

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 973 128**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2017 E 17151172 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2023 EP 3348825**

54 Título: **Una pala de turbina eólica que comprende un dispositivo de reducción de ruido en el borde de salida**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.06.2024

73 Titular/es:

**LM WIND POWER A/S (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**ARCE, CARLOS;
NIELSEN, BJARKE y
BÆK, PETER**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 973 128 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

Una pala de turbina eólica que comprende un dispositivo de reducción de ruido en el borde de salida

5 **Campo técnico**

10 [0001] La presente invención se refiere a un dispositivo de reducción de ruido para una pala de turbina eólica, que tiene un primer extremo, un segundo extremo, una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, en el que el dispositivo de reducción de ruido comprende una parte de base que se extiende desde el primer extremo hasta un extremo proximal, al menos un conjunto ("array") de primeros elementos de reducción de ruido que se extienden desde el extremo proximal hasta el segundo extremo, y al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido dispuestos en relación con los primeros elementos de reducción de ruido.

15 [0002] La presente invención se refiere además a una pala de turbina eólica con al menos un dispositivo de reducción de ruido como se menciona anteriormente. La presente invención también se refiere a un procedimiento para modernizar un dispositivo de reducción de ruido y a un procedimiento para fabricar un dispositivo de reducción de ruido.

20 **Antecedentes**

25 [0003] Es bien conocido que las grandes palas de turbina eólica para las turbinas eólicas modernas experimentan ruido en el borde de salida generado por el flujo de aire que pasa por el perfil aerodinámico de la pala de turbina eólica. El flujo de aire se transforma de un flujo de aire sustancialmente laminar a un flujo de aire turbulento sobre la superficie de pala y se separa además de las capas límite en un punto de separación. Esto genera vórtices detrás del borde de salida que generan un efecto estela y sonidos sibilantes asociados a aproximadamente un kilohercio (kHz).

30 [0004] Es conocido integrar un perfil de reducción de ruido en la sección de borde de salida de la pala de turbina eólica. Sin embargo, esto incrementa la complejidad del procedimiento de emplazamiento y añade etapas adicionales al procedimiento de fabricación. Otro modo de resolver este problema es fijar uno o más dispositivos de reducción de ruido en o cerca del borde de salida de la pala de turbina eólica. Estos dispositivos de reducción de ruido a menudo comprenden una pluralidad de dientes ("serrations") o bien una pluralidad de escobillas ("brushes") que sobresalen de una o más placas base. A lo largo de la literatura se han propuesto diversas formas vistas en la dirección a lo largo de la cuerda ("chordwise"), así como diversas dimensiones de estos dientes.

35 [0005] El documento WO 2013/045601 A1 enseña diferentes modos de realización de dos conjuntos de elementos de reducción de ruido dispuestos en una superficie lateral de la pala de turbina eólica, en los que el primer conjunto se mueve activa o pasivamente en relación con el segundo conjunto durante el funcionamiento. En un modo de realización, el primer conjunto comprende una pluralidad de dientes mientras que el segundo conjunto comprende una pluralidad de cerdas. En este modo de realización, el primer conjunto está conectado a un mecanismo móvil que puede mover el primer conjunto en la dirección a lo largo de la cuerda entre una posición retraída y una posición extendida. Para permitir el movimiento del primer conjunto, los dos conjuntos están conectados a placas base individuales que se pueden mover en relación entre sí.

40 [0006] Este modo de realización de ejemplo requiere la instalación adicional de accionadores lineales conectados a un sistema de control electrónico, o de un mecanismo cargado por resorte en la superficie lateral de la pala de turbina eólica. En segundo lugar, las dos placas base deben estar separadas para permitir el movimiento del primer conjunto. Esta solución incrementa la complejidad y los costes del dispositivo de reducción de ruido en el borde de salida, así como el riesgo de que uno de los componentes móviles falle debido a impactos o cargas externas durante la rotación del rotor.

45 [0007] El documento EP 3096003 A1 divulga una pala de turbina eólica con un conjunto de dientes que sobresalen más allá del borde de salida de la pala de turbina eólica. Las cerdas están dispuestas a lo largo de los bordes periféricos de dos dientes contiguos y se extienden en dirección a lo largo de la cuerda hacia el espacio formado por los dientes contiguos.

50 [0008] El documento US 2008/0187442 A1 divulga una parte de borde de salida configurada para fijarse a una pala de turbina eólica, en la que la parte de borde de salida comprende una serie de dientes individuales entre los que se dispone un grupo de cerdas. Tanto los dientes como las cerdas sobresalen desde una superficie de borde truncado de la parte de borde de salida.

55 [0009] El documento US 2011/0223030 A1 divulga otra solución donde el conjunto de cerdas está dispuesto a lo largo del borde periférico de los dientes. Los dientes sobresalen desde una placa base fijada a la superficie lateral de la pala de turbina eólica. Cada cerda o grupo de cerdas se coloca en un ángulo entre 5 grados y 90 grados en relación con el borde de salida de la pala de turbina eólica o con el borde periférico del diente respectivo. Las cerdas y los dientes se pueden formar como una pieza integral por moldeo por inyección. En cambio, las cerdas

pueden tener un extremo engrosado que se coloca en una ranura formada en la superficie de borde periférico de los dientes.

5 [0010] Los dientes anteriores forman una superficie de borde periférico estrecha que requiere una alineación muy precisa de las cerdas durante el proceso de fabricación para lograr una fijación fuerte. Si se forma una ranura en la superficie de borde periférico, la resistencia estructural del área alrededor de la ranura se debilita adicionalmente. Esta solución no es adecuada para modificar los dispositivos de reducción de ruido existentes debido a la ubicación de las escobillas.

10 [0011] Otra solución alternativa propone formar una pluralidad de hendiduras ("slits") a lo largo de la superficie de borde periférico de los dientes. Sin embargo, esto requiere un material rígido o bien un grosor de diente incrementado para evitar que el material entre las hendiduras contiguas se rompa durante el funcionamiento. Aún otra solución alternativa propone formar una pluralidad de rebajos a lo largo del borde de salida de la pala de turbina eólica, en la que las escobillas se pueden extender desde una o más superficies laterales en cada rebajo.
15 Sin embargo, esto requiere un proceso de emplazamiento muy complejo durante la fabricación o el uso de refuerzos en el borde de salida conformados para añadir resistencia estructural al laminado alrededor de cada rebajo.

20 **Objetivo de la invención**

[0012] Un objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido y una pala de turbina eólica que solucione los problemas mencionados anteriormente.

25 [0013] Otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido y una pala de turbina eólica que incremente la flexibilidad de fijación de las escobillas.

[0014] Aún otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido y una pala de turbina eólica que permita modernizar dispositivos de reducción de ruido existentes.

30 [0015] Otro objetivo adicional de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido que permita una instalación fácil y sencilla en la pala de la turbina eólica y/o una fijación fácil y sencilla de las escobillas.

Descripción detallada de la invención

35 [0016] Un objetivo de la invención se logra por un dispositivo de reducción de ruido para una pala de turbina eólica, de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene un primer extremo, un segundo extremo, una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, en el que el dispositivo de reducción de ruido comprende un parte de base configurada para su fijación a una superficie lateral o una superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica, al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido que se extiende desde un extremo proximal hasta el segundo extremo, y al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido separado del al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido, los segundos elementos de reducción de ruido tienen un extremo libre, en el que la parte de base se extiende desde el primer extremo hasta dicho extremo proximal, en el que el al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido está fijado a o integrado en la parte de base, en el que el al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido se extiende paralelo al al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido a lo largo del extremo proximal, los segundos elementos de reducción de ruido sobresalen desde una tercera superficie de la parte de base hacia dicho segundo extremo en una condición no cargada y se extienden al menos parcialmente hacia un espacio formado entre primeros elementos de reducción de ruido contiguos.

50 [0017] Esto proporciona una configuración de reducción de ruido mejorada que proporciona una reducción de ruido mejorada y un rendimiento aerodinámico mejorado en comparación con los dispositivos de reducción de ruido convencionales. Esta configuración permite una mayor flexibilidad durante la fijación de los segundos elementos de reducción de ruido, en particular en comparación con el dispositivo de reducción de ruido del documento US 2011/0223030 A1. Esta configuración también permite una instalación fácil y sencilla en una pala de turbina eólica, ya que no es necesario ningún sistema de control adicional ni mecanismo móvil.

60 [0018] La presente configuración posibilita además modernizar ("retrofit") los dispositivos de reducción de ruido existentes con segundos elementos de reducción de ruido para mejorar el ruido global y las propiedades aerodinámicas. Esto también posibilita equipar la pala de turbina eólica con un conjunto de dispositivos de reducción de ruido semiescobillados o totalmente escobillados. Esto incrementa la adaptabilidad del conjunto de dispositivos de reducción de ruido.

65 [0019] De acuerdo con un modo de realización, los primeros elementos de reducción de ruido son dientes, en los que cada uno de dichos dientes tiene una longitud medida desde el extremo proximal hasta el segundo extremo, un ancho medido a lo largo del extremo proximal y un grosor de diente medido entre dichas primera y segunda superficies laterales.

