas con un grosor de más del 30 % de c , y en particular de más del 40 % de c y más en particular de más del 50 % de c pueden tener un buen rendimiento aerodinámico siempre que estén provistas de generadores de vórtice en el lado de succión y medidas de bloqueo de flujo en el lado de presión. Se muestra que esas superficies aerodinámicas gruesas logran coeficientes de sustentación máximos de 2,0 o incluso 2,5 en un gran intervalo de
- 20 ángulo de ataque y que las relaciones entre sustentación y resistencia aerodinámica son superiores a 20, 30 o incluso 40. Por el alto grosor y, ciertamente, cuando se combinan con una parte de salida triangular, los perfiles son adecuados para transferir altos momentos de flexión. De esta forma se crea un diseño de pala que es más ligero que los diseños clásicos.
- 25 Una realización beneficiosa de una pala de rotor según la invención proporciona aproximadamente un 2-8 % de rendimiento adicional, una reducción de peso del 1-3 % y un transporte más fácil, sin aumento de costes.
- Según los puntos de vista imperantes de los expertos en la materia, es posible un rendimiento adicional máximo del 1 % al diseñar la parte de transición de manera diferente. La explicación es, entre otras cosas, que el experto en la
- 30 materia diseña palas de rotor con la denominada teoría del momento del elemento de pala (BEM) que comprende un modelo demasiado simple de la física para mostrar la ventaja de las palas según la invención. BEM no tiene en cuenta, por ejemplo, una pérdida de punta en la raíz de la pala. Además, las correcciones en 3D conocidas de la bibliografía suponen que los perfiles cerca del eje de la pala alcanzan mucha más sustentación y funcionan bien hasta ángulos de ataque mucho más altos que en condiciones en 2D, de modo que el experto en la materia piensa que la omisión
- 35 de alabeo en la parte de transición apenas presenta una desventaja. Una nueva percepción del inventor muestra una realidad diferente: los gruesos perfiles de forma cilíndrica de la parte de transición cerca del centro del rotor producen una estela de aire desprendido que por efectos de rotación (léase fuerzas centrífugas y la reducción de la presión en la estela con el aumento de la posición radial) fluye hacia afuera hacia los lados de succión de los perfiles ubicados más hacia afuera, que experimentan una reducción de la sustentación que se produce hasta un 30 %-40 %-50 % del
- 40 radio del rotor. Este efecto es opuesto a la expectativa del diseñador. Una segunda nueva percepción del inventor es que el aire desprendido en el lado de presión de los perfiles cerca de la raíz de la pala también fluye hacia afuera por efectos de rotación, de modo que en el lado de presión debido al gran abultamiento de los perfiles de la raíz en los lados de presión se crean presiones negativas para reducir la sustentación del perfil en su conjunto.
- 45 Realizaciones de la pala de rotor según la invención en la parte de transición, el coeficiente de sustentación puede alcanzar valores superiores a 1,5, o superiores a 2,0 e incluso superiores a 2,5 para perfiles con un grosor relativo de más del 30 % de c , 40 % de c , 50 % de c e incluso 60 % de c , de modo que en una parte significativa de la pala donde la cuerda se reduce en la dirección desde la punta de la pala hasta la raíz de la pala, se puede lograr una sustentación aproximadamente óptima. Esto significa que sin aumento de la cuerda y sin desventaja estructural, la posición radial
- 50 en la que la pala alcanza una alta eficiencia aerodinámica cambia en la dirección de la raíz de la pala del 30 % de R -40 % de R al 5 % de R -20 % de R . Las realizaciones de las referencias no se comprometen con la demanda de alcanzar un coeficiente de sustentación alto mediante un procedimiento relativamente simple. La tira y los generadores de vórtice del documento US6910867B2 (Corten) causan una gran estela que conduce a una reducción de sustentación en una posición radial más grande y requiere la adición de alabeo según la invención. Las realizaciones
- 55 con un borde de salida divergente de otras adiciones o extensiones en el borde de salida o en el lado de presión son complejas pero ineficaces para alcanzar un coeficiente de sustentación alto. Esas realizaciones alcanzan los coeficientes de sustentación altos beneficiosos cuando, según una realización de la invención, en el lado de succión se estimula el flujo adjunto, por ejemplo, mediante generadores de vórtice opcionalmente en combinación con alabeo adicional y en particular cuando el lado de presión comprende elementos de bloqueo de flujo con una concavidad en
- 60 el lado de presión de dichos elementos.

Según una realización de la invención, el alabeo varía más de 3°, en particular más de 5°, más en particular más de 10° e incluso más en particular más de 15° en el intervalo continuo que comprende perfiles con un grosor relativo entre el 25 % de c y el 70 % de c o entre el 33 % de c y el 70 % de c o entre el 40 % de c y el 70 % de c.

5

Según otra realización beneficiosa de la invención, la diferencia de alabeo es al menos 3°, en particular 6° y más en particular 10° en la parte de pala continua con perfiles con un grosor relativo entre el 50 % de c y el 70 % de c.

Una realización beneficiosa es aquella en la que el conjunto en el intervalo longitudinal por debajo del 25 % de L en particular por debajo del 21 % de L y más en particular por debajo del 15 % de L, comprende 3° de alabeo. Una realización beneficiosa diferente es aquella en la que el conjunto en el intervalo longitudinal del 10 % de L al 25 % de L y en particular al 21 % de L y más en particular al 15 % de L, comprende 5° y en particular 10° y más en particular 15° de alabeo o en la que dicho conjunto en el intervalo longitudinal del 5 % de L al 25 % de L, en particular al 21 % de L y más en particular al 15 % de L, comprende 10° y en particular 15° y más en particular 20° de alabeo.

15

Una variante beneficiosa de la realización es aquella en la que la distribución de alabeo sigue desde una posición radial del 50 % globalmente una distribución 1/r hasta el 10 % de R, o incluso el 5 % de R o hasta la raíz de la pala, en la que, en contradicción con la invención descrita en dichas solicitudes de Wobben, la pala se alabea en la parte entre la raíz de la pala y la cuerda más grande. Otra realización beneficiosa combinable es aquella en la que la tasa de alabeo entre el 10 % de L y el 21 % de L es al menos 0,5° por porcentaje de longitud de la pala, en particular al menos 0,75° por % de L y más en particular al menos 1 grado por % de L, en la que el límite longitudinal superior también puede tener el valor particular del 18 % de L y el valor más particular del 15 % de L. Otra realización beneficiosa es aquella en la que la pala en la dirección desde la punta hasta la raíz de la pala está en el intervalo por debajo del 80 % de L comprende al menos 10° de alabeo en una primera dirección y posteriormente contra-alabeos en dirección opuesta en al menos 3°, en particular al menos 6° y más en particular al menos 10° en el intervalo longitudinal con grosores de perfil de menos del 97 % de c, de modo que se crean las ventajas de que la línea de división de la pala en el molde vuelve al plano horizontal cerca de la raíz de la pala, lo que simplifica la producción.

20

25

Una realización beneficiosa es una en la que el intervalo de perfiles con una cuerda mayor del 105 % de la raíz de la pala ubicada entre L=0 y la cuerda más grande, comprende un alabeo de 5°, en particular 10° y más en particular 15°.

