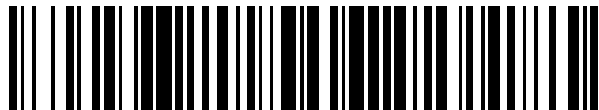


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 465**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.03.2014 PCT/EP2014/000564**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.10.2014 WO14166570**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2014 E 14708807 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2984334**

54 Título: **Pala de rotor de un aerogenerador y aerogenerador**

30 Prioridad:

**11.04.2013 DE 102013206437**

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

**20.09.2018**

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)  
Überseering 10  
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**ERBSLÖH, SASCHA**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 682 465 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Pala de rotor de un aerogenerador y aerogenerador

5 La invención se refiere a una pala de rotor de un aerogenerador con una extensión longitudinal desde una raíz de pala de rotor hasta una punta de pala de rotor, presentando la pala de rotor al menos en una parte de su extensión longitudinal un perfil de sección transversal aerodinámico provisto de un canto anterior de perfil y un canto posterior de perfil que están unidos a través de un lado de succión y un lado de presión del perfil de sección transversal, así como a un aerogenerador.

10 Los aerogeneradores modernos con dos o más palas de rotor se emplean en la gama de velocidades de aire mayores para la limitación de la carga con diferentes ángulos de ajuste de pala, llamados también ángulos pitch. Al aumentar el tamaño de la variable de funcionamiento, que es el ángulo de ajuste de la pala, se reduce a velocidades de aire mayores el ángulo de ajuste aerodinámico para reducir el empuje vertical y la potencia tomada. El ángulo de ajuste es el ángulo entre la dirección de soplado del viento y la cuerda, o sea, la línea de unión entre el canto anterior y el canto posterior del perfil aerodinámico de la pala de rotor. En el marco de la presente teoría técnica la relación entre el ángulo de ajuste de la pala de rotor y el ángulo de ataque se define normalmente de manera que un aumento del ángulo de ajuste de la pala dé lugar a una reducción del ángulo de ataque. El ángulo de ataque también puede llegar a ser negativo.

20 Las palas de rotor de los aerogeneradores presentan además un así llamado retorcido o una torsión, es decir, se tuercen a lo largo de su extensión longitudinal de modo que la cuerda, o sea la línea de unión entre el canto anterior del perfil y el canto posterior del perfil gira a lo largo de la extensión longitudinal de la pala de rotor desde la raíz de la pala hacia la punta de la pala. La superficie creada por la cuerda a lo largo de la extensión longitudinal de la pala de rotor forma, por lo tanto, una especie de superficie helicoidal deformada de manera que el ángulo de ataque aerodinámico sea en la punta de la pala más pequeño que en la raíz de la pala. De este modo se consigue que la pala de rotor funcione a velocidades reducidas o medianas del viento, a las que aún no se produce ningún ajuste de la pala, con la punta de la pala de rotor con un ángulo de ataque óptimo, obteniéndose aquí la máxima potencia. La contribución de las piezas de la pala de rotor, que en relación con la superficie del rotor son las interiores, es decir, las zonas cercanas a la raíz de la pala, es menor. En este modo de funcionamiento el ángulo de ajuste de la pala es, según la definición, de 0°. La pala de rotor se puede girar además a una posición de reposo opuesta al viento, la así llamada posición de bandera, que corresponde aproximadamente a una posición de 90° del ángulo de ajuste de la pala conforme a esta definición.

30 Hasta ahora, la aerodinámica del perfil no ha limitado de manera importante el aumento del tamaño de las palas de rotor. Los perfiles adaptados a las exigencias cada vez mayores han ayudado hasta ahora a mejorar los grados de rendimiento y han permitido, especialmente en la zona de raíz, geometrías más compatibles con las estructuras.

35 En la zona de la punta de la pala se consideran decisivos la eficiencia aerodinámica o el rendimiento aerodinámico como relación entre el empuje vertical y la resistencia. La misma alcanza su valor máximo con ángulos de ataque positivos reducidos  $\alpha_{opt}$ . El perfil se emplea preferiblemente en este punto para conseguir elevados grados de rendimiento del rotor.

40 Los perfiles de la pala de rotor presentan además una zona delimitada en la que se aplica un flujo y se puede lograr una eficiencia aerodinámica. En caso de ángulos de ataque demasiado grandes, el flujo se separa por el lado de succión (Stall positivo) y en caso de ángulos de ataque demasiado pequeños por el lado de presión (Stall negativo). Esta zona operacional ha sido hasta ahora suficiente y no ha dado lugar a restricciones significativas. Sin embargo, como consecuencia de las variaciones del ángulo de ataque causadas por el cizallamiento del viento y ráfagas, especialmente offshore, es previsible que las palas de rotor de mayor tamaño pronto aprovechen esta zona por completo e incluso la rebasen. Para garantizar en este caso un funcionamiento libre de Stall será inevitable recurrir a una regulación individual del pitch (IPC, "Individual Pitch Control").

45 El IPC tendrá que aumentar el ángulo de regulación de la pala durante el giro del rotor en la parte superior del plano del rotor, es decir, reducir el ángulo de ataque, y reducirlo en la parte inferior. Estos ajustes no sólo influyen negativamente en el grado de rendimiento del rotor, sino que también requieren un esfuerzo técnico elevado.