5 **[0020]** Los primeros elementos de reducción de ruido de acuerdo con la invención son dientes. Los dientes sobresalen desde un extremo proximal localizado en la parte de base hacia un segundo extremo o extremo distal. El perfil de los dientes tiene una primera superficie lateral que define un lado de presión, una segunda superficie lateral que define un lado de succión y un borde periférico localizado entre dichas superficies laterales. Dicho perfil define además una línea central que se extiende entre los extremos proximal y distal.

10 **[0021]** El flujo de aire que pasa por la pala de turbina eólica en dirección a lo largo de la cuerda se divide en una pluralidad de flujos de aire locales por los primeros elementos de reducción de ruido, por ejemplo, los dientes, cuando están instalados. A continuación, los flujos de aire locales se conducen a través de espacios formados entre dientes contiguos. Cada uno de dichos espacios está definido por bordes periféricos con orientación opuesta de los dientes contiguos.

15 **[0022]** Las dimensiones, forma y/o densidad de los primeros elementos de reducción de ruido, por ejemplo, los dientes, se pueden seleccionar dependiendo de una aplicación particular, el perfil aerodinámico de la pala de turbina eólica y/o una posición longitudinal deseada en la pala de turbina eólica. Las dimensiones, forma y/o densidad de los primeros elementos de reducción de ruido se pueden seleccionar además dependiendo de las dimensiones, forma y/o densidad de los segundos elementos de reducción de ruido. Esto permite que el conjunto de dientes reduzca la energía de los vórtices generados y también el ruido en el borde de salida generado.

20 **[0023]** Por ejemplo, una o ambas superficies laterales de los dientes pueden tener un perfil recto o curvado que se extiende en dirección longitudinal. La dirección longitudinal del dispositivo de reducción de ruido corresponde a la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica cuando está instalado. Por tanto, los dientes se pueden diseñar para que tengan un perfil estructuralmente fuerte y/o para que tengan un perfil con buenas propiedades aerodinámicas y acústicas.

25 **[0024]** Por ejemplo, una o ambas superficies laterales de los dientes pueden tener un perfil recto o curvado que se extiende en dirección transversal. La dirección transversal del dispositivo de reducción de ruido corresponde a la dirección a lo largo de la cuerda de la pala de turbina eólica cuando está instalado. En un ejemplo alternativo, los dientes pueden estar doblados, es decir, colocados en un ángulo inclinado, en relación con la parte de base o una porción de la misma. Esto permite que el perfil de los dientes esté más o menos alineado con la dirección del flujo de aire turbulento.

30 **[0025]** Por ejemplo, la(s) superficie(s) de borde periférico de los dientes puede(n) tener un perfil recto o curvado que se extiende a los extremos proximal y distal. En un ejemplo particular, el perfil de los dientes puede formar dos superficies de borde periférico sustancialmente rectas localizadas en lados opuestos de la línea central. Las superficies de borde con orientación opuesta de dos dientes contiguos se pueden intersectar en el extremo proximal, o intersectar en un punto localizado hacia el primer extremo del dispositivo de reducción de ruido. Esto permite la adaptación de la densidad de los dientes y/o del área de espacio total entre las superficies de borde con orientación opuesta.

35 **[0026]** La parte de base y/o los primeros elementos de reducción de ruido se pueden hacer de un material flexible, tal como termoplásticos, materiales compuestos, polímero, caucho, PUR u otros materiales o compuestos adecuados. Esto permite que los dientes se flexionen o doblen cuando se someten a cargas de viento. De forma alternativa, la parte de base y/o los elementos de reducción de ruido se pueden hacer de un material rígido, tal como metales (por ejemplo, acero) o materiales o compuestos reforzados con fibra de vidrio o carbono. Esto reduce el aleteo de los dientes durante las operaciones.

40 **[0027]** De acuerdo con la invención, los segundos elementos de reducción de ruido son cerdas, en los que cada una de dichas cerdas tiene una longitud medida desde la tercera superficie hasta dicho extremo libre.

45 **[0028]** Los segundos elementos de reducción de ruido pueden tener, por ejemplo, pero sin limitarse, forma de cerdas. Las cerdas sobresalen desde una tercera superficie que está localizada entre el extremo proximal y el primer extremo y está orientada hacia el segundo extremo o extremo distal. El conjunto de cerdas forma una estructura permeable que permite que el aire pase entre las cerdas individuales.

50 **[0029]** Las dimensiones, forma y/o densidad de los segundos elementos de reducción de ruido, por ejemplo, las cerdas, se pueden seleccionar dependiendo de una aplicación particular, el perfil aerodinámico de la pala de turbina eólica y/o una posición longitudinal deseada en la pala de turbina eólica. Las dimensiones, forma y/o densidad de los segundos elementos de reducción de ruido se pueden seleccionar además dependiendo de las dimensiones, forma y/o densidad de los primeros elementos de reducción de ruido. Esto reduce la presión diferencial entre los lados de presión y succión y amortigua el flujo de aire local que pasa a través de los espacios entre los primeros elementos de reducción de ruido contiguos. Esto también reduce la eficacia de dispersión en el borde de salida de la pala de turbina eólica, lo que reduce además el ruido en el borde de salida generado.

65

- 5 **[0030]** Por ejemplo, las cerdas se pueden configurar para flexionarse cuando se someten a cargas de viento y volver a su forma inicial cuando se retiran las cargas de viento. La longitud, el perfil de la sección transversal, el perfil longitudinal, las propiedades elásticas y/o el material de las cerdas se pueden seleccionar dependiendo de una aplicación particular, el perfil aerodinámico de la pala de turbina eólica y/o una posición longitudinal deseada en la pala de turbina eólica. Esto permite que las cerdas se adapten al flujo de aire local y, de este modo, tengan un efecto mínimo en el rendimiento aerodinámico del dispositivo de reducción de ruido.
- 10 **[0031]** Los segundos elementos de reducción de ruido se pueden hacer de un material flexible, tal como materiales compuestos, termoplásticos, por ejemplo, polímero, nailon, silicona, caucho, PUR u otros materiales o compuestos adecuados. De forma alternativa, los segundos elementos de reducción de ruido se pueden hacer de metales, por ejemplo, acero, o materiales reforzados con fibra de vidrio o carbono y tienen una estructura flexible.
- 15 **[0032]** De acuerdo con un modo de realización especial, las cerdas tienen una longitud constante o una longitud variable a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido, por ejemplo, la longitud varía en función de la longitud de los dientes, y/o los dientes tienen una longitud constante o una longitud variable a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido.
- 20 **[0033]** El dispositivo de reducción de ruido se puede disponer en una superficie lateral, por ejemplo, el lado de presión o succión, de la pala de turbina eólica. El extremo proximal de los primeros elementos de reducción de ruido, por ejemplo, los dientes, en un ejemplo, puede estar alineado con un borde de salida o una superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica cuando están instalados. Por tanto, la longitud de la porción que sobresale que se extiende libremente más allá del borde de salida puede ser igual a la longitud de los dientes. Esto permite un efecto de modificación máximo sobre el flujo de aire turbulento que pasa por el área de borde de salida.
- 25 **[0034]** En un ejemplo alternativo, el extremo proximal puede estar retraído en relación con el borde de salida o la superficie de borde de salida. Por tanto, la longitud de la porción que sobresale libremente puede ser menor que la longitud de los dientes. Esto reduce el efecto de modificación sobre el flujo de aire turbulento que pasa por el área de borde de salida.
- 30 **[0035]** En otro ejemplo alternativo, el extremo proximal puede estar extendido en relación con el borde de salida o la superficie de borde de salida. Por tanto, la longitud de la porción que sobresale libremente puede ser mayor que la longitud de los dientes. Esto permite un efecto de modificación máximo sobre el flujo de aire turbulento y modifica en parte las estructuras de flujo no deseadas, como vórtices y desprendimientos, cerca del borde de salida. Dicha área de superficie total se puede determinar por los primeros elementos de reducción de ruido y en parte por la parte de base.
- 35 **[0036]** En los ejemplos mencionados anteriormente, los dientes pueden sobresalir igualmente hacia el segundo extremo o extremo distal de modo que el primer dispositivo de reducción de ruido tenga un ancho constante en la dirección transversal. Por tanto, el dispositivo de reducción de ruido puede tener sustancialmente el mismo efecto a lo largo del borde de salida de la pala de turbina eólica.
- 40 **[0037]** En un ejemplo, las cerdas pueden sobresalir igualmente hacia el segundo extremo o extremo distal de modo que el segundo dispositivo de reducción de ruido tenga un ancho constante en la dirección transversal. El extremo libre de las escobillas, es decir, el conjunto de cerdas, puede estar alineado con el segundo extremo o extremo distal de los dientes. La porción de las cerdas que sobresale libremente puede, por tanto, cubrir todo el espacio entre dientes contiguos y se puede ver influenciada por el flujo de aire local que entra en los espacios. Esto proporciona un efecto de amortiguación máximo sobre el flujo de aire local que pasa a través de estos espacios.
- 45 **[0038]** En un ejemplo alternativo, el extremo libre de las cerdas puede estar retraído en relación con el segundo extremo o extremo distal, cubriendo parcialmente, de este modo, dichos espacios. Esto proporciona un efecto de amortiguación reducido sobre el flujo de aire local que pasa a través de los espacios.
- 50 **[0039]** En otro ejemplo alternativo, el extremo libre de las cerdas puede estar extendido en relación con el segundo extremo o extremo distal, cubriendo, de este modo, todo el espacio libre localizado contiguo a todo(s) el/los borde(s) periférico(s) de los dientes, incluyendo los espacios mencionados anteriormente. Esto proporciona un efecto amortiguador sobre los flujos de aire locales que pasan a través de los espacios, así como sobre cualquier flujo de aire restante que pasa por los extremos distales de los dientes. Esto posibilita dotar a las cerdas de una longitud estandarizada que, antes o después de la instalación, se puede cortar a la longitud y/o perfil de extremo ("end profile") deseados.
- 55 **[0040]** De forma alternativa, los dientes y/o las cerdas pueden tener una longitud variable que varía en la dirección transversal. Esto permite la adaptación del perfil del dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con las características del flujo de aire en áreas particulares sobre la pala de turbina eólica. Esto permite además personalizar la longitud de las cerdas de acuerdo con la longitud de los dientes, por ejemplo, el perfil de extremo
- 60
- 65

