



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 986 386**

⑮ Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)  
**B29C 65/48** (2006.01)  
**B29C 65/00** (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑥ Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.08.2019 PCT/EP2019/072551**

⑦ Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2020 WO20052939**

⑨ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.08.2019 E 19769015 (9)**

⑩ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2024 EP 3807524**

---

④ Título: **Método para proporcionar un sello de borde para un complemento de pala de rotor**

⑩ Prioridad:

**10.09.2018 EP 18193531  
01.08.2019 EP 19189605**

⑤ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**11.11.2024**

⑬ Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S  
(100.0%)  
Borupvej 16  
7330 Brønde, DK**

⑭ Inventor/es:

**LOEVEN, ALEX y  
RAMANUJAM, GIRIDHAR**

⑮ Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 986 386 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

Método para proporcionar un sello de borde para un complemento de pala de rotor

5 La invención describe un método para proporcionar un sello de borde para un complemento de pala de rotor.

10 El rendimiento aerodinámico de las palas del rotor de las turbinas eólicas es muy sensible a las imperfecciones de la superficie, especialmente a las que se encuentran muy cerca del borde de ataque de la pala del rotor. Esto presenta un desafío cuando hay un escalón o un obstáculo en la superficie de la pala del rotor, por ejemplo, después de la aplicación de una cubierta de protección del borde de ataque (LEP, por sus siglas en inglés) y/o un panel generador de vórtices (VG, por sus siglas en inglés), un panel de borde de salida (TE, por sus siglas en inglés), etc. Las cubiertas de LEP también se denominan cubiertas protectoras contra la erosión o carcasa de LEP.

15 Puede haber un escalón pronunciado en los bordes de un panel o cubierta unida a la pala del rotor. Tal abrupta diferencia de altura hace que el flujo de aire pase de laminar a turbulento, lo que afectará negativamente a la producción anual de energía (AEP, por sus siglas en inglés) de la turbina eólica, y también puede contribuir al ruido de la turbina eólica.

20 Se conoce de la técnica anterior que se esmerila el borde de un complemento ya montado en una rampa o pendiente, con el fin de reducir el impacto a la AEP. Sin embargo, un procedimiento de esmerilado de este tipo consume mucho tiempo y es costoso. Además, es difícil obtener un borde uniforme a lo largo de todo el borde del complemento, y existe el riesgo de esmerilar hasta el interior de la propia pala del rotor. El procedimiento de esmerilado también puede ser difícil de realizar, ya que el material del complemento puede ser flexible y, en consecuencia, difícil de esmerilar.

25 Otra forma de reducir la turbulencia que surge de un escalón a lo largo del borde de un complemento, es fabricar el complemento con un borde delgado. Sin embargo, montar un complemento, como una cubierta de LEP, con un borde largo y delgado, puede provocar arrugas a lo largo del borde, lo que contribuye al costo de la no conformidad y reduce el rendimiento aerodinámico.

30 En otro enfoque, se puede fabricar un complemento, tal como una carcasa de LEP, para que encaje en un rebaje incorporado en la superficie de la pala. Sin embargo, este enfoque está asociado a requisitos estrictos con respecto a las tolerancias y calidad de producción, y aumenta significativamente los costos de fabricación, siendo, al mismo tiempo, más propenso a los defectos.

35 En otro enfoque, tal como se propone en los documentos EP3144525A1 y WO2018051153A1, el escalón en el borde largo de una carcasa de LEP se hace menos abrupto mediante la aplicación de un material sellante que se estrecha hacia la superficie de la pala del rotor. Sin embargo, se ha observado que el flujo de aire laminar sobre los sellos de los bordes se quiebra y desarrollar turbulencias.

40 Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar una forma de superar la influencia negativa de un complemento al rendimiento aerodinámico de una pala de rotor. Este objeto se logra mediante el método de la reivindicación 1, consistente en formar un sello de borde a lo largo de un borde longitudinal de una pieza complementaria montada en la superficie exterior de una pala de rotor, y mediante la pala de rotor de turbina eólica de la reivindicación 10.

45 La invención describe un método para proporcionar un sello de borde a lo largo de un borde longitudinal de una pieza complementaria montada en la superficie exterior de una pala de rotor. El método de la invención comprende las etapas de determinar la altura en el borde longitudinal de la pieza complementaria; determinar una anchura de superposición para el sello de borde en una región de superposición próxima al borde longitudinal de la pieza complementaria, en donde la relación entre la anchura de superposición y la altura en el borde longitudinal, se encuentra en el rango de 10:1 a 50:1; elegir una anchura para el sello de borde que se aplicará sobre la superficie de la pala de rotor, en donde la anchura del sello de borde se elige de manera que supere la altura en el borde longitudinal de la pieza complementaria en un factor de al menos veinte (es decir, la relación entre la anchura del sello de borde de la pala de rotor y la altura del complemento es de al menos 20:1); y formar el sello de borde sobre una anchura total que comprende la anchura de superposición y la anchura del sello de borde, aplicando un material sellante al menos en un volumen definido por la altura en el borde longitudinal de la pieza complementaria y la anchura determinada del sello de borde de la superficie de la pala, y también en la región de superposición de la pieza complementaria, para formar un sello de borde que se superponga a lo largo del borde longitudinal de la pieza complementaria. El término “anchura de sellado de borde”, se entenderá como la anchura del sello de borde que se forma en la superficie de la pala del rotor, comenzando a lo largo del borde longitudinal de la pieza complementaria, y extendiéndose hacia un borde de sellado exterior, que generalmente es paralelo al borde longitudinal de la pieza complementaria. Se entenderá que el término “anchura de superposición”, significa la anchura de la parte de sellado del borde que se extiende sobre la superficie del complemento. La anchura de superposición se determina en función de la altura del complemento.