30

Una realización beneficiosa adicional es una en la que la pala de rotor entre el 5 % de L y el 25 % de L en la mitad de salida del perfil está provista de medidas de bloqueo de flujo y en la que la pala de rotor está provista de generadores de vórtice en el lado de succión en el intervalo entre el 5 % de L y el 25 % de L. Una realización según la invención comprende una pala de rotor con una distribución de cuerda que, en la dirección desde la punta hasta la raíz de la pala, primero aumenta esencialmente, después alcanza un valor máximo y posteriormente disminuye en la que la pala se alabea, por ejemplo, más de 3°, en particular más de 5°, más en particular más de 10° y preferentemente aproximadamente 15°- 20°, en el intervalo longitudinal entre la cuerda máxima y la raíz de la pala, en la que la cuerda más grande, por ejemplo, está ubicada en una posición longitudinal mayor del 18 % de L y en particular mayor del 24 % de L y más en particular mayor del 30 % de L.

35

40

Una realización beneficiosa según la invención es aquella en la que la pala de rotor en el intervalo longitudinal entre la cuerda máxima y la raíz de la pala está provista de manipuladores de flujo que evitan el estancamiento en el lado de succión, tales como por ejemplo generadores de vórtice, succión de capa límite de aletas de guía de flujo, que se pueden unir como piezas separadas o que se integran con la pala.

45

Se obtiene un beneficio adicional cuando entre la raíz de la pala y el 50 % de L o en perfiles con un grosor de más del 40 % de c, la pala comprende generadores de vórtice con una altura de aleta por encima de la superficie de la pala de más del 2 % de c, en particular más del 3 % de c y más en particular más del 5 % de c. Esos generadores de vórtice son más altos que los conocidos de la técnica anterior y sobresalen de la capa límite, lo que se puede entender, ya que su tarea es, entre otras cosas, alimentar el flujo radial lejos de zonas separadas cerca de la raíz de la pala hacia el lado de succión de perfiles ubicados más hacia afuera, de modo que aumenta la eficiencia de aquellos perfiles ubicados más hacia afuera. Se descubre que se logra más ventaja cuando esos generadores de vórtice alto se combinan con una segunda fila de generadores de vórtice en una posición en el sentido de la cuerda más grande y con una altura de aleta más baja.

50

55

Se logra una ventaja adicional según la invención cuando la pala del rotor en el intervalo longitudinal entre el 0 % de L y el 80 % de L y en particular entre el 10 % de L y el 50 % de L comprende medidas de bloqueo de flujo en el lado de presión. Una realización de medidas de bloqueo de flujo es una en forma de borde que se extiende desde la superficie del perfil, por ejemplo, una distancia entre 0,5 mm y el 10 % de la cuerda local y, en particular, sobre una distancia entre el 0,2 % de c y el 3 % de c y más en particular en una distancia entre el 0,5 % de c y el 1, 5 % de c.

60

Una idea del inventor que subyace en la invención es que los elementos clásicos de bloqueo del flujo que se extienden esencialmente en la dirección longitudinal de la pala no bloquean efectivamente el flujo. Los diseños clásicos son, entre otros, el resultado de pruebas de túnel de viento con palas de turbina eólica en flujo bidimensional o de simulaciones CFD del comportamiento aerodinámico de los perfiles de turbina eólica en condiciones en 2D con dicho elemento de bloqueo de flujo. Según el inventor, se descubre que debido a la rotación de las palas de la turbina eólica y los gradientes de presión radial resultantes y las fuerzas centrífugas y de Coriolis, el flujo se mueve en dirección radial desde la raíz de la pala hasta la punta y que el bloqueo efectivo del flujo también requiere obstrucción del flujo radial sobre la pala. Una medida de bloqueo de flujo que está diseñada para que también el flujo radial esté obstruido se denominará un elemento de bloqueo de flujo radial, donde debe entenderse que dicho elemento no solo obstaculiza el flujo en dirección radial, sino que también el flujo en la dirección en el sentido de la cuerda. Una realización beneficiosa según la invención de un elemento de bloqueo de flujo radial es una cuya sección transversal con un plano paralelo a la superficie de la pala en la ubicación donde está ubicado el elemento tiene forma cóncava o convexa. Una característica de los elementos de bloqueo del flujo radial es que la forma (de un solo elemento o de un grupo de elementos) difiere esencialmente de una pultrusión que se extiende longitudinalmente en la dirección de la longitud de la pala. Los elementos de bloqueo de flujo radial tienen (juntos) una forma tridimensional y, por lo tanto, difieren en función y forma de los elementos de bloqueo de flujo como, por ejemplo, el 'dispositivo de guía de flujo' en el documento EP2343450A1 (LM) o la tira en el documento US6910867B2 (Corten).

Una opción de integración es aquella en la que el borde de la viga principal ubicada en el lado de presión cerca del borde de ataque sobresale de modo que se forma un elemento de bloqueo de flujo. Una ventaja adicional surge según la invención cuando una medida de bloqueo del flujo comprende un elemento que se extiende en la dirección de la longitud de la pala en menos de 100 cm, en particular en menos de 45 cm y más en particular en menos de 25 cm y opcionalmente que cada elemento comprende 2 uniones. Según la invención, se logra un beneficio adicional cuando la pala del rotor comprende en el lado de presión un elemento de bloqueo del flujo radial que comprende un plano de fijación y un plano de bloqueo del flujo en el que el plano promedio a través de dicho plano de bloqueo del flujo tiene un ángulo con la dirección longitudinal de la pala en al menos 10°, en particular con al menos 20° y más en particular al menos 30° y/o en el que el plano de fijación se extiende según una curva más o menos en la dirección de la longitud de la pala y que este plano tiene un ángulo con aquel sobre la superficie de bloqueo de flujo promediado normal de menos de 80° en particular de menos de 70° y más en particular de menos de 60°.

Una realización beneficiosa adicional según la invención es aquella en la que la pala del rotor comprende una medida de bloqueo del flujo en forma de un elemento extendido que comprende al menos 2 zigzags de períodos curvos con los que se repite el elemento de bloqueo del flujo radial que está unido en el lado de presión, posiblemente hasta el borde de salida. Dicho elemento es comparable a una aleta de Gurney, aunque tiene los beneficios esenciales de que se mejora el bloqueo del flujo ya que también se obstruye el flujo radial y que el elemento se puede fijar a la pala de manera fácil y fiable porque el elemento puede seguir fácilmente las deformaciones. Un ejemplo de dicho elemento de bloqueo del flujo radial es el de una tira curva erigida o una tira en zigzag en la que dicha tira se fija a la pala del rotor con una superficie de fijación que no es continua en la dirección en la que la tira se extiende (por ejemplo, comprende al menos 2 uniones con la pala). Los elementos clásicos de bloqueo de flujo de forma recta con una unión continua de más de 45 cm de longitud no pueden seguir las diferencias de expansión térmica de la flexión de la pala del rotor y se ha demostrado que se sueltan después de un tiempo. Las realizaciones onduladas o en zigzag de elementos de bloqueo de flujo radial menores de 100 cm o 45 cm o 25 cm según la invención pueden seguir deformaciones o pueden hacer frente a las diferencias de expansión térmica debido a las dimensiones limitadas de este modo la unión a la pala sea fiable.