de las cerdas puede seguir el perfil de extremo de los dientes con un desplazamiento predeterminado, o las cerdas y los dientes pueden tener perfiles de extremo diferentes.

5 **[0041]** El conjunto de segundos elementos de reducción de ruido, por ejemplo, las cerdas, se pueden configurar como un único conjunto continuo, extendiéndose, por tanto, sustancialmente a lo largo de toda la longitud del dispositivo de reducción de ruido. De forma alternativa, dicho conjunto se puede definir por una pluralidad de subconjuntos ("sub-arrays"), cada uno con un grupo de segundos elementos de reducción de ruido, por ejemplo, cerdas. Los subconjuntos individuales se pueden disponer en un orden continuo o espaciados. Por ejemplo, cada subconjunto puede estar alineado con la línea central del diente correspondiente.

10 **[0042]** De acuerdo con un modo de realización, la parte de base comprende una porción engrosada dispuesta entre el primer extremo y el extremo proximal, en la que la porción engrosada tiene un grosor de base máximo medido entre dichas primera y segunda superficies laterales, en la que el grosor de base máximo es igual a o mayor que el grosor combinado de los primer y segundo elementos de reducción de ruido.

15 **[0043]** La parte de base está configurada para proporcionar soporte a los primer y segundo elementos de reducción de ruido. En un ejemplo, la parte de base puede tener una porción engrosada localizada entre el primer extremo y el extremo proximal. La porción engrosada se puede extender por todo el ancho desde el extremo proximal hasta el primer extremo. De forma alternativa, la porción engrosada puede comenzar en el extremo proximal y terminar a una distancia del primer extremo. En otra alternativa, la porción engrosada se puede colocar a una distancia tanto del primer extremo como del proximal. Esta configuración es adecuada para fijar el dispositivo de reducción de ruido, por ejemplo, la parte de base, a una pala de turbina eólica que tiene una superficie de borde de salida trunca.

25 **[0044]** La porción engrosada puede tener un grosor de base máximo que es igual a o mayor que el grosor combinado de los primer y segundo elementos de reducción de ruido. La porción engrosada puede tener un perfil de sección transversal sustancialmente rectangular, trapezoide, triangular o semicircular visto en la dirección transversal. Esto añade resistencia estructural al dispositivo de reducción de ruido. Esto también permite añadir las cerdas en una etapa de producción en masa, por ejemplo, perforando y bloqueando las cerdas en la porción engrosada usando un aparato de tipo grapado.

30 **[0045]** La porción engrosada puede tener una tercera superficie adecuada para la fijación de los segundos elementos de reducción de ruido. Esta tercera superficie se puede disponer en un ángulo inclinado en relación con la primera o segunda superficie lateral y/o la línea central de los primeros elementos de reducción de ruido. De forma alternativa, la tercera superficie se puede disponer perpendicularmente a la primera o segunda superficie lateral y/o a la línea central de los primeros elementos de reducción de ruido. Dependiendo del perfil de sección transversal, la tercera superficie puede orientarse directa o parcialmente hacia el segundo extremo o extremo distal.

40 **[0046]** La parte de base puede tener una superficie de instalación adecuada para hacer contacto con una superficie lateral coincidente o una superficie de borde de la pala de turbina eólica. Dicha superficie de instalación se puede disponer en la porción engrosada o en una porción estrechada de la parte de base localizada contigua a la porción engrosada. De forma alternativa, la superficie de instalación se puede extender a lo largo de la porción estrechada y una parte de la porción engrosada, permitiendo, de este modo, que la parte de base entre en contacto tanto con la superficie lateral como con la superficie de borde de la pala de turbina eólica.

45 **[0047]** El dispositivo de reducción de ruido está configurado para fijarse, es decir, instalarse, en la pala de turbina eólica por medio de un adhesivo, fijadores como tornillos o pernos u otras técnicas de fijación adecuadas. La parte de base puede comprender opcionalmente una pluralidad de orificios de montaje que se extienden entre las primera y segunda superficies laterales para recibir y sujetar los fijadores. Esto permite una fuerte fijación entre el dispositivo de reducción de ruido y la pala de turbina eólica.

50 **[0048]** Una o ambas superficies laterales del dispositivo de reducción de ruido, por ejemplo, la parte de base y/o los primeros elementos de reducción de ruido, pueden tener un perfil plano o curvado como se menciona anteriormente. Por ejemplo, dicha superficie lateral puede tener un perfil convexo en relación con la línea central del dispositivo de reducción de ruido. Esto permite adaptar el perfil del dispositivo de reducción de ruido al perfil de la pala de turbina eólica.

55 **[0049]** En un ejemplo particular, una superficie lateral tiene un perfil convexo como se menciona anteriormente mientras que la otra superficie lateral tiene un perfil plano. Preferentemente, dicha superficie es la superficie lateral orientada a la pala de turbina eólica cuando está instalada. Esto permite un flujo de aire más óptimo sobre la superficie lateral exterior y un mejor contacto con el perfil de la pala de turbina eólica.

60 **[0050]** Los bordes de dicha superficie pueden ser redondeados o curvados para posibilitar un flujo de aire más óptimo en el área de transición entre la pala de turbina eólica y el dispositivo de reducción de ruido. Esto reduce

65

las fuerzas de desgaste en el borde periférico de la parte de base y/o de los primeros elementos de reducción de ruido.

5 **[0051]** De acuerdo con un modo de realización, la parte de base tiene un grosor de base máximo medido entre dichas primera y segunda superficies laterales de la parte de base, en la que el grosor de base máximo corresponde sustancialmente al grosor de los primeros elementos de reducción de ruido.

10 **[0052]** En otro ejemplo, la parte de base puede tener sustancialmente el mismo grosor de sección transversal que los primeros elementos de reducción de ruido. La primera y/o segunda superficie lateral de la parte de base y los primeros elementos de reducción de ruido pueden estar alineados para formar un perfil de superficie sustancialmente continuo. Esto ahorra material y peso de la parte de base. Esta configuración es adecuada para fijar el dispositivo de reducción de ruido, por ejemplo, la parte de base, a una pala de turbina eólica que tiene un borde de salida afilado.

15 **[0053]** La tercera superficie y la superficie de instalación se pueden disponer en este ejemplo sustancialmente paralelas a la primera o segunda superficie lateral y/o a la línea central de los primeros elementos de reducción de ruido. Esto incrementa la flexibilidad de la parte de base y, por tanto, posibilita que se adapte mejor a los contornos de la pala de turbina eólica.

20 **[0054]** En ambos modos de realización alternativos de la parte de base, la parte de base actúa como una parte de base común o única tanto para los primeros como para los segundos elementos reductores de ruido. Esto elimina la necesidad de partes de base separadas como se requiere en el documento WO 2013/045601 A1. En segundo lugar, las cerdas están sostenidas por la parte de base a diferencia de la disposición de diente y escobilla del documento US 2011/0223030 A1. Esto permite una fijación más fuerte y más flexible de las cerdas.

25 **[0055]** De acuerdo con un modo de realización, dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido está conectado a un sustrato, en el que dicho sustrato está configurado para fijarse a la tercera superficie de la parte de base, o dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido está integrado en una capa adhesiva para su fijación a dichos primeros elementos de reducción de ruido y/o dicha superficie lateral o superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica.

30 **[0056]** En un ejemplo, los segundos elementos de reducción de ruido pueden estar integrados o incluidos en la parte de base. Los segundos elementos de reducción de ruido, por tanto, pueden sobresalir desde la tercera superficie. Esto permite que el dispositivo de reducción de ruido se fabrique como un único dispositivo usando moldeo por inyección, termoformado o un proceso de fabricación similar.