La invención se basa en la idea de que la naturaleza laminar del flujo de aire sobre la superficie de la pala del rotor, puede conservarse formando el sello de borde sobre el borde longitudinal del complemento, es decir, haciendo que el sello de borde “superponga” las superficies exteriores tanto del complemento como de la pala del rotor.

- 5 En el contexto de la invención, se puede suponer que el borde longitudinal de la pieza complementaria tenga la apariencia de un escalón abrupto. No es necesario fabricar el complemento para que tenga un borde longitudinal progresivamente más delgado cuando se haya de montar en una pala de rotor utilizando el método de la invención, de modo que la fabricación de dichos complementos puede resultar favorablemente económica. Dado que la pieza complementaria generalmente está de alguna manera unida o pegada a la pala del rotor, por ejemplo, mediante una capa de unión adhesiva, se puede suponer que la altura en el borde longitudinal de la pieza complementaria comprende la altura del complemento en ese borde longitudinal, así como la altura de cualquier capa adhesiva para pegar el complemento a la pala del rotor.
- 10 Se puede entender que la anchura del sello de borde se extiende hacia fuera desde el borde longitudinal del complemento. Dado que la anchura del sello de borde es significativamente mayor que la altura del complemento, el sello de borde mejorado reduce favorablemente, o incluso elimina, las pérdidas de AEP asociadas al complemento. El sello de borde obtenido mediante el método de la invención también reduce significativamente el ruido generado por la pala del rotor al girar, en comparación con una pala del rotor que no se proporcione con dicho sellado de borde a lo largo de una parte, tal como una cubierta de LEP. Esto se debe principalmente a que la anchura del sello obtenido utilizando el método de la invención es significativamente más ancha que la de cualquier tipo de sello de borde conocido. Por ejemplo, se sabe que se aplica un sellante a lo largo del borde de una pieza complementaria o a una cinta de protección de un borde de ataque, hasta una anchura de unos pocos milímetros, pero se ha observado que el flujo de aire laminar sobre dichos sellos de borde estrechos se quiebra y desarrolla turbulencias.
- 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65
- El método de la invención puede utilizarse durante la fabricación de una pala de rotor de turbina eólica y también cuando se repare o actualice una pala de rotor ya instalada. El método de la invención es igualmente aplicable a los complementos de pala existentes, para los que la contribución a la AEP mejorará cuando se proporcione el sellado de borde de la invención.
- Según la invención, la pala del rotor de la turbina eólica comprende al menos una pieza complementaria montada en la superficie exterior de la pala del rotor, y dicho sello de borde “extendido”, tal como se describió anteriormente, formado a lo largo de al menos un borde longitudinal de la pieza complementaria.
- Realizaciones y características particularmente ventajosas de la invención se dan por las reivindicaciones dependientes, como se revela en la siguiente descripción. Las características de distintas categorías de reivindicaciones pueden combinarse según corresponda para obtener realizaciones adicionales que no se describen en la presente memoria.
- A continuación, sin restringir la invención en modo alguno, se puede entender que el término “complemento”, significa cualquiera de una cubierta protectora, una placa o un panel unido a la superficie de la pala, especialmente a lo largo de la extensión longitudinal de la pala. Los términos “sellado de borde” y “sello de borde”, pueden usarse indistintamente.
- Se usa un agente de sellado o un adhesivo para formar el sello de borde a lo largo de uno o más bordes del complemento, como se explicará a continuación. Los términos “material sellante”, “sellador de borde” y “agente de sellado”, pueden usarse para referirse a dicho adhesivo. Preferiblemente, el sello se forma utilizando un sellante líquido que se solidifica algún tiempo después de la aplicación, y que, cuando es líquido, tiene una reología específica que combina una resistencia al descuelgue deseada con una fluidez deseada. Preferiblemente, el sellante solidificado es flexible, resistente a la abrasión, y se adhiere bien a la superficie a la que se aplica. El sellante puede ser un adhesivo termofusible que se endurezca al enfriarse, por ejemplo. Alternativamente, se puede preferir un sellante que se endurezca mediante un proceso químico de curado. Los materiales ejemplares pueden ser epoxi, poliuretano, poliuria, silicona, polímeros modificados con silano (SMP, por sus siglas en inglés), metacrilato de metilo (MMA, por sus siglas en inglés), etc., elegidos en vista de las propiedades deseadas de resistencia al descuelgue y de fluidez, como se indicó anteriormente. Por ejemplo, se puede elegir un material sellante que tenga una viscosidad adhesiva específica que ofrezca un buen equilibrio entre la resistencia al descuelgue y la fluidez, así como un grado de flexibilidad favorablemente alto en su estado curado. La integridad de un sello de borde formado a lo largo de los bordes longitudinales de un LEP que utilice dicho material, no sufrirá la flexión torsional repetida de la pala del rotor.
- El método de la invención para optimizar aerodinámicamente los bordes de un complemento, no se limita a dispositivos aerodinámicos, tales como las cubiertas de LEP. El complemento puede ser una placa que comprenda sensores, p. ej., una placa flexible que se adapte a la superficie curva de la pala del rotor. La fijación de una placa de sensor de este tipo a la superficie de la pala del rotor puede beneficiarse del concepto de sellado de la presente invención, logrando mejoras con respecto a la AEP. Dicha placa se puede unir a la superficie de la pala del rotor en cualquier posición entre el borde de ataque y el borde de salida de la pala del rotor, y se puede montar en el lado de succión o en el lado de presión de la pala del rotor. Preferiblemente, se forma un sello de borde a lo largo de cualquier borde longitudinal de dicha placa, usando el método de la invención. De esta manera, ni el borde a barlovento o barlovento