50 Otro fenómeno aerodinámico que dificulta la regulación de los ángulos de ajuste de la pala de rotor en la gama de velocidades de viento altas es la así llamada histéresis de Stall, que es el resultado de variaciones rápidas del ángulo de ataque. Estas variaciones rápidas del ángulo de ataque a causa de turbulencias, de la influencia de la torre o también de la torsión de la pala, dan lugar a una superación momentánea del valor de empuje vertical máximo o mínimo en las proximidades de la separación del flujo y a un desplazamiento momentáneo del punto de separación del flujo. El regreso al estado inicial se produce en forma de histéresis. Este efecto se describe, por ejemplo, en E. Hau "Windkraftanlagen – Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit" (Principios de los aerogeneradores, Técnica, Utilización, Rentabilidad) , 4ª edición, Editorial Springer Berlin Heidelberg, 2008, página 120. En la zona límite del funcionamiento del aerogenerador este efecto dificulta el control del ángulo de la pala.

55 El documento EP 2 253 834 A1 se refiere a una pala de rotor para un aerogenerador. Como elementos auxiliares alternativos para influir en el flujo alrededor de la pala de rotor se revelan Gurney Flaps, aletas pivotantes delante del canto anterior del perfil, generadores de vórtice, y otros.

La presente invención, en cambio, tiene por objeto proporcionar palas de rotor así como aerogeneradores con palas de rotor correspondientes, con lo que se puedan conseguir un mayor rendimiento energético y un buen dominio, incluso a velocidades de viento más elevadas.

5 Esta tarea se resuelve por medio de una pala de rotor de un aerogenerador con una extensión longitudinal desde una raíz de la pala de rotor hasta una punta de la pala de rotor, presentando la pala de rotor al menos en una parte de su extensión longitudinal un perfil de sección transversal aerodinámico provisto de un canto anterior de perfil y un canto posterior de perfil que están unidos a través de un lado de succión y un lado de presión del perfil de sección transversal, que se perfecciona por que la pala de rotor presenta en una sección cercana a la punta de la pala un perfil combinado formado por un perfil principal, una aleta dispuesta delante de un canto anterior del perfil principal y un canal de flujo entre la aleta anterior y el perfil principal, montándose en la sección cercana a la punta de la pala, por el lado de succión del perfil principal, unos generadores de vórtice y presentando la aleta anterior una torsión adaptada a un desarrollo del canto anterior del perfil principal y/o configurándose la aleta anterior, por el lado de la punta de la pala y/o por el lado de la raíz de la pala, en forma de flecha, sujetándose la aleta anterior en el perfil principal por medio de al menos un soporte que presenta un perfil aerodinámico simétrico en dirección de flujo en el canal de flujo.

10 La invención se basa en la idea principal de conseguir que dos estructuras aerodinámicas diferentes interactúen. Por lo tanto, la combinación según la invención de un perfil con aleta anterior, llamada también "Slat", y de un perfil principal con generadores de vórtice (VG) dispuestos por el lado de succión permite en la zona de la punta de la pala un aumento del área del ángulo de ataque disponible del orden de 8° a 10° y una reducción de la histéresis de Stall. El perfil combinado, definido en el marco de la presente invención también como perfil Slat-VG o perfil "SVG", está pensado especialmente para la zona de la punta de la pala o para la mitad exterior de la pala.

15 La aleta anterior suele ser mucho más pequeña que el perfil principal, tanto en la longitud de cuerda como en el grosor relativo. La aleta anterior se posiciona en el canto anterior del perfil principal y forma por su lado de presión, con el canto anterior o el lado de succión del perfil principal, una hendidura o un canal de flujo. La aleta anterior se diseña preferiblemente como estructura sándwich de fibra de vidrio, por lo que presenta un peso reducido y una gran estabilidad.

20 Los generadores de vórtice se emplean para remolinar de forma controlada una capa límite de una corriente de aire. Como consecuencia se incrementa ligeramente el coeficiente de resistencia, pero la capa límite se estabiliza con vistas a ángulos de ataque más grandes.

30 Aerodinámicamente el efecto de la combinación según la invención de aleta anterior y generadores de vórtice consiste en que el canal de flujo entre la aleta anterior y el perfil principal conduzca adicionalmente aire hacia el lado de succión del perfil combinado o perfil principal. De este modo se estabiliza la capa límite que, como consecuencia, se separa más tarde del lado de succión del perfil que en el caso de un perfil similar sin aleta anterior.

35 En el perfil combinado según la invención los generadores de vórtice se posicionan detrás de la aleta anterior, de manera que se encuentren todavía en la zona en la que la capa límite aún no se ha separado del lado de succión. Dado que la aleta anterior ya estabiliza la capa límite por el lado de succión más de lo que es el caso en los perfiles tradicionales, los generadores de vórtice se pueden disponer más en dirección del canto posterior del perfil que cuando se trata de perfiles tradicionales. De este modo se consigue que la capa límite no se separe del lado de succión del perfil, ni siquiera en caso de grandes ángulos de ataque positivos. Como consecuencia, se agranda el área de los ángulos de ataque y ángulos de ajuste de la pala en la que trabaja el IPC y se consiguen ángulos de ataque claramente mayores.

40 Gracias a la interacción según la invención de la aleta anterior y de los generadores de vórtice la capa límite se estabiliza de manera que la histéresis de Stall se reduzca de forma significativa o incluso desaparezca. Así se incrementa el dominio sobre la regulación del ángulo de ajuste de la pala en una gama mayor de ángulos de ajuste de pala y ángulos de ataque.

45 El perfil según la invención es muy resistente a las separaciones de flujo que parten del canto anterior, completando los generadores de vórtice esta circunstancia por el lado de succión en el sentido de que se impiden las separaciones que parten del canto posterior. Esto significa, junto con la reducción de la histéresis de Stall, que el perfil combinado reduce el comportamiento dinámico de pérdida e impide fluctuaciones fuertes del coeficiente de resistencia en caso de ángulos de ataque extremos.