35 **[0057]** En otro ejemplo, los segundos elementos de reducción de ruido pueden estar integrados en o fijados a un sustrato de soporte. El sustrato puede tener una superficie de contacto configurada para hacer contacto con la tercera superficie. Dicha superficie de contacto puede seguir los contornos de la tercera superficie. El sustrato se puede fijar a la parte de base por medio de un adhesivo, fijadores como pernos o tornillos, un acoplamiento mecánico u otra técnica de fijación adecuada. Esto permite una fabricación separada de los segundos elementos de reducción de ruido, opcionalmente, usando un proceso de fabricación diferente. Los segundos elementos de reducción de ruido se pueden anclar, por tanto, en su posición usando dicho sustrato, por ejemplo, perforando y bloqueando las cerdas en la porción engrosada usando un aparato de tipo grapado u otro proceso de producción en masa.

40 **[0058]** El sustrato puede tener la forma de un elemento flexible, por ejemplo, una capa de tejido, una película delgada u otra estructura flexible adecuada, o puede estar hecho de un material flexible, por ejemplo, termoplásticos, polipropileno, polímero, poliéster, caucho, PUR u otro material flexible adecuado. De forma alternativa, el sustrato puede estar hecho de materiales o compuestos reforzados con fibra de vidrio o de carbono.

45 **[0059]** Aún en otro ejemplo, los segundos elementos de reducción de ruido pueden estar integrados en una capa adhesiva que tiene al menos una superficie de contacto. Esto permite que los segundos elementos de reducción de ruido se adhieran a la tercera superficie de la parte de base. La capa adhesiva se puede extender además a lo largo de la superficie de instalación de la parte de base y, por tanto, también usarse para fijar el dispositivo de reducción de ruido a la pala de turbina eólica.

50 **[0060]** Se pueden usar una o más capas de cubierta extraíbles para proteger las superficies de contacto de dicha capa adhesiva antes de su fijación a la parte de base y/o antes de su fijación a la pala de turbina eólica. Los segundos elementos de reducción de ruido, por ejemplo, las cerdas se pueden sencillamente disponer en una o ambas superficies de contacto de la capa adhesiva, preferentemente antes de aplicar dichas capas de cubierta. Las propiedades adhesivas de la capa adhesiva se pueden usar, por tanto, para anclar los segundos elementos de reducción de ruido en su posición.

55 **[0061]** Si se usan subconjuntos de segundos elementos de reducción de ruido, entonces se pueden usar sustratos individuales o capas adhesivas para cada subconjunto.

[0062] El adhesivo mencionado anteriormente puede ser un adhesivo fluido, tal como adhesivos de metacrilato de metilo (MMA), o una capa adhesiva. La capa adhesiva mencionada anteriormente puede ser una cinta o película adhesiva doble.

5

[0063] En cualquiera de los ejemplos mencionados anteriormente, el extremo libre de los segundos elementos de reducción de ruido está orientado directa o parcialmente hacia el segundo extremo o extremo distal en una condición no cargada. Por ejemplo, los segundos elementos de reducción de ruido pueden sobresalir sustancialmente paralelos a los primeros elementos de reducción de ruido.

10

[0064] De acuerdo con un modo de realización, el dispositivo de reducción de ruido comprende además una primera capa adhesiva configurada para fijarse a dicha superficie lateral o superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica y una segunda capa adhesiva configurada para fijarse al al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido.

15

[0065] El dispositivo de reducción de ruido puede comprender, en un ejemplo, una primera capa adhesiva y una segunda capa adhesiva. La primera capa adhesiva se puede usar para fijar los segundos elementos de reducción de ruido a la parte de base. La segunda capa adhesiva se puede usar para fijar el dispositivo de reducción de ruido a la pala de turbina eólica.

20

[0066] La primera y/o segunda capa adhesiva puede cubrir parcial o totalmente la tercera superficie y/o la superficie de instalación de la parte de base. Esto permite que los segundos elementos de reducción de ruido se fijen antes o después de que el dispositivo de reducción de ruido se fije a la pala de turbina eólica.

25

[0067] Las primera y segunda capas adhesivas pueden estar alineadas en dirección transversal. Por ejemplo, las primera y segunda capas adhesivas de cada subconjunto pueden estar alineadas de acuerdo con una línea central correspondiente de los dientes.

30

[0068] Preferentemente, las primera y segunda capas adhesivas se pueden colocar una encima de la otra. Los segundos elementos de reducción de ruido, por ejemplo, cerdas, se pueden disponer entre las primera y segunda capas adhesivas o pueden estar integradas en la primera o la segunda capa adhesiva.

35

[0069] En una configuración particular, la primera y/o segunda capa adhesiva pueden formar uno o más espacios rodeados en la tercera superficie y/o en la superficie de instalación. Esto permite aplicar un adhesivo fluido que rellena parcial o totalmente dichos espacios. La parte de base puede comprender una pluralidad de orificios pasantes que se extienden entre la primera o la segunda superficie lateral y hacia dichos espacios rodeados, permitiendo, de este modo, que el adhesivo fluido se aplique por medio de dichos orificios pasantes y/o que el exceso de adhesivo fluido se empuje fuera de dichos orificios pasantes. Esto permite una fijación mejorada entre el dispositivo de reducción de ruido y la pala de la turbina eólica.

40

[0070] De acuerdo con un modo de realización, el extremo libre forma una línea de extremo sustancialmente recta que se extiende en el plano a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido, o el extremo libre forma una línea de extremo que varía fuera del plano en relación con una segunda línea de extremo formada por dichos primeros elementos de reducción de ruido a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido, por ejemplo, dicha línea de extremo de los segundos elementos de reducción de ruido comprende al menos una porción de línea curvada localizada entre dos primeros elementos de reducción de ruido contiguos.

45

[0071] Los primeros y los segundos elementos de reducción de ruido forman cada uno líneas de extremo individuales que se extienden en dirección longitudinal. Cada línea de extremo define un perfil de extremo de los primeros y los segundos elementos de reducción de ruido respectivamente.

50

[0072] Los primeros elementos de reducción de ruido, por ejemplo, dientes, forman una línea de extremo recta localizada en el plano definido por dichos primeros elementos de reducción de ruido y, por tanto, paralela al borde de salida de la pala de turbina eólica cuando están instalados. Esta línea de extremo, de forma alternativa, puede variar en el plano en relación con el extremo proximal, o variar fuera del plano hacia el lado de succión y/o presión. Esto permite optimizar el efecto de modificación sobre el flujo de aire turbulento variando el perfil combinado de los primeros elementos de reducción de ruido individuales.

55

[0073] En un ejemplo, los segundos elementos de reducción de ruido, por ejemplo, cerdas, forman una línea de extremo recta localizada en el plano definida por dichos segundos elementos de reducción de ruido y, por tanto, paralela al borde de salida de la pala de turbina eólica cuando están instalados. Esta línea de extremo, de forma alternativa, puede variar en el plano en relación con el extremo proximal o la tercera superficie, o variar fuera del plano hacia el lado de succión y/o presión. Esto permite optimizar el efecto de amortiguación variando el perfil combinado de los segundos elementos de reducción de ruido.

60

65

[0074] En un ejemplo alternativo, la línea de extremo de los segundos elementos de reducción de ruido puede comprender una serie de porciones de línea de extremo dispuestas en relación con los primeros elementos de reducción de ruido individuales y los espacios entre ellos. Dichas porciones de línea de extremo pueden tener un perfil en forma de onda, cuadrado, triangular o de diente de sierra. De forma alternativa, solo las porciones de línea localizadas entre primeros elementos de reducción de ruido contiguos pueden sobresalir fuera del plano hacia la línea de extremo de los primeros elementos de reducción de ruido. Estas porciones de línea de extremo salientes pueden cruzar la línea de extremo de los primeros elementos de reducción de ruido de modo que sus picos o crestas estén localizados en el lado opuesto de esa línea de extremo. Esto posibilita que el flujo de aire local que pasa a través de estos espacios empuje las porciones salientes de los segundos elementos de reducción de ruido de vuelta al plano, creando, de este modo, un mayor efecto en los flujos de aire locales que pasan.

[0075] Un objetivo de la invención también se logra por una pala de turbina eólica, la pala de turbina eólica se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala hasta un extremo de punta y en dirección a lo largo de la cuerda desde un borde de ataque hasta un borde de salida, la pala de turbina eólica comprende un perfil aerodinámico que tiene una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, en la que al menos un primer dispositivo de reducción de ruido como se define anteriormente está instalado en la primera o la segunda superficie lateral en relación con el borde de salida o en el borde de salida.

[0076] Esto proporciona a una pala de turbina eólica un conjunto de dispositivos de reducción de ruido mencionados anteriormente que tienen una reducción de ruido y un rendimiento aerodinámico mejorados. Los dispositivos de reducción de ruido ya instalados en la turbina eólica se pueden modernizar adecuadamente con escobillas como se describe a continuación. También se pueden instalar dispositivos de reducción de ruido con segundos elementos de reducción de ruido integrados en la pala de turbina eólica como se describe anteriormente.

[0077] De acuerdo con un modo de realización, dicho borde de salida es un borde de salida sustancialmente afilado o un borde de salida romo ("blunt") que tiene una superficie de borde de salida, en el que el extremo proximal de dicho al menos un primer dispositivo de reducción de ruido está dispuesto en relación con dicho borde de salida afilado o dicha superficie de borde de salida.