(es decir, el borde que está más cerca del borde de ataque de la pala del rotor) ni el borde a sotavento (el borde que está más cerca del borde de salida de la pala del rotor) de dicha placa, afectarán negativamente al flujo de aire laminar sobre la superficie de la pala del rotor.

5 Como ejemplo, la altura del escalón del borde de un complemento puede ser de 0,7 mm. La altura del escalón del borde de un complemento es la suma del grosor del borde exterior del complemento más el grosor de cualquier capa adhesiva o de unión utilizada para unir el complemento a la pala del rotor. En este caso, la anchura mínima del sellado de borde para este complemento, es de 14 mm. Para una altura del escalón del borde de 1,0 mm, la anchura mínima del sellado de borde es de 20 mm.

10 La relación entre la anchura del sello de borde y la altura del escalón, puede variar de 20:1 a 100:1. Para un rango de altura del escalón de borde de ejemplo de 0,5 mm a 1,5 mm, el sello de borde tendría al menos 10 mm de ancho y hasta 150 mm de ancho. Se ha observado (en pruebas en túneles de viento) que dichos sellos de borde relativamente anchos para las piezas complementarias de las palas del rotor, dan como resultado un comportamiento aerodinámico mejorado.

15 La etapa de formar el sello de borde comprende aplicar el material sellante también sobre una región de superposición de la pieza complementaria. La superposición del sello de borde puede formar ventajosamente una capa lisa sobre el borde del complemento.

20 En el método de la invención, la anchura del sello de borde y la anchura de superposición para un sello de borde se “ajustan” preferiblemente a un complemento específico, con el fin de evitar, o al menos retrasar significativamente, el inicio de la transición del flujo desde el laminar hasta el turbulento sobre la superficie de la pala detrás del borde del complemento, es decir, a sotavento del complemento. Preferiblemente, la extensión (es decir, la anchura) del sellado de borde y la extensión de la superposición se regirán por la altura del escalón del borde en el borde longitudinal del complemento.

25 La relación entre la anchura de superposición y la altura del escalón puede variar de 10:1 a 50:1. Para una altura de escalón de borde de ejemplo de 0,5 mm, la anchura de superposición sería de 5 mm a 25 mm de ancho. Para una altura de escalón de borde de 1,5 mm, la anchura del sello de borde sería de 15 a 75 mm de ancho. Las relaciones recomendadas descritas anteriormente son significativamente mayores que las utilizadas normalmente en las soluciones conocidas en la técnica. La anchura o extensión máxima posible de un sellado de borde también puede determinarse o limitarse mediante una curvatura de la pala del rotor.

30 35 El sellado de borde propuesto en la presente memoria puede lograrse mediante el uso de un agente de sellado o un adhesivo con una viscosidad suficientemente baja, para que sea lo suficientemente fluido como para fluir hacia cualquier espacio y hendidura superficial que se forme durante la aplicación del complemento, y para garantizar un acabado liso. Sin embargo, dado que la viscosidad del adhesivo determinará la altura mínima del sello de borde a lo largo de sus límites exteriores, el material sellante también se elige preferiblemente de manera que se asegure una transición suave a la superficie de la pala.

40 45 El material sellante se puede aplicar utilizando un conjunto de herramientas que comprende varias espátulas con diferentes propiedades. En una realización preferida de la invención, la etapa de formar un sello de borde comprende una etapa de depositar material sellante al menos sobre la superficie de la pala del rotor a lo largo del borde longitudinal de la pieza complementaria. Luego, se utiliza una espátula preliminar para extender el material sellante en una región limitada por el borde longitudinal de la pieza complementaria y la anchura de sellado del borde elegido. La herramienta preliminar tiene preferiblemente una flexibilidad y una forma que facilitan que inicialmente se extienda el sellante. En una etapa posterior, se utiliza una espátula de refinado para refinar la forma del sellante extendido por la herramienta preliminar. Preferiblemente, la herramienta de refinado tiene una dureza menor que la herramienta preliminar.