El elemento de bloqueo de flujo radial o el elemento de bloqueo de flujo según la invención pueden aplicarse a la pala del rotor como una pieza separada o integrarse con la misma. Dichos elementos pueden, por ejemplo, unirse con cinta adhesiva de doble cara, tornillos, cola, colas de milano, imanes y todos los demás procedimientos de fijación conocidos.

Otra ventaja surge según la invención cuando la pala de rotor está provista de rugosidad artificial que está ubicada, por ejemplo, entre el 1 % de c en el lado de succión a , a través del borde de ataque, el 50 % de c en el lado de presión y , en particular, en el intervalo entre el 0 % de c y el 10 % de c en el lado de presión y más en particular entre el 1 % de c en el lado de presión y el 5 % de c en el lado de presión. Esta rugosidad artificial puede existir en cualquier tipo de rugosidad conocida en la tecnología, tal como papel de lija, pintura rugosa, cinta en zigzag, bordes sobresalientes, pequeños generadores de vórtice, nervaduras y se puede unir durante la fabricación de la pala o después de eso, y tiene como beneficios que se reduce la sustentación negativa máxima de las superficies aerodinámicas, que se reduce la dependencia de la rugosidad y que se puede unir de manera fácil y fiable. La aplicación de la rugosidad artificial a las palas de las turbinas eólicas es una medida según la invención que es opuesta a lo que propondrá el experto en la materia: este afirmarí que las palas de turbina eólica deberían producirse lo más lisas posible.

Se obtiene una ventaja adicional al combinar la rugosidad artificial con los generadores de vórtice, que aumentan el coeficiente de sustentación positiva máximo (o se recuperan al valor sin rugosidad) y se realiza un perfil esencialmente insensible a la rugosidad con un alto coeficiente de sustentación, de modo que una pala de rotor en condiciones limpias
 5 (pala nueva) no revela una mayor sustentación (léase mayores costes) en comparación con las condiciones contaminadas estándar que ocurrirán semanas o años después de la puesta en marcha, por lo que el diseño de la turbina eólica no necesita ser resistente contra cargas más altas durante los períodos de limpieza y, por lo tanto, puede producirse más óptimo (más barato).

10 Una realización beneficiosa adicional según la invención considera una pala de rotor que, cuando está unida a una turbina eólica de eje horizontal y cuando se ajusta al ángulo de pala correspondiente al coeficiente de potencia máximo en la relación de velocidad de punta óptima, comprende un perfil en la posición radial 16 % de R cuyo lado de succión al 95 % de c tiene un ángulo con el plano del rotor que está entre 0° y 16° y en particular entre 3° y 13° y más en particular entre 6° y 10° y comprende un perfil en la posición radial 20 % de R cuyo lado de succión al 95 % de c tiene
 15 un ángulo con el plano del rotor entre 2° y 17° y en particular entre 5° y 13° y más en particular entre 7° y 11°.

Según una realización beneficiosa según la invención, la pala del rotor comprende un perfil al 15 % de L cuya parte detrás del alma de cizallamiento posterior hasta el borde de salida es esencialmente triangular, en el que el contorno externo del perfil se desvía como máximo un 5 % de c y en particular como máximo un 3 % de c y más en particular
 20 como máximo un 2 % de c de dos lados de un triángulo imaginario completamente dentro el lado posterior del perfil cuyo tercer lado coincide con el alma de cizallamiento posterior. Una ventaja adicional surge según la invención cuando la pala de rotor comprende un perfil al 15 % de L cuyo lado de succión entre el 55 % de c y el 98 % de c tiene menos cambio de inclinación que 8°, en particular menos que 6° y más en particular menos que 4° y/o cuyo lado de presión entre el 45 % de c y el 98 % de c tiene menos cambio de inclinación que 14°, en particular menos que 12° y más en
 25 particular menos que 8°. Dicho respaldo triangular proporciona en combinación con generadores de vórtice en el lado de succión y posiblemente un elemento de bloqueo de flujo o elemento de bloqueo de flujo radial en el lado de presión, tanto un buen rendimiento aerodinámico como una alta rigidez estructural: el respaldo de perfil triangular es estructuralmente rígido y sin pandeo de la capa exterior de la pala en contradicción con, por ejemplo, la forma en el documento US2009/0263252 A1 (Gamesa) de modo que el peso y los costes sean más bajos.

30 Se descubre que las superficies aerodinámicas más gruesas según la invención con generadores de vórtice en el lado de succión y posiblemente medidas de bloqueo de flujo en el lado de presión tienen una mayor relación de sustentación respecto a resistencia aerodinámica y menor sensibilidad a la rugosidad y obviamente una mayor rigidez debido al mayor grosor. Las realizaciones ventajosas de una pala de rotor según la invención, por lo tanto, aplican superficies
 35 aerodinámicas relativamente gruesas en posiciones radiales relativamente grandes, en las que relativos se refiere a diseños de pala clásicos:

Según una realización beneficiosa de la invención, al 20 % de L los perfiles tienen un grosor del 45 % de c, en particular del 50 % de c y más en particular del 55 % de c. Según una realización beneficiosa de la invención, al 30 % de L los
 40 perfiles tienen un grosor del 35 % de c, en particular del 38 % de c y más en particular del 41 % de c. Según una realización beneficiosa de la invención, al 40 % de L los perfiles tienen un grosor del 31 % de c, en particular del 33 % de c y más en particular del 37 % de c. Según una realización beneficiosa de la invención, al 50 % de L los perfiles tienen un grosor del 30 % de c, en particular del 32 % de c y más en particular del 35 % de c. Según una realización beneficiosa de la invención, al 60 % de L los perfiles tienen un grosor del 28 % de c, en particular del 30 % de c y más
 45 en particular del 32 % de c. Según una realización beneficiosa de la invención, al 70 % de L los perfiles tienen un grosor del 25 % de c, en particular del 27 % de c y más en particular del 29 % de c.

Según una realización beneficiosa de la invención, al 80 % de L los perfiles tienen un grosor del 22 % de c, en particular del 24 % de c y más en particular del 26 % de c.

50 Una ventaja adicional surge según la invención cuando la cuerda más grande está ubicada en una posición longitudinal de más del 24 % de L y en particular de más del 30 % L y más en particular de más del 35 % de L y/o en la que la cuerda más grande es menos del 6,5 % de L, en particular, menos del 6 % de L y más en particular, menos del 5,5 % de L. Una realización especial es aquella en la que la pala tiene su cuerda más grande en la posición longitudinal 0 y
 55 comprende en la dirección de la punta inicialmente una cuerda constante y posteriormente una cuerda decreciente. El cambio de la cuerda máxima a una posición radial más grande (posición longitudinal más grande) y la reducción de la cuerda más grande son ambas consecuencias gracias a la invención de perfiles con un gran relativo que alcanzan una gran sustentación aerodinámica de modo que las palas puedan construirse más livianas (debido a altura de construcción más grande) y son más fáciles de transportar (debido a la cuerda máxima reducida) y experimentan
 60 cargas más bajas a velocidades de viento extremas (debido a la cuerda reducida).