50 Los generadores de vórtice se disponen preferiblemente en una dirección de cuerda del perfil principal detrás de un punto de máximo grosor del perfil principal, en especial en la zona entre el 50% y el 95%, especialmente entre el 60% y el 75% de la cuerda del perfil principal. El punto de máximo grosor del perfil principal es con frecuencia el punto en el que vuelve a aumentar la resistencia de presión para la capa límite y el aire que fluye alrededor, de modo que a partir de este punto se puede esperar una separación de la capa límite del lado de succión del perfil. Una disposición de los generadores de vórtice en una zona tan posterior, desplazada respecto al canto posterior del perfil, resulta especialmente conveniente en combinación con una aleta anterior, dado que por medio de la aleta anterior el punto de separación de la capa límite del lado de succión se desplaza hacia atrás.

60 En el marco de la presente solicitud las características definidas con el término "especialmente" han de entenderse en general como características facultativas, es decir, no obligatoriamente necesarias.

Los generadores de vórtice se pueden diseñar según la invención de manera que generen remolinos co-rotatorios o contra-rotatorios. Esto se refiere a remolinos que presentan respectivamente la misma dirección de rotación (co-rotatorios) o por pares direcciones de rotación opuestas (contra-rotatorios).

5 La parte cercana a la punta de la pala presenta en dirección longitudinal de la pala de rotor preferiblemente una longitud de entre un 5% y un 30%, especialmente de entre un 15% y un 25% de la longitud de la pala de rotor desde la raíz a la punta de la pala de rotor, disponiéndose en especial la parte cercana a la punta de la pala en dirección longitudinal de la pala de rotor, contado desde la raíz de la pala de rotor, entre el 50% y el 98% de la extensión longitudinal de la pala de rotor, sobre todo en una zona entre el 60% y el 90% de la extensión longitudinal. La parte cercana a la punta de la pala se encuentra, por lo tanto, en la mitad exterior de la pala de rotor. En el marco de la  
10 presente invención los datos indicados han de entenderse en el sentido de que, si la longitud de la parte cercana a la punta de la pala debe ser, por ejemplo, del 20%, esta parte se dispone dentro del área de entre el 50% y 98% de la extensión longitudinal, por ejemplo del 70% al 90% o del 55% al 75%.

15 La aleta anterior se diseña preferiblemente con una capa límite turbulenta. Este diseño mejora el ajuste del flujo al perfil principal e iguala la corriente de aire en caso de condiciones variables en el transcurso de un giro del rotor. El diseño de la aleta anterior debería partir de una capa límite turbulenta que en estado limpio de la aleta anterior, también puede ser laminar. Con preferencia se prevé una superficie rugosa o estructurada.

La aleta anterior presenta preferiblemente una extensión inferior al 30% de toda la longitud de cuerda del perfil combinado.

20 En una forma de realización ventajosa la aleta anterior se dispone y moldea en una prolongación del canto anterior del perfil de la pala de rotor, fuera de la parte cercana a la punta de la pala. De este modo el perfil de la pala de rotor está provisto de un canto anterior de perfil uniforme, que se realiza o que continua también en la parte cercana a la punta de la pala con la aleta anterior. Esto ayuda a la hora de reducir turbulencias en relación con la extensión longitudinal de la pala de rotor.

25 De acuerdo con la invención, la aleta anterior presenta también una torsión adaptada al desarrollo del canto anterior del perfil principal y/o la aleta anterior se diseña por el lado de la punta de la pala y/o por el lado de la raíz de la pala en forma de flecha. Estas medidas impiden también la formación de turbulencias en la zona de transición entre un perfil de una pieza sin aleta anterior y el perfil combinado.

30 La combinación de aleta anterior y perfil principal presenta preferiblemente un grosor relativo de menos del 35%, encontrándose especialmente el grosor máximo en posiciones radiales de más del 40%. En este sentido la posición radial significa que los puntos de mayor grosor están posicionados en dirección de la cuerda en más del 40% de la distancia entre el canto anterior de perfil y el canto posterior de perfil, especialmente del perfil principal y/o del perfil combinado.

35 Según la invención, la aleta anterior se sujeta además por medio de al menos un soporte en el perfil principal, redondeándose especialmente las zonas de transición entre el soporte, por una parte, y la aleta anterior y/o el perfil principal, por otra parte. Las partes redondeadas permiten un flujo de aire laminar y de poca separación en estas zonas de transición. El al menos un soporte presenta un perfil aerodinámico simétrico en una dirección de flujo en el canal de flujo. Un perfil aerodinámico de este tipo es un perfil simétrico con un canto anterior de perfil redondeado y un canto posterior de perfil que termina en punta con un grosor de perfil reducido.

40 Al menos un soporte se fija también preferiblemente en un alma del perfil principal, especialmente por medio de un adhesivo. De este modo, el soporte se puede sustituir fácilmente en caso de desgaste.

45 En una forma de realización preferida la aleta anterior se configura de modo que un punto de presión dinámica principal del perfil combinado formado por la aleta anterior y el perfil principal se encuentre en la aleta anterior. Adicional o alternativamente se prevé con preferencia que la aleta anterior presente, al menos en la zona de un canto anterior de perfil de la aleta anterior, una pintura de protección contra la erosión y/o una capa de sacrificio. Si la aleta anterior presenta la correspondiente capa de protección contra la erosión y/o una generosa capa de sacrificio, el laminado situado por debajo no sufre daños, ni siquiera en caso de una erosión fuerte y de larga duración. Esto permite intervalos de servicio más prolongados y una calidad aerodinámica uniforme del perfil, sobre todo cuando la aleta anterior del perfil combinado se diseña de antemano con una capa límite turbulenta.