[0078] El dispositivo de reducción de ruido descrito anteriormente se puede usar adecuadamente en palas de turbina eólica con cualquier tipo de bordes de salida, incluyendo bordes de salida afilados o romos. El perfil de la parte de base está adaptado para posibilitar su fijación a una superficie lateral de la pala de turbina eólica y/o a una superficie de borde del borde de salida truncado. Esto permite una fijación sencilla y fácil del dispositivo de reducción de ruido.

[0079] Como se menciona anteriormente, los perfiles de los primeros y/o los segundos elementos de reducción de ruido se pueden adaptar a una aplicación particular, un perfil aerodinámico particular de la pala de turbina eólica y/o una posición deseada a lo largo de la longitud longitudinal de la pala de turbina eólica. Esto permite un efecto óptimo en la pala de turbina eólica.

[0080] De acuerdo con un modo de realización, la pala de turbina eólica comprende además al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido instalado en la primera o la segunda superficie lateral en relación con el borde de salida o en el borde de salida, el al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido está posicionado en relación con el al menos un primer dispositivo de reducción de ruido, en la que la configuración de dicho al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido difiere de la configuración de dicho al menos un primer dispositivo de reducción de ruido.

[0081] La pala de turbina eólica se puede equipar con cualquier combinación de dispositivos de reducción de ruido que tengan diferentes configuraciones de primeros y/o segundos elementos de reducción de ruido. En un ejemplo, al menos un primer dispositivo de reducción de ruido puede comprender tanto primeros como segundos elementos de reducción de ruido, mientras que al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido puede comprender solo primeros o segundos elementos de reducción de ruido. En otro ejemplo, al menos un primer dispositivo de reducción de ruido puede comprender una primera configuración de primeros y segundos elementos de reducción de ruido, mientras que al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido puede comprender una segunda configuración de primeros y segundos elementos de reducción de ruido. Aún en otro ejemplo, el primer y el segundo elemento de reducción de ruido pueden comprender la misma configuración de primeros elementos de reducción de ruido, pero diferentes configuraciones de segundos elementos de reducción de ruido. Esto reduce además el ruido en el borde de salida e incrementa el rendimiento aerodinámico a lo largo del borde de salida.

[0082] Un objetivo de la invención se logra además por un procedimiento de modernización de un dispositivo de reducción de ruido en una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende:

- proporcionar una pala de turbina eólica que se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala hasta un extremo de punta y en dirección a lo largo de la cuerda desde un borde de ataque hasta un borde de salida, la pala de turbina eólica comprende un perfil aerodinámico que tiene una primera superficie lateral y una

segunda superficie lateral, en la que al menos un dispositivo de reducción de ruido está dispuesto en la primera o la segunda superficie lateral o en una superficie de borde de salida, el al menos un dispositivo de reducción de ruido tiene un primer extremo, un segundo extremo, una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, el dispositivo de reducción de ruido comprende además una parte de base y al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido que se extienden desde un extremo proximal hasta el segundo extremo, la parte de base se extiende desde el primer extremo hasta el extremo proximal, en el que el procedimiento comprende además las etapas de:

- posicionar al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido en la parte de base, disponer dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido paralelo al al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido,
- fijar dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido a la parte de base de modo que un extremo libre de los segundos elementos de reducción de ruido esté orientado sustancialmente hacia dicho segundo extremo en una condición no cargada.

[0083] Esto permite modificar los dispositivos de reducción de ruido existentes para tener una reducción de ruido y un rendimiento aerodinámico mejorados sin tener que reemplazar los dispositivos de reducción de ruido. Los segundos elementos de reducción de ruido se fijan adecuadamente después de la instalación de los primeros elementos de reducción de ruido, lo que a su vez reduce el tiempo y los costes de servicio. La tercera superficie de la parte de base se prepara opcionalmente, por ejemplo, se limpia, antes de la fijación de los segundos elementos de reducción de ruido.

[0084] Este procedimiento se puede usar adecuadamente para la modificación de algunos dispositivos de reducción de ruido mientras que otros dispositivos de reducción de ruido permanecen sin modificar. Este procedimiento también es adecuado para la fijación de una primera configuración de segundos elementos de reducción de ruido a un dispositivo de reducción de ruido y la fijación de una segunda configuración de segundos elementos de reducción de ruido a otro dispositivo de reducción de ruido. Las diferentes configuraciones de segundos elementos de reducción de ruido se fijan sencillamente a la parte de base del dispositivo de reducción de ruido de modo que sus respectivos extremos libres sobresalen a lo largo de una superficie lateral de los primeros elementos de reducción de ruido y se orientan directa o parcialmente hacia el extremo distal como se describe anteriormente.

[0085] Esto permite combinar diferentes dispositivos de reducción de ruido con diferentes configuraciones en la pala de turbina eólica, mejorando además, de este modo, el rendimiento aerodinámico y reduciendo el ruido en el borde de salida.

[0086] Un objetivo de la invención se logra adicionalmente por un procedimiento de fabricación de un dispositivo de reducción de ruido para una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende:

- fabricar un dispositivo de reducción de ruido que tiene un primer extremo, un segundo extremo, una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, en el que el dispositivo de reducción de ruido comprende una parte de base configurada para su fijación a una superficie lateral o una superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica, y al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido que se extienden desde un extremo proximal hasta el segundo extremo, en el que la parte de base se extiende desde el primer extremo hasta dicho extremo proximal, en el que el procedimiento comprende además las etapas de:
 - fabricar al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido, los segundos elementos de reducción de ruido tienen un extremo libre,
 - posicionar dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido en la parte de base, disponer dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido paralelo al al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido,
 - fijar el al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido a la parte de base de modo que el extremo libre se oriente sustancialmente hacia dicho segundo extremo en una condición no cargada.

[0087] Esto proporciona un proceso de fabricación de dos etapas para proporcionar un dispositivo de reducción de ruido como se describe anteriormente. En una etapa, se forman los primeros elementos de reducción de ruido y la parte de base usando cualquier proceso de fabricación adecuado, por ejemplo, moldeo por inyección o termoformado. En una etapa paralela o posterior, se fabrican los segundos elementos de reducción de ruido usando un proceso de fabricación separado, por ejemplo, fijados a un sustrato o integrados en una capa adhesiva. Esto permite el uso de diferentes procesos de fabricación.

[0088] Después de completar las etapas de fabricación separadas, los segundos elementos de reducción de ruido se embalan opcionalmente y se transportan al sitio de los primeros elementos de reducción de ruido. Dicho sitio puede ser otro sitio de producción, un sitio de montaje o el sitio de instalación de la turbina eólica.

5 [0089] A continuación, se sitúan los segundos elementos de reducción de ruido en la tercera superficie de la parte de base de modo que el extremo libre sobresalga a lo largo de la superficie lateral de los primeros elementos de reducción de ruido y esté orientado directa o parcialmente hacia el extremo distal como se describe anteriormente. Se puede usar una herramienta de guía o instalación para posicionar correctamente los segundos elementos de reducción de ruido en la tercera superficie. Los segundos elementos de reducción de ruido se pueden
10 disponer en la herramienta de guía o instalación antes de su colocación en la tercera superficie.

[0090] Los segundos elementos de reducción de ruido se fijan finalmente a la parte de base como se describe anteriormente. Opcionalmente, se prepara la tercera superficie, por ejemplo, se limpia, antes de la fijación de los segundos elementos de reducción de ruido. No se necesitan partes de base separadas ni una alineación muy
15 precisa de las cerdas en el borde periférico de los dientes.

[0091] Después de completar la fijación, se puede retirar la herramienta de guía o instalación. A continuación, se puede volver a usar la herramienta de guía o instalación para fijar otro conjunto de segundos elementos de reducción de ruido en otro dispositivo de reducción de ruido.
20

Descripción de los dibujos

[0092] La invención se expone en detalle a continuación con referencia a los modos de realización mostrados en los dibujos, en los que
25

- la fig. 1 muestra una turbina eólica,
- la fig. 2 muestra un modo de realización de ejemplo de la pala de turbina eólica,
- 30 la fig. 3 muestra una vista en perspectiva de un primer modo de realización de ejemplo de un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con la invención,
- la fig. 4 muestra otra vista en perspectiva del dispositivo de reducción de ruido de la fig. 3,
- 35 la fig. 5 muestra el dispositivo de reducción de ruido de la fig. 3 visto desde el segundo extremo,
- la fig. 6 muestra una segunda configuración de ejemplo del segundo dispositivo de reducción de ruido instalado en la pala de turbina eólica,
- 40 la fig. 7 muestra una segunda configuración de ejemplo de los segundos elementos de reducción de ruido,
- la fig. 8 muestra un modo de realización de ejemplo de una herramienta de guía,
- 45 la fig. 9 muestra una sección transversal del dispositivo de reducción de ruido instalado en la pala de turbina eólica y de la herramienta de guía,
- las figs. 10a-f muestran una vista en sección transversal de seis modos de realización de los segundos elementos de reducción de ruido,
- 50 las figs. 11a-b muestran dos modos de realización del conjunto de los segundos elementos de reducción de ruido,
- las figs. 12a-c muestran una vista en sección transversal de tres modos de realización adicionales de los segundos elementos de reducción de ruido,
- 55 la fig. 13 muestra los segundos elementos de reducción de ruido con un perfil de extremo recto
- la fig. 14 muestra los segundos elementos de reducción de ruido con un perfil de extremo variable, y
- 60 la fig. 15 muestra una tercera configuración de ejemplo de los segundos elementos de reducción de ruido fijados a la parte de base.