Una realización beneficiosa según la invención es una en la que la cuerda más grande es al menos igual al diámetro de la raíz de la pala y no más del 130 %, en particular no más del 120 % y más en particular no más del 110 % del mismo.

5

Otra realización beneficiosa es aquella en la que la pala de rotor desde la raíz de la pala hasta la punta es de una pieza. Finalmente, una realización beneficiosa según la invención es aquella en la que la longitud de la pala del rotor L es mayor que 40 metros, en particular mayor que 60 y más en particular mayor que 80 m. Con el aumento del tamaño de las turbinas eólicas, los momentos de flexión aumentan más rápido que el rendimiento, por lo que los ahorros por una mejor optimización son cada vez más beneficiosos. Por ejemplo, al aumentar el tamaño de la turbina, el grosor relativo de las palas de rotor aumenta para resistir de manera óptima los momentos de flexión relativamente más altos. La desventaja de esto es la reducción del rendimiento aerodinámico. La invención elimina esta desventaja.

10

Un conjunto de pala de rotor según una realización de la invención que comprende manipuladores de flujo tales como, por ejemplo, generadores de vórtice, elementos de bloqueo de flujo o elementos de bloqueo de flujo radial cuya forma, tamaño, orientación y ubicación en la pala influyen en el impacto en las características de la pala. Según una realización beneficiosa de un conjunto de pala de rotor según la invención, las características están optimizadas para un cierto clima eólico y para una cierta turbina eólica. De esta manera, según la invención, un primer conjunto de palas del rotor comprende un primer patrón que está optimizado para una primera situación y un segundo conjunto de pala de rotor esencialmente con la misma forma comprende un segundo patrón de manipuladores de flujo que está optimizado para una segunda situación. Por ejemplo, una pala de rotor para un sitio con alta contaminación de la superficie de la pala puede estar provista de un patrón más extenso de rugosidad artificial en dirección longitudinal y/o en la dirección en el sentido de la cuerda y/o un patrón más extenso de generadores de vórtice en dirección longitudinal en comparación con una pala de rotor igual para un sitio con baja contaminación de la superficie de la pala. Según otro ejemplo, un conjunto de pala de rotor puede ajustarse con precisión por sitio o por turbina mediante el patrón de manipuladores de flujo dentro de la envolvente de cargas permitida de la pala o de la turbina.

15

20

Figuras:

- 30 Figura 1: Turbina eólica de eje horizontal,
 Figura 2: Sección transversal de pala de rotor según la línea I-I en la figura 1,
 Figura 3: Sección transversal de pala de rotor,
 Figura 4: Sección transversal de pala de rotor,
 Figura 5: Sección transversal de pala de rotor,
 35 Figura 6: Sección transversal de pala de rotor,
 Figura 7: Sección transversal de pala de rotor,
 Figura 8: Sección transversal de pala de rotor con perfil en zigzag en el lado de presión,
 Figura 9: Pala de rotor,
 Figura 10: Pala de rotor,
 40 Figura 11: Pala de rotor,
 Figura 12: Primer plano de la parte 62 en la figura 10,
 Figura 13: Distribución del alabeo y de la cuerda,
 Figura 14: Distribución de la tasa de alabeo y de grosores

45 Descripción detallada de la invención con ejemplos según las figuras: la **figura 1** muestra una turbina de eje horizontal 1 con una torre 2, una góndola 3 y un cubo 4 con la pala de rotor 6 unida a la misma con la raíz 7 y la punta 8 de la pala. También se muestra otra pala de rotor con el borde de ataque 9 y el borde de salida 10, pala que comprende 2 partes: la parte unida al cubo y la parte 12 que, por ejemplo, puede ajustar el ángulo del paso de la pala. Las partes se unen en la posición 11. La dirección de rotación es 5. La sección transversal I-I se muestra en la figura 2. En la **figura 2**, se indican la cuerda c y el grosor t y también la línea de cuerda 33 que en la posición en el sentido de la cuerda del 0 % de c coincide con el borde de ataque 21 y/o en la posición en el sentido de la cuerda del 100 % de c con el borde de salida 22. La sección transversal muestra las vigas principales 27 y 28 en el lado de succión 24 y el lado de presión 28, respectivamente, entre el alma de cizallamiento delantera 25 y el alma de cizallamiento posterior 26. Se muestra un ejemplo de un flujo de entrada de diseño 29 que tiene un ángulo de ataque 30 con la línea de cuerda 33. Los manipuladores de flujo 31 y 32 muestran, respectivamente, generadores de vórtice y un elemento de bloqueo de flujo que opcionalmente está compuesto por una concavidad 39 en el lado de presión. El triángulo definido por los lados 34, 35 y 36 está dentro del lado posterior del perfil. El lado 35 coincide con el alma de cizallamiento posterior, y los lados 34 y 36 tienen distancias máximas 37 y 38 al contorno externo del perfil. La **figura 3** muestra la misma sección transversal, aunque esta vez con un borde de salida divergente realizado por la adición 40. Cabe destacar que la definición de cuerda que se aplica para la definición de alabeo en esta solicitud se interseca en el lado

50

60

posterior el medio del borde de salida plano. Las definiciones de la cuerda y el grosor en esta solicitud que son relevantes para el grosor relativo deben determinarse sin extensiones o adiciones 40, 50, 51, 53. La **figura 4** muestra una sección transversal con un elemento de bloqueo de flujo 50 que se encuentra más cerca del borde de ataque que en la figura 3. La **figura 5** muestra la adición 51 que se extiende tanto por el lado de presión como por el lado de succión. La **figura 6** muestra el elemento de bloqueo de flujo 54 en forma de aleta de Gurney. La línea de cuerda interseca nuevamente el borde de salida plano a mitad de camino. La **figura 7** muestra que la rugosidad artificial 55, que proporciona un bloqueo efectivo del flujo, se puede unir fácilmente, lo que reduce la sensibilidad de la rugosidad de la pala y se opone a los altos gradientes de presión negativa. Entre la posición 80 en el lado de presión a aproximadamente el 45 % de c y la posición 82 a aproximadamente el 98 % de c , las tangentes 81 y 82 muestran la diferencia en la pendiente 84 del contorno del perfil. La **figura 8** muestra una vista en 3D de las líneas de flujo 56 y el elemento de bloqueo del flujo radial 57. Las **figuras 9, 10, 11 y 12** muestran una vista en el lado de presión de (una parte de) una pala de rotor. La **figura 9** muestra el elemento de bloqueo de flujo radial 60 con un patrón en zigzag y múltiples concavidades 65 en el lado de presión del mismo, de las cuales se indica una. La **figura 10** muestra el elemento de bloqueo de flujo radial 61 con un patrón ondulado y un primer plano 62 que se muestra en la figura 12. El elemento 61 comprende en su lado de presión concavidades 66 de las cuales se indica una. La **figura 11** muestra elementos de bloqueo de flujo radial 63 con un lado de flujo de entrada cóncavo 67 (solo se indica una concavidad). En un único elemento 63 está en una posición 69, el plano 70 a través de la puerta, el plano de bloqueo de flujo dibujado que tiene un ángulo 71 con el eje longitudinal 68 de la pala. La normal al plano 70 no es perpendicular a la curva que conecta los elementos 63. El elemento 63 puede, debido a sus pequeñas dimensiones, a lo largo de su longitud máxima estar unido a la pala o tiene 2 o más uniones no continuas 71 con la pala. Una realización mostrada del elemento 63 comprende 2 uniones 71 que conectan el elemento 63 a la pala, por ejemplo, mediante cinta adhesiva de doble cara.