50 Esta insensibilidad a la suciedad y el diseño especial de la aleta anterior con una capa límite turbulenta convierten el perfil en gran medida en insensible a la suciedad, por lo que la aleta anterior también puede servir de protección contra la erosión para todo el perfil combinado y sustituirse en caso de necesidad. Como consecuencia, ya no se tienen que realizar costosos trabajos de reparación in situ del ala principal a causa de la erosión. Se trata especialmente de evitar estos trabajos de reparación deslocalizados.

55 Finalmente, la tarea en la que se basa la invención se resuelve también por medio de un aerogenerador con al menos una pala de rotor según la invención antes descrita. Las características, ventajas y propiedades indicadas en relación con la pala de rotor también son aplicables al aerogenerador con al menos una pala de rotor.

Otras características de la invención resultan de la descripción de forma de realización según la invención, en combinación con las reivindicaciones y los dibujos. Las formas de realización según la invención pueden presentar algunas de las características o una combinación de varias características.

La invención se describe a continuación, sin limitación de la idea inventiva general, a la vista de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, remitiéndose la descripción expresamente a los dibujos con respecto a todos los detalles según la invención no explicados expresamente en el texto. Se ve en las:

5 Figuras 1a), b) la curva del coeficiente de empuje vertical  $C_L$  en dependencia del ángulo de ataque  $\alpha$  en perfiles tradicionales y perfiles según la invención;

Figura 2 una representación en sección transversal de un perfil combinado según la invención;

Figura 3 una representación esquemática de una vista sobre una pala de rotor según la invención;

Figura 4 una representación esquemática de una parte de la pala de rotor según la invención;

Figura 5 una vista esquemática sobre una aleta anterior de una pala de rotor según la invención;

10 Figura 6 una representación esquemática en sección transversal de un perfil combinado según la invención;

Figura 7 una representación esquemática en sección transversal de otro perfil combinado según la invención;

Figuras 8a), b) las curvas del coeficiente de empuje vertical  $C_L$  en el caso dinámico y del coeficiente de resistencia  $C_W$  en el caso estático para los perfiles como función del ángulo de ataque y

Figuras 9a), b) representaciones en perspectiva de dos perfiles combinados según la invención.

15 En las figuras, los elementos y/o las piezas respectivamente iguales o similares se identifican con las mismas referencias, por lo que se prescinde de una nueva representación.

En la figura 1a) se representa la curva del coeficiente de empuje vertical o "lift coefficient"  $C_L$  como función del ángulo de ataque  $\alpha$ . Para una pala de rotor tradicional resulta una gama de ángulos de ataque  $\Delta\alpha_{op}$  entre un ángulo de ataque máximo  $\alpha_{max}$  y un ángulo de ataque mínimo  $\alpha_{min}$ . Con el ángulo de ataque máximo  $\alpha_{max}$  se produce en el caso estacionario una separación de la corriente de aire del lado de succión, y con un ángulo de ataque mínimo  $\alpha_{min}$  una separación del lado de presión. En este punto el coeficiente de empuje vertical presenta un  $C_L^{min}$  mínimo y negativo. Con el ángulo de ataque máximo  $\alpha_{max}$  el coeficiente de resistencia presenta el máximo valor  $C_L^{max}$ .

20 Más allá de este ángulo de ataque  $\alpha_{max}$  se producen separaciones de flujo por el lado de succión que vuelven a reducir el coeficiente o índice de empuje vertical. Durante el funcionamiento normal la pala de rotor trabaja con un ángulo de ataque  $\alpha$  algo más pequeño, con el que el coeficiente de empuje vertical  $C_L^{opt}$  o el rendimiento aerodinámico  $C_L/C_W$  son óptimos.

En la figura 1b) se muestra la curva correspondiente para un perfil de pala de rotor según la invención con perfil combinado de aleta anterior y perfil principal con generador de vórtice. Con un ángulo de ataque  $\alpha$  grande, se amplía el área aprovechable, como se muestra en la curva discontinua. El área operativa  $\Delta\alpha_{op}$  es mayor que el área correspondiente de la figura 1a). La diferencia  $d\Delta\alpha_{op}^{SVG}$  (SVG por "Slat-Vortex-generator") puede ser de 8° a 10°. En este rango aún no se produce ninguna separación del flujo, por lo que también se puede conseguir un coeficiente de empuje vertical  $C_L^{max,SVG}$  mayor.

En la figura 2 se muestra en sección transversal un perfil combinado correspondiente de una aleta anterior 30 y un perfil principal 20 de una pala de rotor 2. El perfil principal 20 se extiende desde un canto anterior 24 del perfil principal 20 hasta un canto posterior de perfil 12 a lo largo de una cuerda 7. Delante del canto anterior de perfil 24 se representa una aleta anterior 30 con un canto anterior de perfil 32 y un canto posterior de perfil 34 propios, así como con un lado de succión 35 y un lado de presión opuesto (sin referencia). Entre el lado de presión de la aleta anterior 30 y el canto anterior 24 o lado de succión 14 del perfil principal 20 se crea un canal de flujo 22 en el que el aire se conduce hacia el lado de succión 14 del perfil principal 20. Frente al lado de succión 14 se encuentra el lado de presión 16 del perfil principal 20.