50 55 El método de la invención puede incluir preferiblemente una etapa de delimitación del área del sello de borde previsto utilizando una cinta de enmascarar fina y lisa. Una cinta puede extenderse a lo largo del borde exterior del sello de borde previsto, a una distancia hacia fuera del escalón del borde. Esta distancia es al menos 20 veces mayor que la altura del escalón del borde. El grosor de la cinta es lo más pequeño posible, preferiblemente de 0,2 mm como máximo. El otro límite del sello de borde puede definirse mediante el escalón del borde. Alternativamente, si se ha de formar una superposición sobre el escalón del borde, se puede aplicar una segunda cinta a la superficie del complemento, paralela al borde longitudinal del complemento. El sellante se aplica entonces dentro de estos límites. El sellante puede depositarse inicialmente de manera tosca sobre la pala del rotor (y sobre el complemento), por ejemplo, en forma de una perla procedente de una boquilla dispensadora, o mediante pulverización. El sellante aplicado de manera tosca se extiende luego utilizando una herramienta de conformación preliminar, por ejemplo, una espátula dentada flexible. Esto se puede hacer guiando la espátula dentada en la dirección longitudinal de la superficie de la pala del rotor, entre los límites del sello de borde. Una vez completada esta etapa preliminar, se retiran la cinta o cintas. El sellante aún líquido se alisa luego hasta su forma final, pasando una espátula más blanda y flexible sobre el sellante extendido. Esta etapa de refinado o alisado con la segunda herramienta, sirve para reducir aún más la altura de la “cuña” del sello de borde entre el escalón de borde y el límite exterior del sello de borde. La segunda espátula flexible está hecha

60 65

preferiblemente de un material tal como silicona, para garantizar una dureza Shore relativamente baja, por ejemplo,  $50 \pm 10$ .

5 Para escalones de borde grandes, se puede utilizar un material de relleno para aumentar el sello de borde. En dicha realización preferida de la invención, el material de relleno se aplica a lo largo del borde del complemento, para reducir inicialmente el escalón del borde, es decir, para formar una cuña o pendiente compacta que se extienda hacia fuera desde el borde del complemento. El material sellante se aplica entonces sobre el relleno. El material de relleno puede tener una viscosidad más alta que el material sellante, para facilitar la fácil acumulación del relleno o la capa inferior. 10 La extensión o la anchura del relleno será menor que la anchura del sello de borde de la superficie de la pala, de modo que se pueda aplicar una capa uniforme de material sellante sobre el relleno para lograr una transición suave a la superficie de la pala del rotor. El volumen ocupado por el material de relleno puede ser inferior a la mitad del volumen previsto del sello de borde.

15 Ventajosamente, el sello de borde de la invención reduce el impacto negativo de los escalones u otros obstáculos, en el rendimiento aerodinámico de una pala de rotor. Al reducir significativamente, o incluso eliminar, la influencia negativa de los bordes abruptos de un complemento en el rendimiento aerodinámico de las palas del rotor, el sello de borde de la invención puede garantizar que un complemento sea “neutral con respecto a la AEP”.

20 El método de la invención también permite implementar complementos, tales como carcassas de LEP, cubiertas de LEP, etc., con un grosor de borde más alto. Esto, a su vez, se asocia a la reducción de costos, ya que la formación de un borde delgado es un factor que aumenta los costos en la fabricación de complementos, como cubiertas y carcassas de LEP. El método de sellado de borde descrito anteriormente contribuye a la mejora del rendimiento aerodinámico de la solución de LEP. El sellado de borde de la invención permite indirectamente el uso de una carcasa con un borde más grueso y, por lo tanto, contribuye a la reducción de los costes de fabricación, y puede ayudar a evitar penalizaciones, tales como los costes de no conformidad.

25 Otros objetivos y características de la presente invención serán evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas consideradas en conjunto con los dibujos adjuntos. Sin embargo, debe entenderse que los dibujos están diseñados únicamente con fines ilustrativos y no como una definición de los límites de la invención.

30 La Figura 1 muestra una realización de un sello de borde aplicado al borde longitudinal de un complemento de pala de rotor;

35 la Figura 2 muestra una realización del sello de borde de la invención;

la Figura 3 muestra otra realización del sello de borde de la invención;

40 la Figura 4 muestra un complemento unido a una superficie de pala de rotor, como se conoce de la técnica anterior;

45 la Figura 5 muestra otro complemento unido a una superficie de pala de rotor, como se conoce de la técnica anterior;

las Figuras 6 y 7 muestran plantillas utilizadas en el método de la invención;

50 la Figura 8 muestra un flujo de aire laminar sobre un sello de borde formado usando el método de la invención.

55 En los diagramas, números similares se refieren a objetos similares en todas partes. Los objetos en los diagramas no están necesariamente dibujados a escala.

60 La Figura 1 muestra una realización de un sello S1 de borde aplicado a un complemento 3, que puede ser cualquiera de una cubierta de LEP, una carcasa, una cubierta de TE, un panel de VG, un panel de TE, un panel de sensores, etc. El complemento 3 está unido a la superficie exterior 20 de la pala 2 del rotor mediante una capa 33 de unión adhesiva. A los efectos del análisis, la capa adhesiva 33 puede considerarse como un elemento del complemento 3. La altura  $t_1$  del complemento 3 en su borde 3E es la suma del grosor del complemento 3 y el grosor de la capa adhesiva 33. Se puede suponer que el borde 3E del complemento discurre en una dirección longitudinal de la pala 2 de rotor. El diagrama muestra claramente la forma de “escalón” en el borde 3E del complemento 3. Usando el método de la invención, se forma un sello S1 de borde a lo largo del borde 3E del complemento. El sello S1 de borde comienza en un primer punto J1 en el borde 3E del complemento, y se extiende hasta un segundo punto J2, por lo que la altura del sello S1 disminuye gradualmente desde un máximo en el punto J1, hasta un mínimo en el punto J2. La relación  $\delta_1:T_1$  es preferiblemente de al menos 20:1. El volumen del sello S1 de borde en este caso es el área de la sección transversal del sello S1 de borde, es decir,  $(t_1 \times \delta_1) / 2$ , multiplicada por la longitud del sello S1, p. ej., la longitud del borde longitudinal 3E del complemento 3.