Según una realización beneficiosa, la superficie de bloqueo del flujo del elemento 63 no toca la superficie de la pala, sino que permite que fluya aire entre el elemento 63 y la superficie de la pala a una altura de, por ejemplo, el 0,01 % de c al 2 % de c o en particular entre el 0,1 % de c y el 0,5 % de c . Al inclinar la superficie de bloqueo del flujo en un ángulo con dicha curva como se muestra en las figuras 8-12, se logra un bloqueo más efectivo del flujo, lo que puede entenderse ya que los efectos de rotación conducirán el flujo estancado hacia afuera (fuerzas centrífugas) lo que no está obstruido en el caso de realizaciones longitudinales como en los documentos US 6910867 B2 (Corten) y EP2343450A1 (LM), sino que está (parcialmente) bloqueado por las realizaciones según la invención. La **figura 12** muestra un primer plano de la parte 62 en la figura 10. La figura 12 muestra de nuevo el elemento de bloqueo del flujo radial 61 con el patrón ondulado y también las superficies de unión 64 que están en la dirección en la que el elemento se extiende de manera no continua. En la posición 73, el plano 74 a través de la superficie de bloqueo de flujo radial se dibuja y tiene un ángulo 75 con el eje longitudinal 68 de la pala. La **figura 13** muestra la distribución del alabeo y de la cuerda según una realización según la invención y también una distribución de alabeo clásica. En la figura, la diferencia de alabeo según esta realización de la invención entre el 15 % de R y el 20 % de R es 5° y contra-alabeo entre el 5 % de R y el 10 % de R también 5° o incluso 7° . La **figura 14** muestra la distribución de la tasa de alabeo y el grosor relativo según una realización de la invención.

Para aclarar, los manipuladores de flujo como los generadores de vórtice se dibujan más grandes de lo que son en realidad en varias figuras. El patrón de ondas en zigzag en las nervaduras y la rugosidad artificial se dibujan con una amplitud bien visible, mientras que la amplitud de una realización beneficiosa puede ser mayor o menor.

Aunque la invención se describe, entre otros, mediante varios ejemplos y figuras, se debe entender que la invención no está limitada a esto. El experto en la materia puede hacer varios cambios sin salirse del alcance de las reivindicaciones. Un ejemplo es la aplicación de la invención en una turbina eólica con 2 palas de rotor que tienen una parte central común que interseca con el eje de rotación. En tal caso, se debe entender que la posición $L=0$ coincide con la posición $R=0$ y que la punta está ubicada en la posición $L=R$.

Otro ejemplo es el de una pala que consiste en múltiples partes en dirección longitudinal, luego L está relacionada con el conjunto de partes que está ubicado entre el cubo y la punta de la pala. También en dirección en el sentido de la cuerda, la pala puede consistir en más de una parte, en cuyo caso se debe usar la cuerda de la pala ensamblada de múltiples partes.

El experto en la materia comprenderá que la invención es aplicable a múltiples turbinas eólicas, tales como turbinas eólicas tanto del tipo de eje horizontal como del tipo de eje vertical, turbinas eólicas en tierra y mar adentro, turbinas eólicas con palas flexionadas previamente, turbinas eólicas con un ángulo del paso y, en particular, cuando este ángulo del paso está entre 2° y 7° , turbinas eólicas con un ángulo de cono y, en particular, cuando este ángulo de cono está entre 2° y 7° , turbinas reguladas por pérdida y reguladas por paso, turbinas de velocidad variable y de velocidad constante, turbinas en parques eólicos, turbinas que se han modernizado y han obtenido un nuevo rotor, turbinas

eólicas para las clases de viento 1, 2, 3, 4 de 5, y clases de turbulencia a, b, c, turbinas eólicas con aletas activas o generadores de vórtice activos o que usan diseño a medida aeroelástico y turbinas eólicas con rotores que tienen su coeficiente de potencia máximo en un diseño entre 2 y 15 y en particular entre 4 y 14 y más en particular entre 7 y 13, turbinas eólicas con rotores que contienen fibras de vidrio o fibras de carbono, opcionalmente en combinación con un
5 termoplástico termonendurecible. Además de esto, el experto en la materia combinará inmediatamente la invención con la tecnología descrita en las referencias y considerará esto como realizaciones no inventivas según la invención.

Se debería decir que el término 'comprende' no excluye otros elementos o etapas, que el término 'un' no excluye la pluralidad y que la denotación 'comprende x' debe explicarse como 'comprende al menos x en la que x, por ejemplo,
10 es la cantidad de grados de alabeo. Las referencias a las figuras en las reivindicaciones tienen fines ilustrativos y no deben considerarse limitantes.