En la parte posterior del lado de succión 14 del perfil principal 20 se muestra un generador de vórtice 40 de una serie de generadores de vórtice 40 que sirven para remolinar la corriente de aire estabilizada por el canal de flujo 22. Así se genera una capa límite turbulenta "energetizada" que en el caso ideal no se separa del lado de succión 14 hasta el canto posterior de perfil 12. La serie de generadores de vórtice 40 se puede disponer, como se muestra en la sección superior de la figura, en una configuración por pares 42 o en una configuración paralela 44. La configuración por pares 42 genera vórtices o remolinos contra-rotatorios, es decir, que giran en sentido opuesto, mientras que la configuración paralela 4 da lugar a la formación de remolinos co-rotatorios, o sea, que giran en el mismo sentido.

En la figura 3 se representa una vista sobre una pala de rotor según la invención 2. La misma se extiende desde una raíz de pala de rotor 4 hasta la punta de la pala de rotor 6. Se ilustran igualmente el canto anterior de perfil 10 y el canto posterior de perfil 12. La vista en planta muestra el lado de succión 14. En la parte cercana a la punta de la pala 18 la pala de rotor 2 presenta, en su canto anterior 10, una aleta anterior 30 a la que siguen en dirección de flujo unos generadores de vórtice 40 dispuestos en la mitad posterior de la pala.

La figura 4 muestra una representación esquemática en perspectiva de una parte de la sección cercana a la punta de la pala 18 con un perfil combinado formado por la aleta anterior 30 y el perfil principal 20. Por el lado de succión 14 de la aleta anterior 20 se representa una serie de generadores de vórtice en una configuración por pares 42. Se

trata, por lo tanto, de un perfil "SVG" según la invención. La aleta anterior 30 se representa en su perfil también con el canto anterior de perfil 32, el canto posterior de perfil 34 y el lado de succión 35.

Según el corte A-A se muestra en la parte inferior de la figura 4 el perfil simétrico 38 de un soporte 36 con el que se sujeta la aleta anterior 30 en el perfil principal 20. Este perfil simétrico 38 Presenta, entre otras cosas, un saliente o un canto anterior 39.

En la parte superior de la figura 4 se muestra en una sección, en una caja de líneas discontinuas, una vista sobre la zona de transición del canto anterior de perfil 10 del perfil principal 20 al soporte 36. La misma presenta en la transición al canto anterior 10 zonas redondeadas 36a que se encargan de que también en esta zona de transición predomine un flujo no perturbado y que no se produzcan remolinos adicionales.

En la figura 5 se muestra una representación de la aleta anterior 30 desde arriba sobre el lado de succión 35, viéndose claramente una cierta formación de flecha 33 en los dos extremos en dirección de extensión longitudinal. La aleta anterior 30 está además torcida conforme al propio perfil de la pala de rotor 2, para prolongar su canto anterior de perfil 10.

Alternativamente la aleta anterior 30 se puede disponer delante de la línea continua del canto anterior de perfil 10 de la pala de rotor 2, de manera que el perfil principal 20 corresponda en este caso al propio perfil de la pala de rotor 8.

La figura 6 muestra una representación en sección transversal del perfil combinado en el punto en el que se prevé el soporte 36. La misma se fija mediante un adhesivo 37 de forma estable en una de las almas principales 17, 17'. No se muestra que la conexión entre el soporte 36 y la aleta anterior 30 puede ser una conexión enchufable. También se puede prever una conexión enchufable entre el soporte 36 y el alma 17 o el perfil principal 20, de modo que se pueda cambiar simplemente o sólo la aleta anterior 30 o un componente formado por la aleta anterior 30 y el soporte 36.

La figura 7 muestra detalles de una aleta anterior 30, presentando ésta en su zona del canto anterior de perfil 32 dos capas, en concreto una capa exterior de pintura de protección contra la erosión 50 y una capa de sacrificio 52. Dado que el punto de presión dinámica principal se encuentra preferiblemente en esta parte de la aleta anterior 30, esta parte está expuesta a una erosión especialmente fuerte. El perfil principal recibe una carga mucho menor de lo que sería el caso con un perfil de una pieza. Con la capa de protección contra la erosión 50 y la capa de sacrificio 52 se puede garantizar un funcionamiento de larga duración de la pala de rotor con aleta anterior 30, con lo que los intervalos de mantenimiento y de servicio y los tiempos de sustitución también pueden ser muy largos. Esto resulta especialmente ventajoso para el funcionamiento offshore.

Desde un principio la capa de protección contra la erosión 50 se concibe de manera que se produzca un flujo turbulento. Así, la acumulación de suciedad y los daños por erosión no provocan ningún cambio de las condiciones de flujo.

En las figuras 8a) y b) se muestran de nuevo, por un lado, el coeficiente de empuje vertical  $C_L$  y, por otro lado, el coeficiente de resistencia  $C_W$  como función del ángulo de ataque  $\alpha$  para un perfil combinado, por una parte, y para un perfil tradicional, por otra parte. Los perfiles se identifican mediante símbolos.

En la figura 8a) se muestra, entre otros, la histéresis de Stall para los dos casos que se producen con ángulos de ataque  $\alpha$  mayores si el ángulo de ataque cambia rápidamente. Para el perfil de pala de rotor tradicional de un piso la histéresis cubre un área muy grande. Para el perfil combinado según la invención, esta histéresis se reduce claramente. En la figura 8a) se muestra además el desarrollo hacia ángulos de ataque  $\alpha$  mayores del coeficiente de empuje vertical estacionario.