65 La Figura 2 muestra una realización del sello de borde de la invención. En este caso, el sello S01 de borde se aplica a un borde longitudinal 3E de un complemento 3, en este caso, una cubierta de LEP montada alrededor del borde de ataque de una pala 2 de rotor. En esta realización ilustrativa, el sello S01 de borde se superpone al borde longitudinal 3E del complemento 3, es decir, el sello S01 de borde comienza en el punto J0, y se extiende hasta el punto J2. La

anchura total  $\delta_{01}$  del sello S01 de borde es, por lo tanto, la anchura 50 de la superposición  $S_{ov}$  que se extiende desde el punto J0 hasta el punto J1, y la anchura restante  $\delta_1$  del sello de borde que se extiende desde el punto J1 hasta el punto J2. En esta realización, la altura del sello S01 aumenta gradualmente desde una altura mínima en el punto J0, hasta una altura máxima  $t_{01}$  en el punto J1, y disminuye gradualmente desde la altura máxima  $t_{01}$  en el punto J1, hasta una mínima en el punto J2. La altura  $t_{01}$  del sello S01 en su máximo puede superar la altura  $t_1$  del borde 3E del complemento, en hasta 2,0 mm, dependiendo de la anchura 50 de superposición y/o de la anchura  $\delta_1$  del sello de borde entre el punto J1 y el punto J2. Esta altura  $t_{01}$  se basa en el grosor controlado de la capa del sellante o adhesivo aplicado con una herramienta, tal como una espátula.

- 5 La Figura 3 muestra otra realización del sello de borde de la invención. De manera similar al sello S01 de borde de la Figura 2, el sello S01F de borde en este caso se extiende sobre un relleno F que se aplica primero a lo largo del borde longitudinal 3E del complemento. El relleno F puede ser un adhesivo de fraguado rápido y/o un adhesivo de alta viscosidad. El relleno F se puede aplicar para formar una cuña con lados rectos que sean más cortos que la altura del complemento 3. En una etapa posterior, se aplica material sellante sobre el relleno F curado o endurecido, de manera que el sello S01F de borde resultante se superponga al borde longitudinal 3E del complemento 3, comenzando en el punto J0, y extendiéndose hasta el punto J2. También en este caso, la anchura total  $\delta_{01}$  del sello S01F de borde se mide desde el punto J0 hasta el punto J2. Como se describió en la Figura 2 anterior, la altura del sello S01F aumenta gradualmente desde una altura mínima en el punto J0, hasta una altura máxima  $t_{01}$  en el punto J1, y disminuye gradualmente desde la altura máxima en el punto J1, hasta la altura mínima en el punto J2. El relleno F mostrado en este caso también podría utilizarse en la realización de la Figura 1.

10 La Figura 4 muestra un complemento 3 unido a una superficie 20 de pala de rotor de una manera conocida de la técnica anterior. El complemento 3 se puede unir utilizando un adhesivo 33, como se explicó anteriormente. Un borde longitudinal 3E del complemento 3 forma un escalón abrupto o diferenciado, que puede provocar la ruptura de un flujo  $A_{lam}$  de aire laminar, lo que provoca una turbulencia  $A_{turb}$  a sotavento del escalón 3E. Dicha turbulencia  $A_{turb}$  reduce el rendimiento aerodinámico de la pala 2 del rotor y, en consecuencia, reduce la AEP de la turbina eólica.

15 La Figura 5 muestra otro enfoque de la técnica anterior para fijar un complemento 3 a una superficie 20 de pala de rotor. En este caso, el escalón 3E formado por el borde longitudinal 3E del complemento 3 se hace menos brusco mediante un sello 50 aplicado a lo largo del borde 3E. La anchura de dicho sello 50 de borde de la técnica anterior, es generalmente solo de entre 2 y 5 mm. El flujo  $A_{lam}$  de aire laminar entrante sobre la pala 2 del rotor no se ve afectado tan gravemente como se muestra en la Figura 4 anterior, pero incluso el escalón menos abrupto presentado por la junta 50 es insuficiente para preservar la naturaleza laminar del flujo de aire, lo que provoca una turbulencia  $A_{turb}$  a sotavento del sello 50, por lo que este enfoque también muestra un efecto negativo en el rendimiento aerodinámico de la pala 2 del rotor y una reducción correspondiente en la AEP de la turbina eólica.

20 Las Figuras 6 y 7 muestran las fases de formación de un sello S01 de borde, usando el método de la invención. El material sellante S se distribuye de manera tosca a lo largo de un borde 3E del complemento 3, en este caso, un protector de borde de ataque. Con una herramienta preliminar T0, el sellante S aplicado de manera tosca se extiende para llenar un volumen entre el borde largo 3E del complemento 3 y una cinta 60 de enmascarar. La cinta de enmascarar es preferiblemente lisa con un grosor de como máximo 0,2 mm. En este caso, la herramienta preliminar T0 es una espátula dentada flexible. Su flexibilidad es tal que se puede doblar en ambas direcciones axiales para facilitar que se extienda el sellante S. A continuación, utilizando una herramienta T1 de refinado, el sellante S, aún blando, se conforma como se deseé, en este caso, para formar una superposición  $S_{ov}$  a lo largo del borde largo 3E del complemento 3. La cinta 60 de enmascarar se puede retirar después de esta etapa. En una etapa final, la herramienta T1 de refinado se utiliza de nuevo para optimizar aún más la forma del sello S01 de borde. Esta herramienta T1 de refinado es más blanda que la herramienta preliminar T0, por ejemplo, con una dureza Shore de 40 a 60, de modo que pueda curvarse como se deseé mientras se extiende el sellante, con el fin de lograr la forma deseada del perfil de sello de borde.