La discusión de los textos de patente referenciados en este documento considera la opinión de los inventores y no tiene estatus legal. Finalmente, la explicación física en este documento se añade por razones ilustrativas y no tiene
15 relación con la validez de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Conjunto de pala de rotor para una turbina eólica que comprende un extremo de fijación en la posición longitudinal L=O para la fijación de la pala al cubo (4) y esencialmente en el extremo opuesto
- 5 una punta de pala (8) en la posición longitudinal L y un lado de succión, un lado de presión, un borde de salida, un borde de ataque y un grosor al 20 % de L, teniendo el conjunto una longitud L que es mayor que 40 metros, en el que dicho conjunto comprende una diferencia de alabeo de 3 grados en el intervalo longitudinal inferior al 25 % de L, y caracterizado porque el grosor al 20 % de L es más del 45 % de c.
- 10 2. Conjunto de pala de rotor según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho conjunto en el intervalo longitudinal limitado en un lado por el 10 % de L y en el otro lado por la posición 25 % de L, en particular por la posición 21 % de L y más en particular por la posición 15 % de L comprende 5 grados, en particular 10 grados y más en particular 15 grados de alabeo.
- 15 3. Conjunto de pala de rotor según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho conjunto en el intervalo longitudinal limitado en un lado por la posición 5 % de L y en el otro lado por la posición 25 % de L, en particular por la posición 21 % de L y más en particular por la posición 15 % de L comprende 10 grados, en particular 15 grados y más en particular 20 grados de alabeo.
- 20 4. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho conjunto en el intervalo longitudinal limitado en un lado por la posición 10 % de L y en el otro lado por la posición 25 % de L, en particular 21 % de L y más en particular 15 % de L, la tasa de alabeo alcanza un valor superior a 0,5° por % de L, en particular superior a 0,75° por % de L y más en particular superior a 1° por % de L.
- 25 5. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuyos perfiles comenzando en la posición longitudinal 80 % de L, siguiendo el eje de la pala hacia la raíz de la pala, primero se alabean al menos 10 grados en una primera dirección, caracterizado porque dentro del intervalo longitudinal que comprende perfiles con un grosor de menos del 97 % de c posteriormente se contra-alabean más de 3 grados y en particular más de 6 grados y más en particular más de 10 grados.
- 30 6. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para una turbina eólica que comprende un lado de fijación en la posición longitudinal L=O para la fijación de la pala al cubo y una punta en el lado opuesto en la posición longitudinal L y un lado de succión, un lado de presión, un borde de salida y un borde de
- 35 ataque, conjunto que comprende en dirección longitudinal un intervalo continuo de perfiles de como mínimo el 25 % de c y como máximo el 70 % de c de grosor, caracterizado porque la diferencia de alabeo dentro de dicho intervalo es más de 3 grados, en particular más de 5 grados, y más en particular más de 10 grados e incluso más en particular más de 15 grados.
- 40 7. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores con una distribución de cuerda que, en la dirección desde la punta (8) hacia la raíz de la pala, primero aumenta esencialmente, después alcanza un valor máximo y posteriormente disminuye nuevamente, caracterizado porque la pala se alabea en el intervalo longitudinal entre la cuerda máxima y la raíz de la pala en al menos 3 grados.
- 45 8. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el alabeo en el intervalo longitudinal entre la cuerda máxima y la raíz de la pala es más de 5 grados, en particular más de 10 grados y más en particular más de 15 grados.
- 50 9. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que está montado en una turbina eólica de eje horizontal que se ajusta al ángulo de pala correspondiente al coeficiente de potencia máximo en la relación de velocidad de la punta óptima, que comprende un perfil en la posición radial 16 % de R, caracterizado porque el lado de succión de dicho perfil sin adiciones o extensiones al 95 % de c tiene un ángulo con el plano del rotor entre 0 grados y 16 grados y en particular entre 3 grados y 13 grados y más en particular entre 6 y 10 grados.
- 55 10. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que está montado en una turbina eólica de eje horizontal que se ajusta al ángulo de pala correspondiente al coeficiente de potencia máximo en la relación de velocidad de la punta óptima, que comprende un perfil en la posición radial 20 % de R, caracterizado porque el lado de succión de dicho perfil sin adiciones o extensiones al 95 % de c tiene un ángulo con el plano del rotor entre 2 grados y 17 grados y en particular entre 5 grados y 13 grados y más en particular entre 7 y 11 grados.
- 60

11. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos uno de
- 5 a) el grosor al 30 % de L es más del 35 % de c, en particular más del 38 % de c y más en particular más del 41 % de c,
 b) el grosor al 40 % de L es más del 31 % de c, en particular más del 33 % de c y más en particular más del 37 % de c,
 c) el grosor al 50 % de L es más del 30 % de c, en particular más del 32 % de c y más en particular más del 35 % de c,
 10 d) el grosor al 60 % de L es más del 28 % de c, en particular más del 30 % de c y más en particular más del 32 % de c, y
 e) el grosor al 70 % de L es más del 25 % de c en particular más del 27 % de c y más en particular más del 29 % de c.
- 15 12. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para una turbina de eje horizontal de velocidad variable con un diámetro de rotor mayor de 80 metros y una relación de velocidad de la punta de diseño entre 7 y 13 y una distribución de cuerda que del 50 % de L al 5 % de L primero aumenta a la cuerda máxima, después se reduce nuevamente a menos del 90 % de la cuerda máxima y que entre el 10 % de L y el 25 % de L comprende generadores de vórtice en el lado de succión, caracterizado porque dicho conjunto en el intervalo
 20 longitudinal entre el 10 % de L y el 25 % de L comprende al menos 4 grados, en particular al menos 6 grados y más en particular al menos 8 grados de diferencia de alabeo.
13. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque está diseñado para una turbina eólica de eje horizontal con una relación de velocidad de la punta entre 7 y 13 y, en particular, porque esta turbina es del tipo de velocidad variable regulada por paso.
- 25 14. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores con una viga principal en el lado de succión y una viga principal en el lado de presión, vigas que están limitadas en dirección longitudinal en el lado de la raíz y en el lado de la punta y perpendicular a esta están limitadas en el lado frontal en la posición más baja
 30 en el sentido de la cuerda y en el lado posterior en la posición más grande en el sentido de la cuerda, caracterizado porque en el intervalo longitudinal entre el 5 % de L y el 40 % de L el plano a través del borde de ataque de una de dichas vigas principales y a través del borde de salida de la misma viga principal se alabea menos de 10 grados, en particular menos de 5 grados y más en particular menos de 3 grados.
- 35 15. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que en un intervalo longitudinal continuo comprende perfiles con un grosor entre el 25 % de c y el 70 % de c que comprenden una diferencia de alabeo de como máximo 3 grados, en particular como máximo 5 grados, y más en particular como máximo 10 grados y aún más en particular como máximo 15 grados.
- 40 16. Conjunto de pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un alabeo de como máximo 3 grados en el intervalo longitudinal entre el 0 % de L y el 25 % de L y en particular en el intervalo longitudinal entre el 0 % de L y el 21 % de L y más en particular en el intervalo longitudinal entre el 0 % de L y el 15 % de L.