En la figura 8b) se representa para una gama de ángulos de ataque entre  $-120^\circ$  y  $+120^\circ$ , aproximadamente, el desarrollo del coeficiente de resistencia  $C_W$ . Aquí también se puede ver que la resistencia máxima o el coeficiente de resistencia para el perfil combinado con aleta anterior y generadores de vórtice se reducen claramente frente al perfil tradicional.

En las figuras 9a) y 9b) se muestran dos variantes de una parte de un perfil combinado según la invención que se diferencian en la disposición de los generadores de vórtice 40. En la figura 9a) se ve una disposición con una configuración por pares 42 y en la figura 9b) una disposición con una configuración paralela 44. La configuración por pares 42 conduce a la creación de vórtices o remolinos contra-rotatorios y la configuración paralela 44 a la formación de remolinos de rotación paralela o co-rotatorios.

Todas las características indicadas, también las que se deducen de los dibujos, así como características individuales reveladas en combinación con otras características, se consideran esenciales para la invención, tanto por sí solas como en combinación. Las formas de realización según la invención pueden presentar algunas características o una combinación de varias características.

#### Lista de referencias

- 2 Pala de rotor
- 4 Raíz de la pala de rotor

	6	Punta de la pala de rotor
	7	Cuerda
	8	Perfil de sección transversal aerodinámico
	10	Canto anterior de perfil
5	12	Canto posterior de perfil
	14	Lado de succión
	16	Lado de presión
	17, 17'	Alma
	18	Parte cercana a la punta de la pala
10	20	Perfil principal
	22	Canal de flujo
	24	Canto anterior del perfil principal
	30	Aleta anterior
	32	Canto anterior de perfil
15	33	Torsión
	34	Canto posterior de perfil
	35	Lado de succión de la aleta anterior
36	36	Soporte
	36a	Zona redondeada
20	37	Adhesivo
	38	Perfil de sujeción simétrico
	39	Canto anterior del perfil de sujeción
	40	Generadores de vórtice
	42	Configuración por pares
25	44	Configuración paralela
	50	Pintura de protección contra la erosión
	52	Capa de sacrificio
	$\alpha$	Ángulo de ataque
30	$\alpha_{opt}$	Ángulo de ataque óptimo
	$\alpha_{min}$	Ángulo de ataque mínimo
	$\alpha_{max}$	Ángulo de ataque máximo
	$\Delta\alpha_{op}$	Área de funcionamiento de los ángulos de ataque
	$d\Delta\alpha_{op}^{SVG}$	Beneficio en el área de funcionamiento
35	$C_L$	Coeficiente de empuje vertical ("lift coefficient")
	$C_L^{min}$	Coeficiente de empuje vertical mínimo
	$C_L^{max}$	Coeficiente de empuje vertical máximo
	$C_L^{max,SVG}$	Coeficiente de empuje vertical máximo con perfil SVG
	$C_W$	Coeficiente de resistencia
40		

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Pala de rotor (2) de un aerogenerador con una extensión longitudinal desde una raíz de pala de rotor (4) hasta una punta de pala de rotor (6), presentando la pala de rotor (2) al menos en una parte de su extensión longitudinal un perfil de sección transversal aerodinámico (8) provisto de un canto anterior de perfil (10) y un canto posterior de perfil (12) que están unidos a través de un lado de succión (14) y un lado de presión (16) del perfil de sección transversal (8), caracterizada por que la pala de rotor (2) presenta en una parte cercana a la punta de la pala (18) un perfil combinado (20, 30) formado por un perfil principal (20), una aleta anterior (30) dispuesta delante de un canto anterior (24) del perfil principal (20) y un canal de flujo (22) entre la aleta anterior (30) y el perfil principal (20), disponiéndose en la parte cercana a la punta de la pala (18), por el lado de succión del perfil principal (20), generadores de vórtice (40), presentando la aleta anterior (30) una torsión (33) adaptada a un desarrollo del canto anterior (24) del perfil principal (20) y/o configurándose la aleta anterior (30), por el lado de la punta de la pala y/o por el lado de la raíz de la pala en forma de flecha, sujetándose la aleta anterior (30) por medio de al menos un soporte (36) en el perfil principal (20), que presenta en una dirección de flujo un perfil aerodinámico simétrico en el canal de flujo (22).
- 15 2. Pala de rotor (2) según la reivindicación 1, caracterizada por que los generadores de vórtice (40) se disponen en una dirección de cuerda del perfil principal (20) detrás de un punto de máximo grosor del perfil principal (20), especialmente en un área de entre un 50% y un 95%, especialmente de entre un 60% y un 75% de la cuerda (7) del perfil principal (20).
- 20 3. Pala de rotor (2) según la reivindicación 1 ó 2, caracterizada por que la parte cercana a la punta de la pala (18) presenta en dirección longitudinal de la pala de rotor (2) una longitud entre un 5% y un 30%, especialmente entre un 15% y un 25% de la longitud de la pala de rotor (2) desde la raíz de la pala de rotor (4) hasta la punta de la pala de rotor (6), disponiéndose especialmente la parte cercana a la punta de la pala (18) en dirección longitudinal de la pala de rotor (2), contado desde la raíz de la pala de rotor (4) en una zona de entre un 50% y un 98% de la extensión longitudinal de la pala de rotor (2), especialmente en una zona de entre un 60% y un 90% de la extensión longitudinal.
- 25 4. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada por que la aleta anterior (30) se diseña con una capa límite turbulenta, presentando especialmente una superficie rugosa o estructurada.
- 30 5. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada por que la aleta anterior (30) presenta una extensión inferior al 30% de toda la longitud de cuerda del perfil combinado (20, 30).
- 35 6. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la aleta anterior (30) se dispone y moldea en una prolongación del canto anterior de perfil (10) de la pala de rotor (2) fuera de la parte cercana a la punta de la pala (18).
- 40 7. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada por que la aleta anterior (30) presenta una torsión (33) adaptada a un desarrollo del canto anterior (24) del perfil principal (20) y/o por que la aleta delantera (30) se configura por el lado de la punta de pala y/o por el lado de la raíz de pala en forma de flecha.
- 45 8. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada por que la combinación de aleta anterior (30) y perfil principal (20) presenta un grosor relativo de menos del 35%, posicionándose especialmente el grosor máximo en posiciones radiales de más del 40%.
9. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada por que las zonas de transición entre el soporte (36) y la aleta anterior (30) y/o el perfil principal (20) se redondean.
- 50 10. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada por que por medio de una conexión enchufable la aleta anterior (20) se une o se puede unir de forma separable a al menos un soporte (36).
- 55 11. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada por que el al menos un soporte (36) se une a un alma (17) del perfil principal (20), especialmente por medio de un adhesivo (37).
- 60 12. Pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizada por que la aleta anterior (30) presenta, al menos en la zona de un canto anterior de perfil (32) de la aleta anterior (30), una pintura de protección contra la erosión (50) y/o una capa de sacrificio (52).
13. Aerogenerador con al menos una pala de rotor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 12.