65

Lista de referencias

[0093]

5	1. Turbina eólica
	2. Torre de turbina eólica
	3. Góndola
10	4. Buje
	5. Palas de turbina eólica
15	6. Rodamiento de <i>pitch</i>
	7. Raíz de pala
	8. Extremo de punta
20	9. Borde de ataque
	10. Borde de salida
25	11. Concha de pala
	12. Lado de presión
	13. Lado de succión
30	14. Porción de raíz de pala
	15. Porción de pala aerodinámica
35	16. Porción de transición
	17. Longitud de pala de turbina eólica
	18. Longitud de cuerda de pala de turbina eólica
40	19. Dispositivo de reducción de ruido
	20. Primera superficie lateral
45	21. Primer extremo
	22. Segundo extremo
	23. Parte de base
50	24. Extremo proximal
	25. Primeros elementos de reducción de ruido
55	26. Segundos elementos de reducción de ruido
	27. Segunda superficie lateral
	28. Porción engrosada
60	29. Superficie de instalación
	30. Tercera superficie
65	31. Superficie de borde de salida

32. Sustrato

33. Herramienta de guía

5 34. Conjunto continuo de segundos elementos de reducción de ruido

35. Subconjunto de segundos elementos de reducción de ruido

10 36. Línea de extremo

37. Primera capa adhesiva

38. Segunda capa adhesiva

15 **[0094]** Los números de referencia enumerados se muestran en los dibujos mencionados anteriormente, donde no todos los números de referencia se muestran en la misma figura con propósitos ilustrativos. La misma parte o posición vista en los dibujos se numerará con el mismo número de referencia en figuras diferentes.

Descripción detallada de los dibujos

20 **[0095]** La fig. 1 muestra una turbina eólica 1 moderna que comprende una torre de turbina eólica 2, una góndola 3 dispuesta en la parte superior de la torre de turbina eólica 2 y un rotor que define un plano de rotor. La góndola 3 está conectada a la torre de turbina eólica 2, por ejemplo, por medio de una unidad de rodamiento de orientación ("yaw bearing"). El rotor comprende un buje 4 y una serie de palas de turbina eólica 5. Aquí se muestran tres palas de turbina eólica, pero el rotor puede comprender más o menos palas de turbina eólica 5. El buje 4 está conectado a un tren de potencia ("drive train"), por ejemplo, un generador, localizado en la turbina eólica 1 por medio de un eje de rotación.

30 **[0096]** El buje 4 comprende un punto de contacto de montaje para cada pala de turbina eólica 5. Una unidad de rodamiento de *pitch* ("pitch bearing") 6 está opcionalmente conectada a este punto de contacto de montaje y además a una raíz de pala de la pala de turbina eólica 5.

35 **[0097]** La fig. 2 muestra una vista esquemática de la pala de turbina eólica 5 que se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala 7 hasta un extremo de punta 8. La pala de turbina eólica 5 se extiende además en dirección a lo largo de la cuerda desde un borde de ataque 9 hasta un borde de salida 10. La pala de turbina eólica 5 comprende una concha de pala 11 que tiene dos superficies laterales con orientación opuesta que definen un lado de presión 12 y un lado de succión 13 respectivamente. La concha de pala 11 define además una porción de raíz de pala 14, una porción de pala aerodinámica 15 y una porción de transición 16 entre la porción de raíz de pala 14 y la porción de pala aerodinámica 15.

40 **[0098]** La porción de raíz de pala 14 tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica (indicada por líneas discontinuas). La porción de raíz de pala 14 conjuntamente con una estructura de soporte de carga, por ejemplo, un laminado principal combinado con un alma ("shear web") o una viga de cajón, están configuradas para añadir resistencia estructural a la pala de turbina eólica 5 y transferir las cargas dinámicas al buje 4. La estructura de soporte de carga se extiende entre el lado de presión 12 y el lado de succión 13 y además en dirección longitudinal.

50 **[0099]** La porción de pala aerodinámica 15 de pala tiene una sección transversal de forma aerodinámica (indicada por líneas discontinuas) diseñada para generar sustentación. El perfil en sección transversal de la concha de pala 11 se transforma gradualmente desde el perfil circular o elíptico al perfil aerodinámico en el área de transición 16.

55 **[0100]** La pala de turbina eólica 5 tiene una longitud longitudinal 17 de al menos 35 metros, preferentemente de al menos 50 metros. La pala de turbina eólica 5 tiene además una longitud de cuerda 18 en función de la longitud 17, en la que la longitud de cuerda máxima se encuentra entre la porción de pala aerodinámica 15 de pala y el área de transición 16.

60 **[0101]** La fig. 3 muestra un primer modo de realización de ejemplo de un dispositivo de reducción de ruido 19 configurado para instalarse en la pala de turbina eólica 5. El dispositivo de reducción de ruido 19 tiene una primera superficie lateral 20, una segunda superficie lateral (véase la fig. 4), un primer extremo 21 y un segundo extremo 22.

65 **[0102]** El dispositivo de reducción de ruido 19 comprende una parte de base 23 que se extiende desde el primer extremo 21 hasta un extremo proximal 24 y una serie de primeros elementos de reducción de ruido 25 que se extienden desde el extremo proximal 24 hacia el segundo extremo 22. El dispositivo de reducción de ruido 19

comprende además una serie de segundos elementos de reducción de ruido 26 que se extienden desde una tercera superficie (véase la fig. 5) localizada en la parte de base 23 hacia el segundo extremo 22.

5 **[0103]** La fig. 4 muestra la segunda superficie lateral 27 del dispositivo de reducción de ruido 19. La parte de base 23 comprende un saliente de porción engrosada 28 desde la segunda superficie lateral 27. La porción engrosada 28 está dispuesta hacia el extremo proximal 24, en la que la tercera superficie (véase la fig. 5) está orientada hacia el segundo extremo 22. La parte de base 23 tiene además una superficie de instalación 29 localizada en una porción estrechada de la parte de base 23.

10 **[0104]** Aquí la porción engrosada 28 está formada como una parte integrada de la parte de base 23 y, por tanto, los segundos elementos de reducción de ruido 26 están integrados en la parte de base 23.

15 **[0105]** La fig. 5 muestra el dispositivo de reducción de ruido 19 visto desde el segundo extremo 22, donde los segundos elementos de reducción de ruido 26 están influenciados por flujos de aire locales que pasan a través de espacios formados entre primeros elementos de reducción de ruido 25 contiguos.

20 **[0106]** Como se ve en las figs. 4 y 5, los segundos elementos de reducción de ruido 26 se extienden en dirección transversal desde la tercera superficie 30 hasta el segundo extremo 22 a lo largo de la segunda superficie lateral 27 de los primeros elementos de reducción de ruido 25. El segundo elemento de reducción de ruido 26 sobresale además hacia los espacios mencionados anteriormente y, de este modo, cubre al menos parcialmente dichos espacios.

25 **[0107]** La fig. 6 muestra una segunda configuración de ejemplo del dispositivo de reducción de ruido 19' instalado en la pala de turbina eólica 5. Aquí se muestra la pala de turbina eólica 5 con un borde de salida truncado que tiene una superficie de borde de salida 31. La superficie de instalación 29 del dispositivo de reducción de ruido 19' está dispuesta en el lado de presión 12 de la pala de turbina eólica 5. Aquí el extremo proximal 24 está extendido en relación con la superficie de borde de salida 31.

30 **[0108]** Como se ilustra en las figs. 6 y 7, los primeros elementos de reducción de ruido 25 están localizados hacia el lado de presión 12 mientras que los segundos elementos de reducción de ruido 26 están localizados hacia el lado de succión 13.

35 **[0109]** En esta configuración, los segundos elementos de reducción de ruido 26 están integrados, por ejemplo, incluidos, en un sustrato 32 que se extiende en dirección longitudinal. Como se indica por la flecha, el sustrato 32 se sitúa en la parte de base 23 de modo que una superficie de contacto del sustrato 32 entre en contacto con la tercera superficie 30. A continuación, el sustrato 32 se fija a la parte de base 23, por ejemplo, aplicando un adhesivo a la superficie de contacto y/o a la tercera superficie 30.

40 **[0110]** La fig. 7 muestra el dispositivo de reducción de ruido 19' con una segunda configuración de ejemplo de los segundos elementos de reducción de ruido 26. Aquí los segundos elementos de reducción de ruido 26 están separados del sustrato 32.

45 **[0111]** En esta configuración, los segundos elementos de reducción de ruido 26 se sitúan en primer lugar en la tercera superficie 30, después de lo que el sustrato 32 se sitúa encima de los segundos elementos de reducción de ruido 26 como se indica por las flechas. El sustrato 32 finalmente se fija a la parte de base 23, por ejemplo, aplicando un adhesivo a la superficie de contacto, la tercera superficie 30 y/o encima de los segundos elementos de reducción de ruido 26.