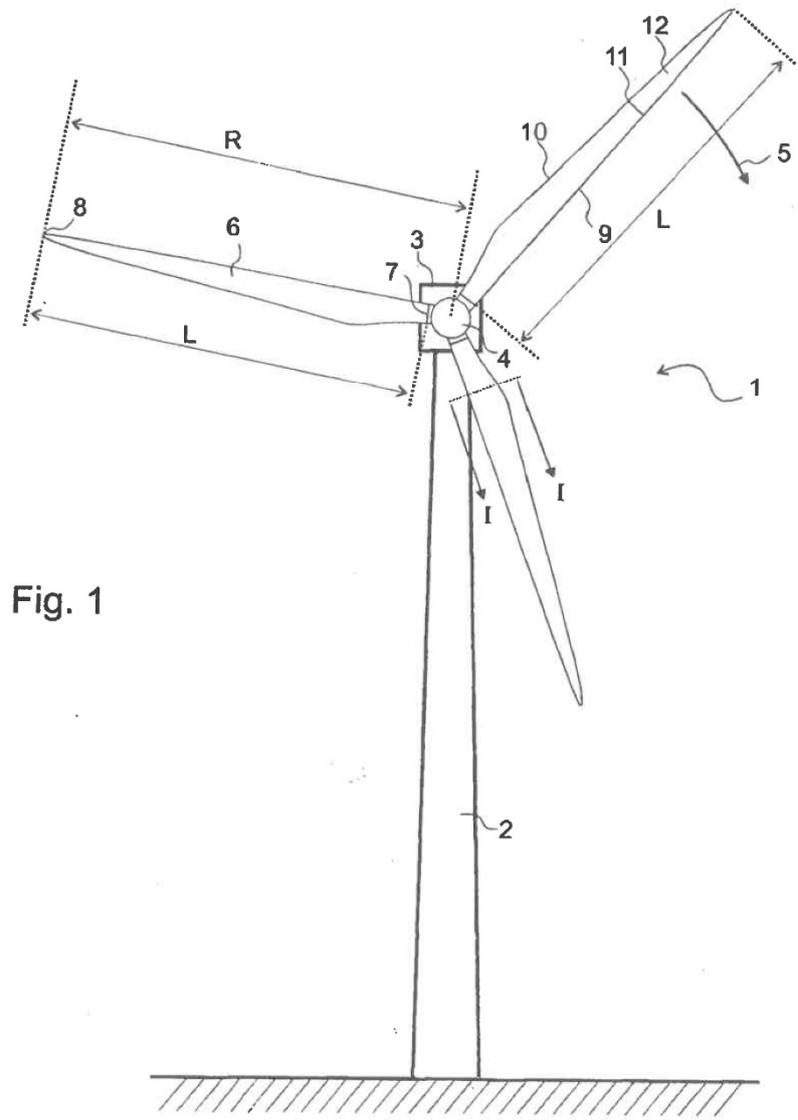


Fig. 1

Fig. 2

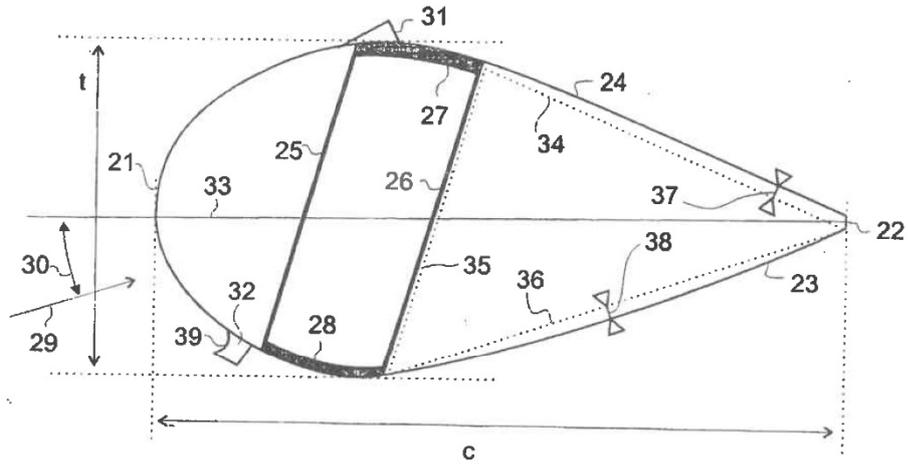


Fig. 3

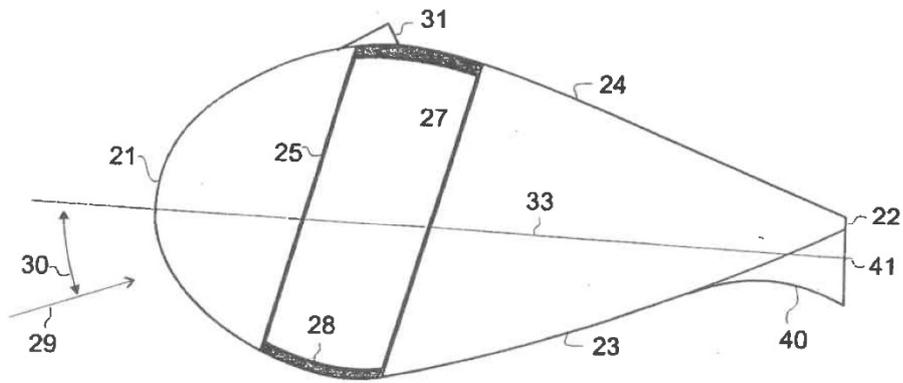


Fig. 4

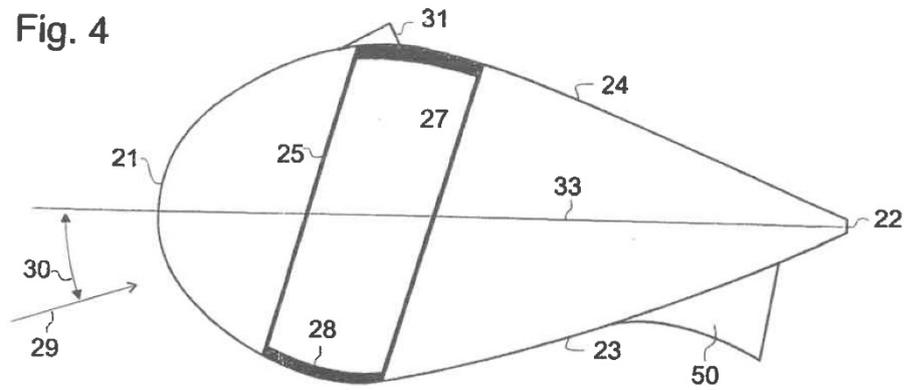


Fig. 5

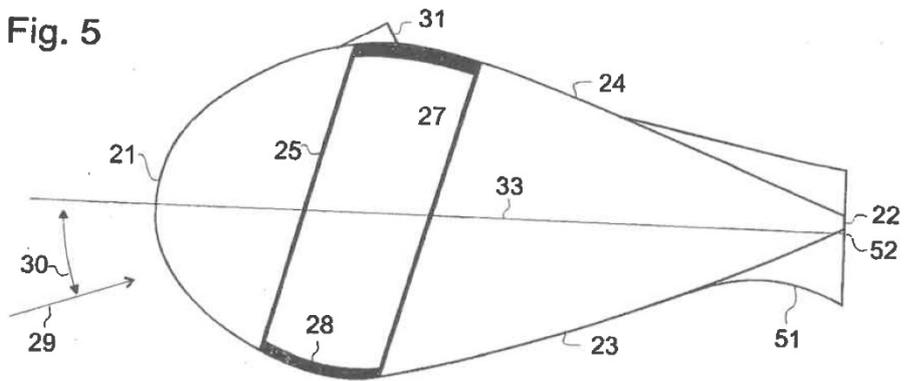


Fig. 6

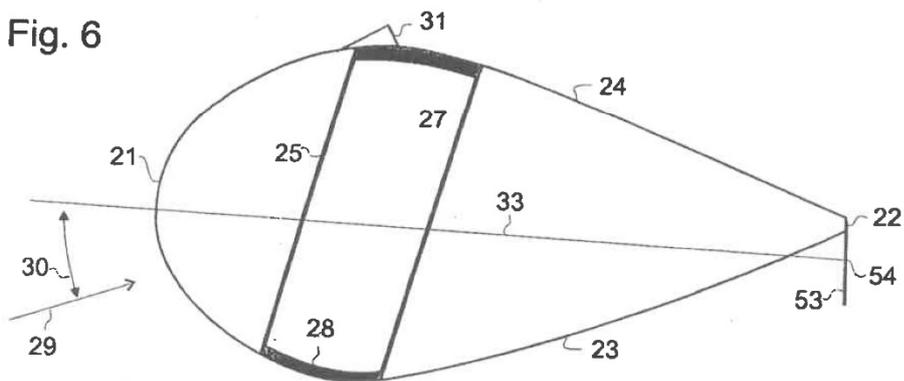


Fig. 7

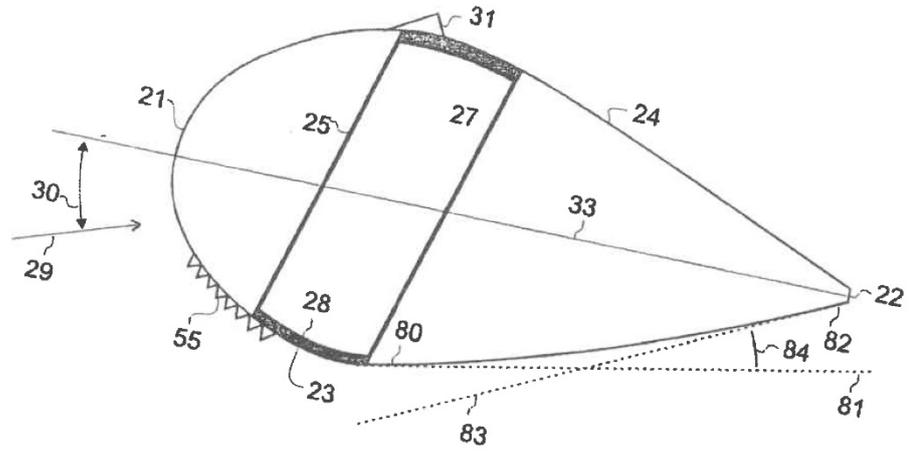