Fig. 1

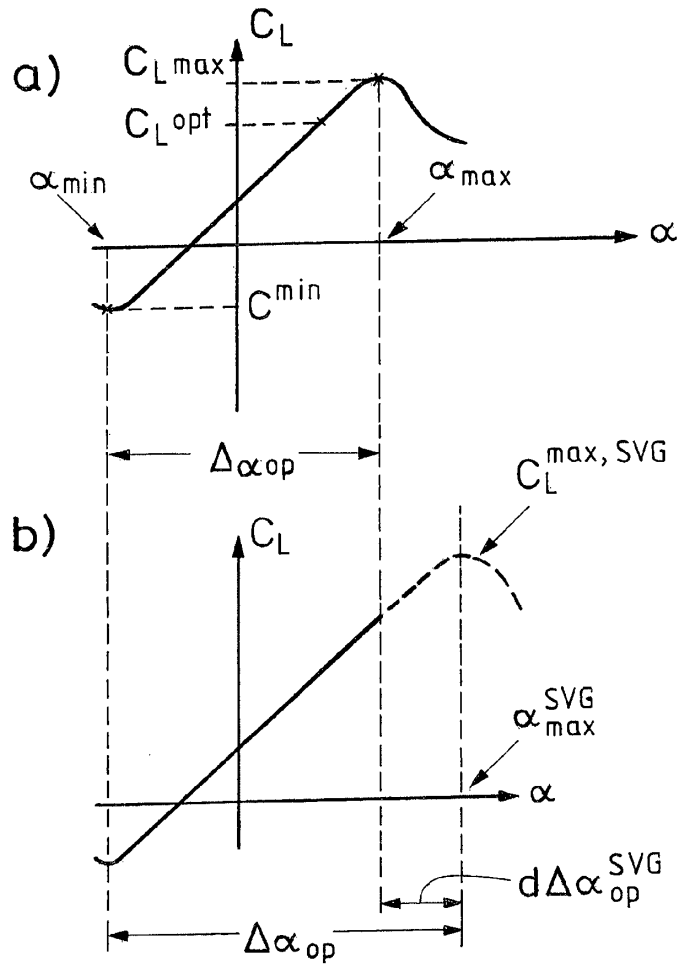


Fig. 2

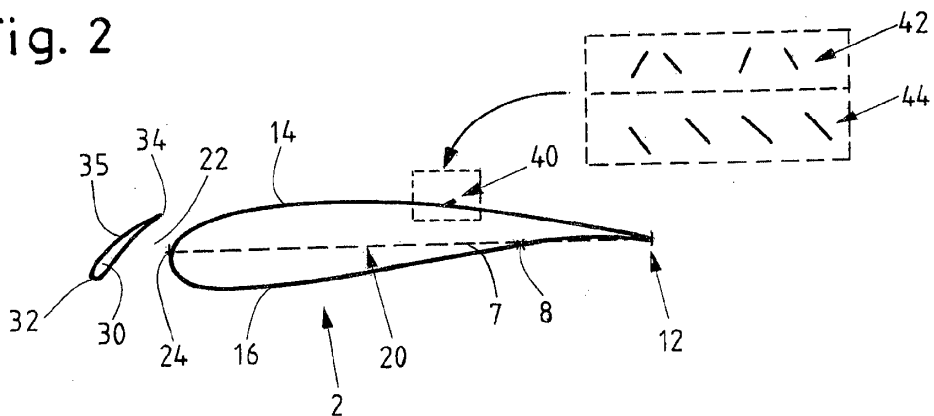


Fig. 3

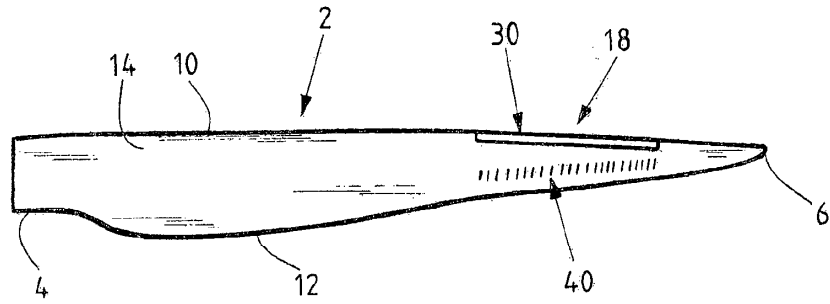


Fig. 4

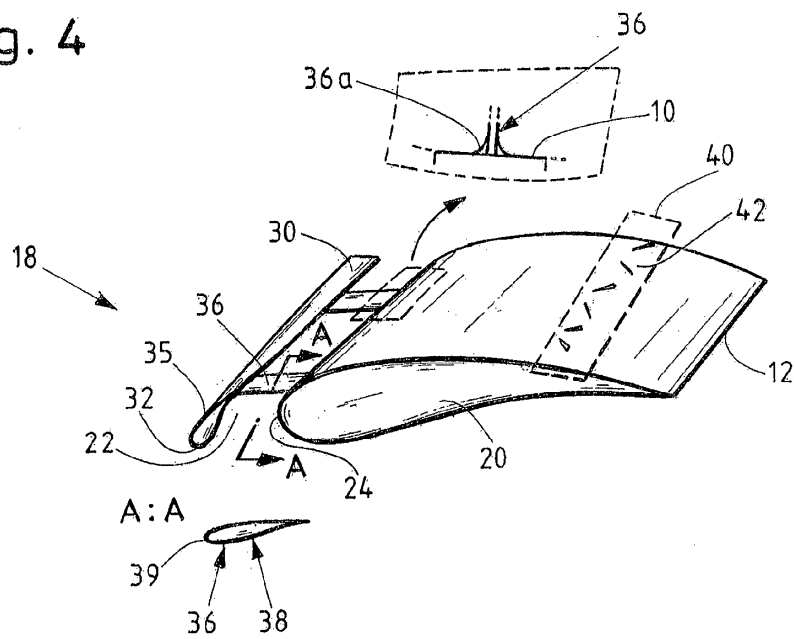