25 50 La Figura 8 muestra el flujo de aire sobre un complemento al que se le ha dado un sello S1 de borde utilizando el método de la invención. El diagrama muestra que la naturaleza laminar del flujo  $A_{lam}$  de aire se mantiene debido al sello S1 de borde que se extendió liso.

30 45 55 Aunque la presente invención se ha descrito en forma de realizaciones preferidas y variaciones de las mismas, se entenderá que podrían realizarse numerosas modificaciones y variaciones adicionales en la misma sin apartarse del ámbito de la invención.

60 En aras de la claridad, debe entenderse que el uso de "un" o "una" a lo largo de esta solicitud no excluye una pluralidad, y "que comprende" no excluye otras etapas o elementos.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para proporcionar un sello (S01, S01F) de borde a lo largo de un borde longitudinal (3E) de una pieza complementaria (3) montada en la superficie exterior (20) de una pala (2) de rotor, método que comprende las etapas de
- determinar una altura (t1) en el borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3);
  - determinar una anchura ( $\delta_0$ ) de superposición para el sello (S01, S01F) de borde en una región (J0-J1) de superposición próxima al borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3), en donde la relación entre la anchura ( $\delta_0$ ) de superposición y la altura (t1) en el borde longitudinal (3E), se encuentra en el rango de 10:1 a 50:1;
  - elegir una anchura (51) para que el sello (S01, S01F) de borde se aplique sobre la superficie (20) de la pala del rotor, en donde la anchura (61) del sello (S01, S01F) de borde se elige para que supere la altura (t1) en el borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3), en un factor de al menos veinte;
  - y
  - formar el sello (S01, S01F) de borde sobre una anchura total ( $\delta_0$ ) que comprende la anchura ( $\delta_0$ ) de superposición y la anchura del sello (51) de borde, mediante la aplicación de un material sellante (S) a la superficie (20) de la pala del rotor, al menos en un volumen definido por la altura (t1) en el borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3) y la anchura (51) del sello de borde elegido, y también en la región (J0-J1) de superposición de la pieza complementaria (3), para formar una superposición (S<sub>ov</sub>) de sello de borde a lo largo del borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3).
2. Un método según la reivindicación 1, en donde la anchura (51) del sello de borde es de al menos 12 mm.
3. Un método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la relación entre la anchura (51) del sello de borde y la altura (t1) en el borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3), es como máximo de 100:1.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material sellante se aplica sobre la anchura ( $\delta_0$ ) de superposición y la anchura (51) del sello de borde, de manera que la altura (t1) del sello (S01, S01F) de borde supere la altura (t1) en el borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3).
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de formación del sello (S01F) de borde va precedida de una etapa de aplicación de un material (F) de relleno a lo largo del borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3), por lo que el volumen ocupado por el material (F) de relleno es inferior al volumen previsto del sello (S01F) de borde.
6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material sellante se aplica utilizando una plantilla (4) conformada para definir la transición suave deseada desde el borde (3E) de la pieza complementaria (3) hasta la superficie (20) de la pala del rotor.
7. Un método según la reivindicación anterior, en donde la plantilla (4) está conformada para distribuir también el material sellante en la región (J0-J1) de superposición de la pieza complementaria (3).
8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la anchura (51) del sello de borde se determina, además, mediante una curvatura de la pala (2) del rotor.
9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de formar el sello (S01, S01F) de borde comprende
- depositar material sellante (S) al menos sobre la superficie de la pala (2) del rotor a lo largo del borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3);
  - utilizar una herramienta preliminar (T0) para extender el material sellante (S) en una región delimitada por el borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3) y la anchura (51) del sello de borde elegida;
  - utilizar una herramienta (T1) de refinado para refinado la forma del sellante (S) extendido por la herramienta preliminar (T0), herramienta (T1) de refinado que tiene una dureza inferior a la de la herramienta preliminar (T0) y un perfil basado en la forma del sello de borde deseada.
10. Una pala (2) de rotor de turbina eólica que comprende al menos una pieza complementaria (3) montada en la superficie exterior (20) de la pala (2) de rotor, y un sello (S01, S01F) de borde formado utilizando el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, a lo largo de al menos un borde longitudinal (3E) de la pieza complementaria (3).

11. Una pala de rotor de turbina eólica según la reivindicación 10, en donde una pieza complementaria (3) comprende cualquiera de una cubierta protectora del borde de ataque, un panel del borde de salida, un panel generador de vórtices, una placa, o un panel de sensores.
- 5 12. Una pala de rotor de turbina eólica según la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en donde el grosor de la pieza complementaria (3) en su borde longitudinal (3E) se encuentra en el rango de 0,5 a 1,5 mm.