Fig. 8

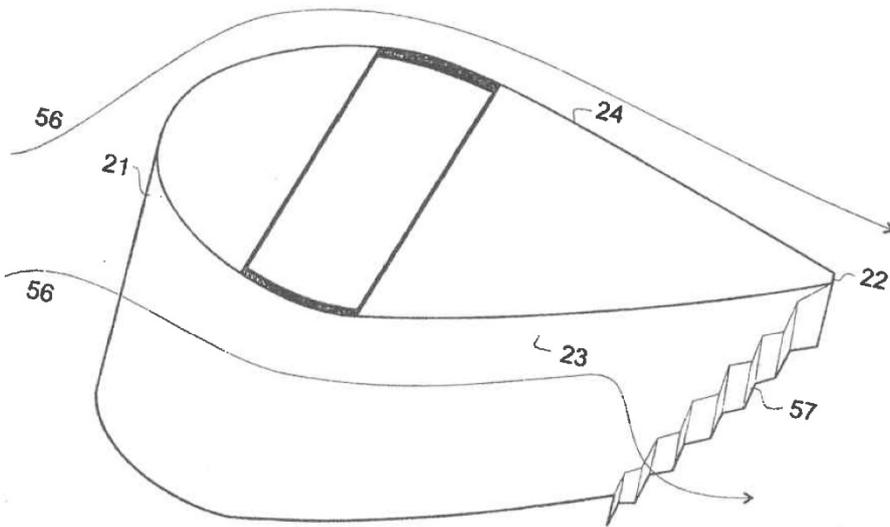


Fig. 9

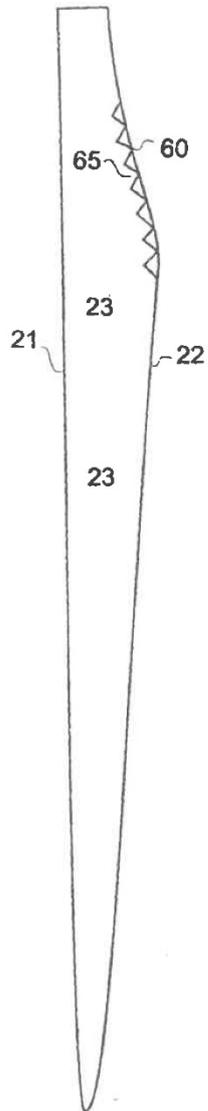


Fig. 10

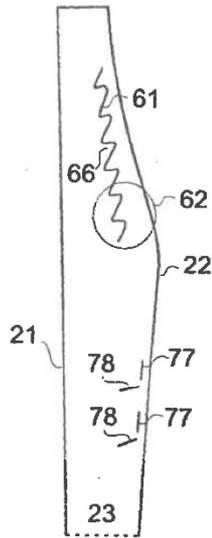


Fig. 11

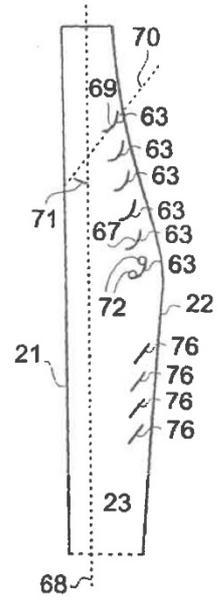


Fig. 12

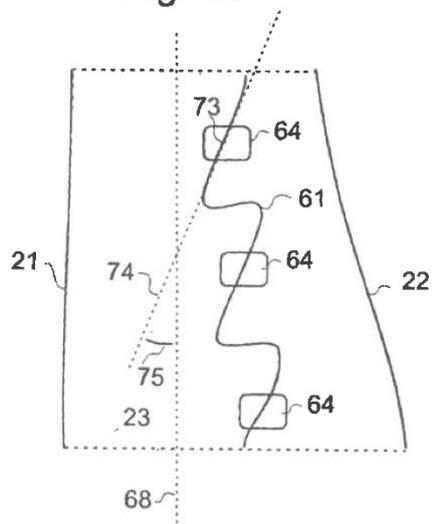


Fig. 13

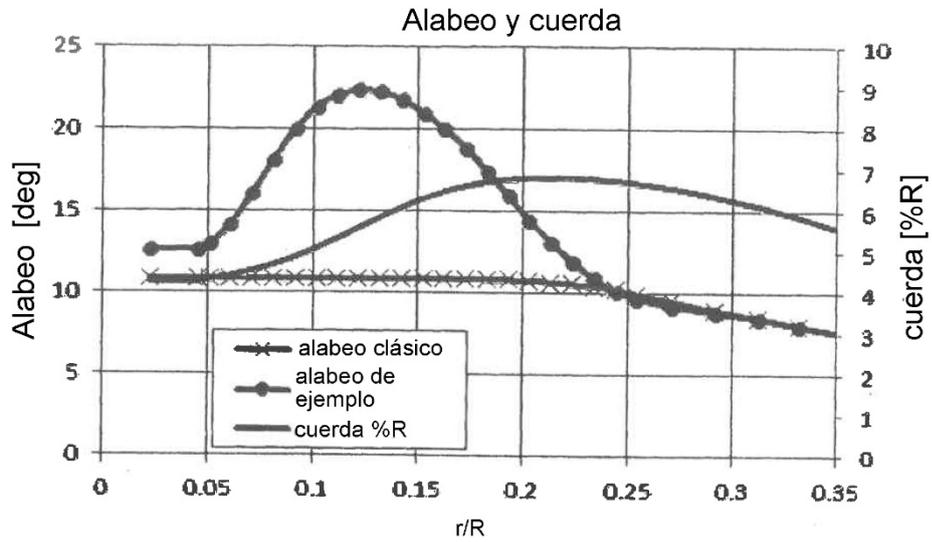


Fig. 14