50 **[0112]** Los segundos elementos de reducción de ruido 26 se pueden fijar después de la instalación de la parte de base 23 y los primeros elementos de reducción de ruido 25, como se ilustra en las figs. 6 y 7. Esto permite modernizar el dispositivo de reducción de ruido existente con elementos de reducción de ruido adicionales, por ejemplo, escobillas. Los segundos elementos de reducción de ruido 26 también pueden estar en la parte de base 23 antes de la instalación del dispositivo de reducción de ruido 19'.

55 **[0113]** La fig. 8 muestra un modo de realización de ejemplo de una herramienta de guía 33 configurada para sujetar los segundos elementos de reducción de ruido 26 en su posición correcta durante la fijación. La herramienta de guía 33 comprende cualquier medio adecuado, por ejemplo, orificios, abrazaderas o adhesivo, en o sobre los que se pueden disponer los segundos elementos de reducción de ruido 26. Los segundos elementos de reducción de ruido 26 se disponen preferentemente en la herramienta de guía 33 antes de posicionar los segundos elementos de reducción de ruido 26 en la tercera superficie 30.

65 **[0114]** La fig. 9 muestra una sección transversal del dispositivo de reducción de ruido 19' instalado en la pala de turbina eólica 5 con la herramienta de guía 33. Antes de posicionar el sustrato 32 en la parte de base 23, los segundos elementos de reducción de ruido 26 se sitúan en la tercera superficie usando la herramienta de guía 33. A continuación, el sustrato 32 se sitúa y se fija en la parte de base 23. Finalmente, la herramienta de guía 33 se desconecta de los segundos elementos de reducción de ruido 26 y se retira.

[0115] Opcionalmente, el sustrato 32 se puede fijar además a la superficie de borde de salida 31 para incrementar el área de fijación global.

5 **[0116]** Las figs. 10a-f muestran seis modos de realización del perfil del segundo elemento de reducción de ruido 26. El segundo elemento de reducción de ruido 26 puede tener un perfil de sección transversal circular, un cuadrado, uno poligonal, uno rectangular o uno elíptico como se ilustra en las figs. 10a a 10e.

10 **[0117]** El segundo elemento de reducción de ruido 26 también puede tener un perfil que se estrecha ("tapared") que se extiende desde el extremo fijado, es decir, la tercera superficie 30 o el sustrato 32, hasta el extremo libre como se ilustra en la fig. 10f.

15 **[0118]** Las figs. 11a-b muestran dos modos de realización del conjunto de segundos elementos de reducción de ruido 26 vistos en la dirección longitudinal. El conjunto de segundos elementos de reducción de ruido 26 puede formar un conjunto continuo 34 como se ilustra en la fig. 11b. El conjunto de segundos elementos de reducción de ruido 26 también se puede definir por una pluralidad de subconjuntos 35 como se ilustra en la fig. 11a, en la que cada subconjunto 35 comprende un grupo de segundos elementos de reducción de ruido 26.

20 **[0119]** Las figs. 12a-c muestran una vista en sección transversal de tres modos de realización adicionales de los segundos elementos de reducción de ruido 26. El extremo libre y el extremo fijado de los segundos elementos de reducción de ruido 26 pueden estar dispuestos sustancialmente en el mismo plano como se indica en la fig. 12a. El extremo libre de los segundos elementos de reducción de ruido 26 también se puede extender fuera del plano hacia el lado de succión como se indica en la fig. 12a. El extremo libre de los segundos elementos de reducción de ruido 26 también se puede extender fuera del plano hacia el lado de presión como se indica en la fig. 12b.

25 **[0120]** El conjunto de segundos elementos de reducción de ruido 26 forma un perfil de extremo libre (véanse las figs. 13 y 14) que se extiende en la dirección longitudinal.

30 **[0121]** La fig. 13 muestra los segundos elementos de reducción de ruido 26 con un perfil de extremo libre dispuesto en el plano. El perfil de extremo libre define una línea de extremo recta 36 de modo que la longitud de los segundos elementos de reducción de ruido 26 sea constante a lo largo de la longitud longitudinal.

35 **[0122]** La fig. 14 muestra los segundos elementos de reducción de ruido 26, en los que el perfil de extremo libre varía en el plano a lo largo de la longitud longitudinal. La línea de extremo 36' de este perfil de extremo libre varía en relación con el extremo proximal 24, de modo que los segundos elementos de reducción de ruido 26 tienen una longitud variable a lo largo de la longitud longitudinal. Aquí la línea de extremo 36' tiene un perfil de extremo de forma sustancialmente de onda como se ilustra en la fig. 14.

40 **[0123]** La fig. 15 muestra una tercera configuración de ejemplo del segundo dispositivo de reducción de ruido 19" instalado en la pala de turbina eólica 5. La pala de turbina eólica 5 se muestra aquí con un borde de salida afilado donde el dispositivo de reducción de ruido está instalado en una superficie lateral, por ejemplo, el lado de presión 12.

45 **[0124]** El dispositivo de reducción de ruido 19" comprende una primera capa adhesiva 37 y una segunda capa adhesiva 38. La primera capa adhesiva 37 está configurada para fijar los segundos elementos de reducción de ruido 26 a la parte de base 23. La segunda capa adhesiva 38 está configurada para fijar los segundos elementos de reducción de ruido 26 a la pala de turbina eólica 5.

50 **[0125]** Los segundos elementos de reducción de ruido 26 se pueden disponer entre las primera y segunda capas adhesivas 37, 38 usando la herramienta de guía 33. Los segundos elementos de reducción de ruido 26 también pueden estar integrados en la primera o la segunda capa adhesiva 37, 38.

55 **[0126]** Los modos de realización mencionadas anteriormente se pueden combinar en cualquier combinación sin desviarse de la presente invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo de reducción de ruido (19) para una pala de turbina eólica (5), que tiene un primer extremo (21), un segundo extremo (22), una primera superficie lateral (20) y una segunda superficie lateral (27), en el que el dispositivo de reducción de ruido (19) comprende una parte de base (23) configurada para su fijación a una superficie lateral o una superficie de borde de salida (31) de la pala de turbina eólica (5), extendiéndose al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido (25) desde un extremo proximal (24) hasta el segundo extremo (22), y al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) separado del al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido, los segundos elementos de reducción de ruido (26) tienen un extremo libre, en el que la parte de base (23) se extiende desde el primer extremo (21) hasta dicho extremo proximal (24), en el que el al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) está fijado a o integrado en la parte de base (23), en el que el al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) se extiende paralelo al al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido (25) a lo largo del extremo proximal (24), los segundos elementos de reducción de ruido (26) sobresalen desde una tercera superficie (30) de la parte de base (23) hacia dicho segundo extremo (22) en una condición no cargada y se extienden al menos parcialmente hacia un espacio formado entre primeros elementos de reducción de ruido contiguos,

10 en el que los primeros elementos de reducción de ruido (25) son dientes,

15 en el que los segundos elementos de reducción de ruido (26) son cerdas

20 en el que cada una de las cerdas sobresale desde una línea de fijación que se extiende paralela al extremo proximal (24), en el que la línea de fijación está posicionada entre el extremo proximal (24) y el primer extremo (21), estando la línea de fijación más cerca del extremo proximal (24) que del primer extremo (21).
- 25 2. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada uno de dichos dientes tiene una longitud medida desde el extremo proximal (24) hasta el segundo extremo (22), un ancho medido a lo largo del extremo proximal (24) y un grosor de diente medido entre dichas primera y segunda superficies laterales.
- 30 3. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que cada una de dichas cerdas tiene una longitud medida desde la tercera superficie (30) hasta dicho extremo libre.
- 35 4. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, **caracterizado por que** las cerdas tienen una longitud constante o una longitud variable a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido (19), por ejemplo, la longitud varía en función de la longitud de los dientes, y/o los dientes tienen una longitud constante o una longitud variable a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido (19).
- 40 5. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la parte de base (23) comprende una porción engrosada (28) dispuesta entre el primer extremo (21) y el extremo proximal (24), en el que la porción engrosada (28) tiene un grosor de base medido entre dichas primera y segunda superficies laterales, en el que el grosor de base es igual a o mayor que el grosor combinado de los primeros y segundos elementos de reducción de ruido (25, 26).
- 45 6. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la parte de base (23) tiene un grosor de base medido entre dichas primera y segunda superficies laterales de la parte de base (23), en el que el grosor de base corresponde sustancialmente al grosor de los primeros elementos de reducción de ruido (25).
- 50 7. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) está conectado a un sustrato (32), en el que dicho sustrato (32) está configurado para fijarse a la tercera superficie (30) de la parte de base (23), o dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) está integrado en una capa adhesiva (37, 38) para su fijación a dichos primeros elementos de reducción de ruido (25) y/o dicha superficie lateral o superficie de borde de salida (31) de la pala de turbina eólica (5).
- 55 8. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** el dispositivo de reducción de ruido (19) comprende además una primera capa adhesiva (37) configurada para fijarse a dicha superficie lateral o superficie de borde de salida (31) de la pala de turbina eólica (5) y una segunda capa adhesiva (38) configurada para fijarse al al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26).