Figura 1

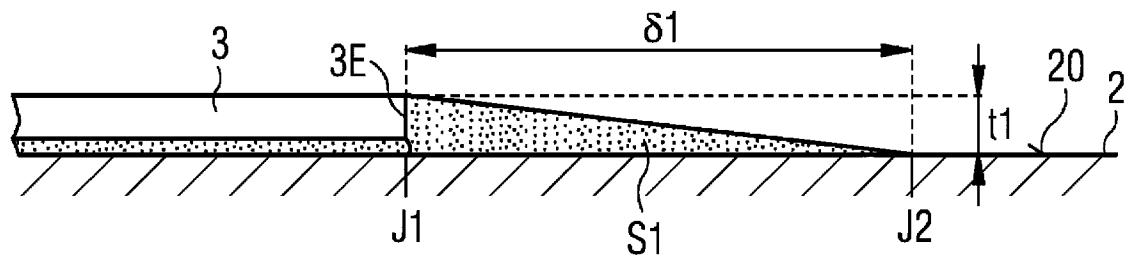


Figura 2

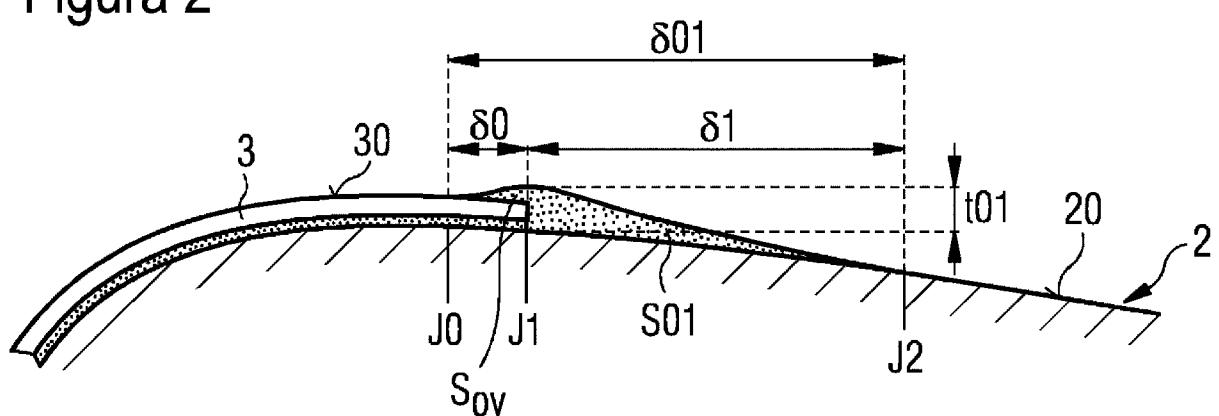


Figura 3

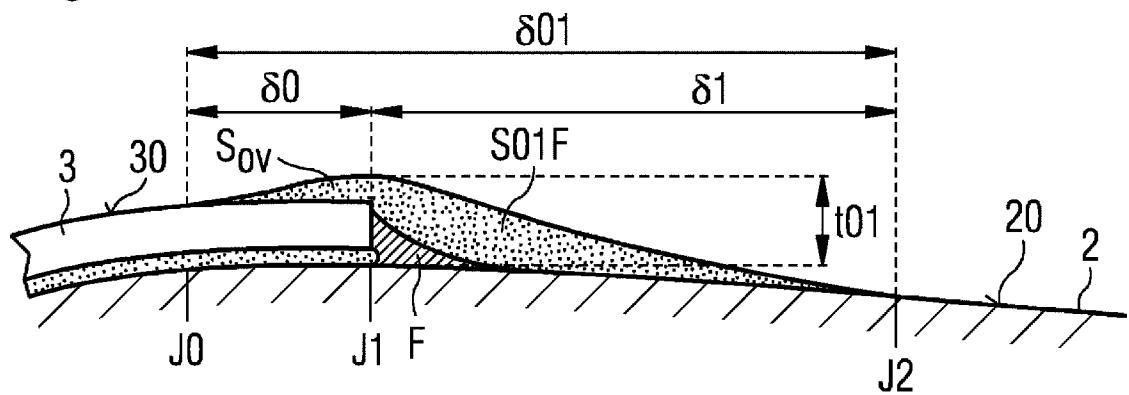


Figura 4 TÉCNICA ANTERIOR