Fig. 5

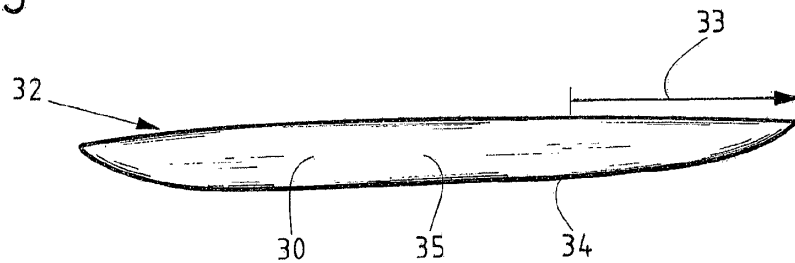


Fig. 6

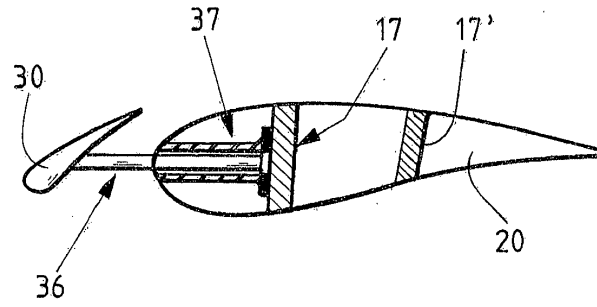


Fig. 7

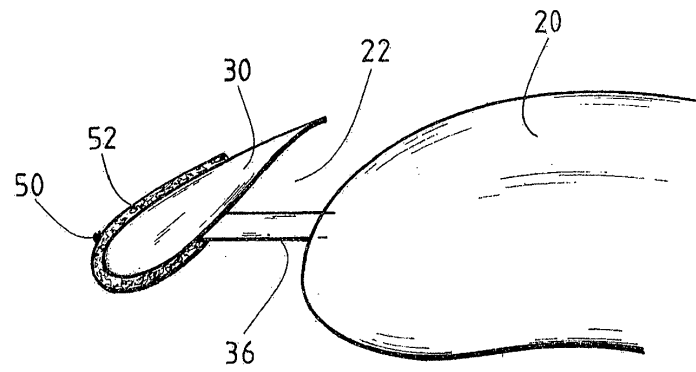


Fig. 8

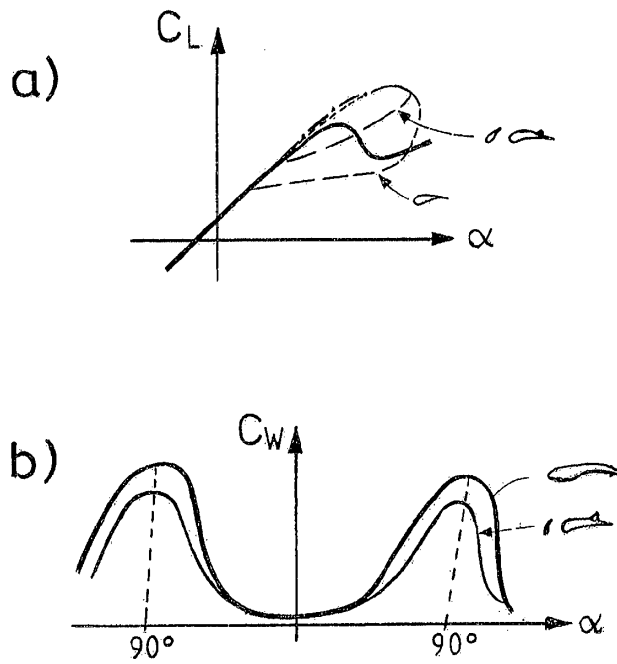


Fig. 9