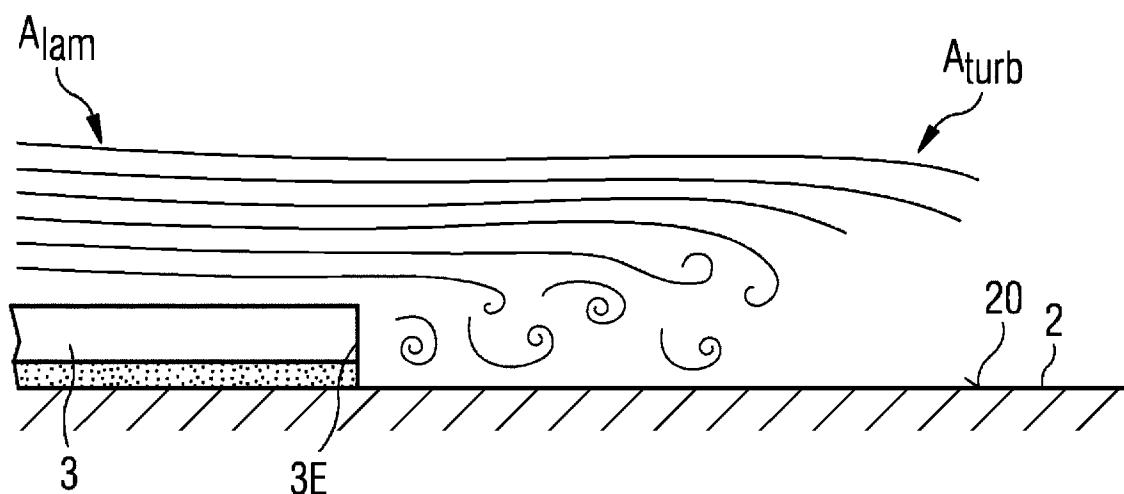


Figura 5 TÉCNICA ANTERIOR

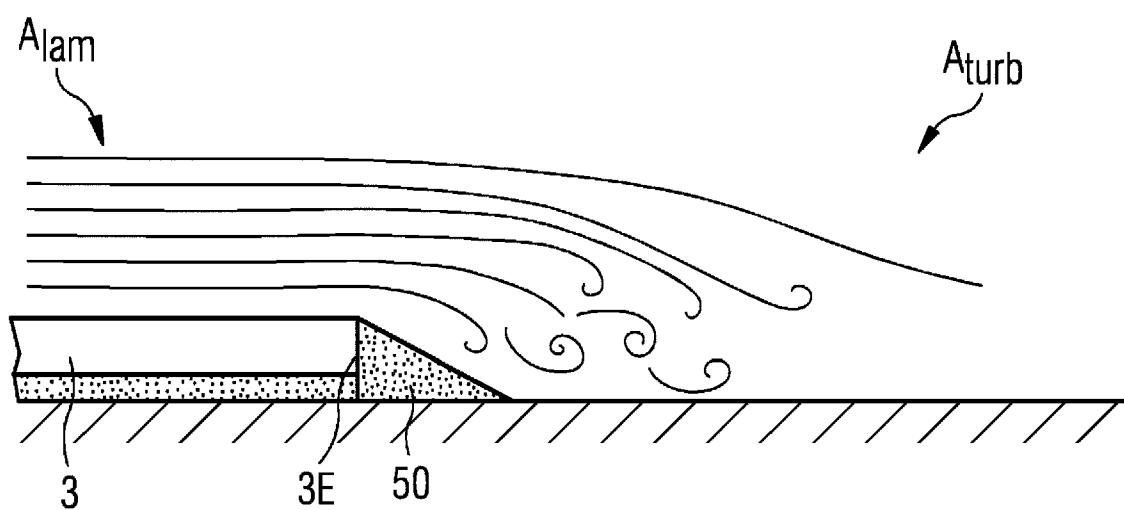


Figura 6

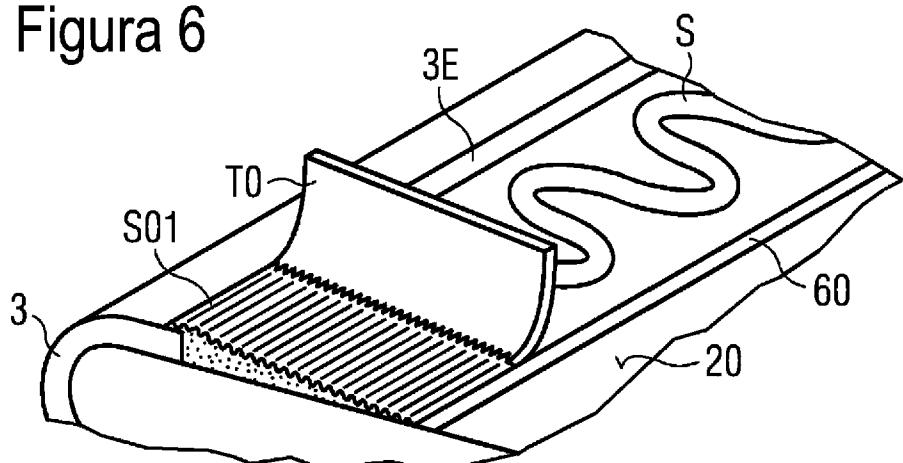


Figura 7

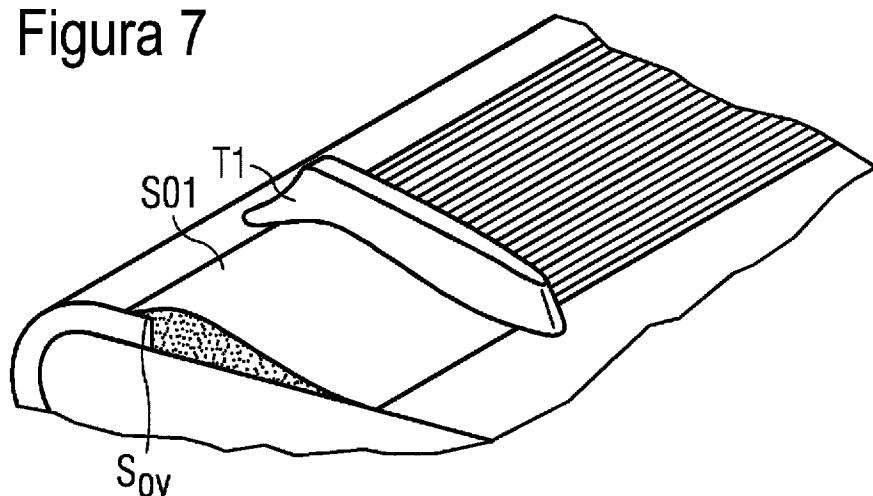


Figura 8