60

65

9. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** el extremo libre forma una línea de extremo sustancialmente recta (36) que se extiende en el plano a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido (19), o el extremo libre forma una línea de extremo (36') que varía fuera del plano en relación con una segunda línea de extremo formada por dichos primeros elementos de reducción de ruido (25) a lo largo de la longitud longitudinal del dispositivo de reducción de ruido (19), por ejemplo, dicha línea de extremo de los segundos elementos de reducción de ruido (26) comprende al menos una porción de línea curvada localizada entre dos primeros elementos de reducción de ruido (25) contiguos.
10. Una pala de turbina eólica, la pala de turbina eólica (5) se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala (7) hasta un extremo de punta (8) y en dirección a lo largo de la cuerda desde un borde de ataque (9) hasta un borde de salida (10), la pala de turbina eólica (5) comprende un perfil aerodinámico que tiene una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, **caracterizada por que** al menos un primer dispositivo de reducción de ruido (19) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 está instalado en la primera o la segunda superficie lateral en relación con el borde de salida (10) o en el borde de salida (10).
11. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizada por que** dicho borde de salida (10) es un borde de salida sustancialmente afilado o un borde de salida romo que tiene una superficie de borde de salida (31), en la que el extremo proximal (24) de dicho al menos un primer dispositivo de reducción de ruido (19) está dispuesto en relación con dicho borde de salida afilado o dicha superficie de borde de salida (31).
12. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, **caracterizada por que** la pala de turbina eólica (5) comprende además al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido (19) instalado en la primera o la segunda superficie lateral en relación con el borde de salida (10) o en el borde de salida (10), el al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido (19) está posicionado en relación con el al menos un primer dispositivo de reducción de ruido (19), en la que la configuración de dicho al menos un segundo dispositivo de reducción de ruido (19) difiere de la configuración de dicho al menos un primer dispositivo de reducción de ruido (19).
13. Un procedimiento para modernizar un dispositivo de reducción de ruido en una pala de turbina eólica, que comprende:
- proporcionar una pala de turbina eólica (5) que se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala (7) hasta un extremo de punta (8) y en dirección a lo largo de la cuerda desde un borde de ataque (9) hasta un borde de salida (10), la pala de turbina eólica (5) comprende un perfil aerodinámico que tiene una primera superficie lateral y una segunda superficie lateral, en la que al menos un dispositivo de reducción de ruido (19) está dispuesto en la primera o la segunda superficie lateral o en una superficie de borde de salida (31), el al menos un dispositivo de reducción de ruido (19) tiene un primer extremo (21), un segundo extremo (22), una primera superficie lateral (20) y una segunda superficie lateral (27), el dispositivo de reducción de ruido (19) comprende además un parte de base (23) y al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido (25) que se extienden desde un extremo proximal (24) hasta el segundo extremo (22), en la que los primeros elementos de reducción de ruido (25) son dientes, la parte de base (23) se extiende desde el primer extremo (21) hasta el extremo proximal (24), **caracterizado por que** el procedimiento comprende además las etapas de:
 - posicionar al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) en la parte de base (23), en el que los segundos elementos de reducción de ruido (26) son cerdas, disponer dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) paralelo al al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido (25), y de modo que cada una de las cerdas sobresalga desde una línea de fijación que se extiende paralela al extremo proximal (24), en el que la línea de fijación está posicionada entre el extremo proximal (24) y el primer extremo (21), estando la línea de fijación más cerca del extremo proximal (24) que del primer extremo (21),
 - fijar dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) a la parte de base (23) de modo que un extremo libre de los segundos elementos de reducción de ruido (26) esté orientado sustancialmente hacia dicho segundo extremo (22) en una condición no cargada.
14. Un procedimiento para fabricar un dispositivo de reducción de ruido para una pala de turbina eólica, que comprende:
- fabricar un dispositivo de reducción de ruido (19) que tiene un primer extremo (21), un segundo extremo (22), una primera superficie lateral (20) y una segunda superficie lateral (27), en el que el dispositivo de reducción de ruido (19) comprende un parte de base (23) configurada para su fijación a una superficie lateral o una superficie de borde de salida (31) de la pala de turbina eólica (5), y al menos un conjunto

de primeros elementos de reducción de ruido (25) que se extienden desde un extremo proximal (24) hasta el segundo extremo (22), en el que los primeros elementos de reducción de ruido (25) son dientes, en el que la parte de base (23) se extiende desde el primer extremo (21) hasta dicho extremo proximal (24), **caracterizado por que** el procedimiento comprende además las etapas de:

5

- fabricar al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26), los segundos elementos de reducción de ruido (26) tienen un extremo libre, en el que los segundos elementos de reducción de ruido (26) son cerdas,

10

- posicionar dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) en la parte de base (23), disponer dicho al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) paralelo al al menos un conjunto de primeros elementos de reducción de ruido (25), y de modo que cada una de las cerdas sobresalga desde una línea de fijación que se extiende paralela al extremo proximal (24), en el que la línea de fijación está posicionada entre el extremo proximal (24) y el primer extremo (21), estando la línea de fijación más cerca del extremo proximal (24) que del primer extremo (21),

15

- fijar el al menos un conjunto de segundos elementos de reducción de ruido (26) a la parte de base (23) de modo que el extremo libre se oriente sustancialmente hacia dicho segundo extremo (22) en una condición no cargada.

20

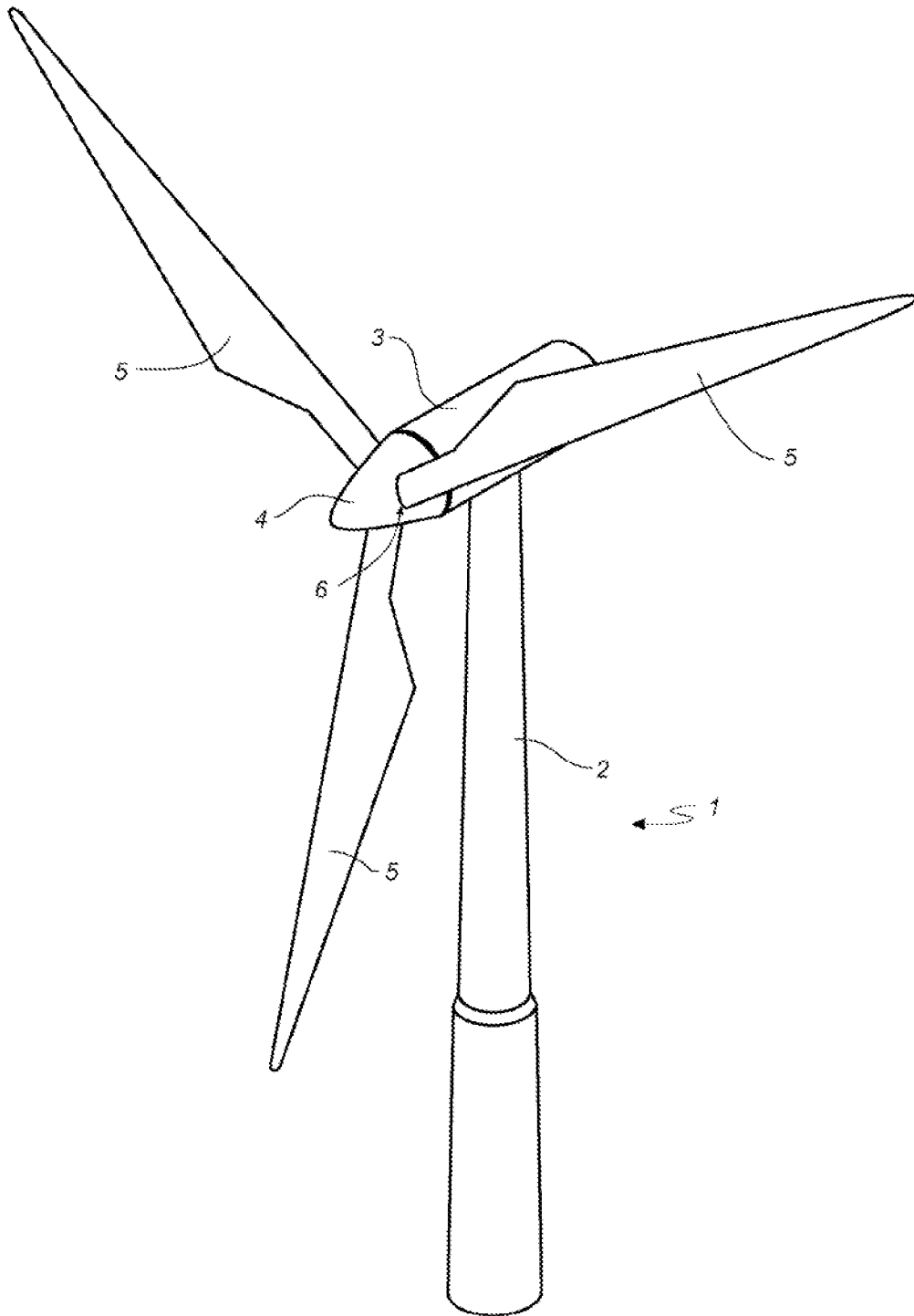


Fig. 1

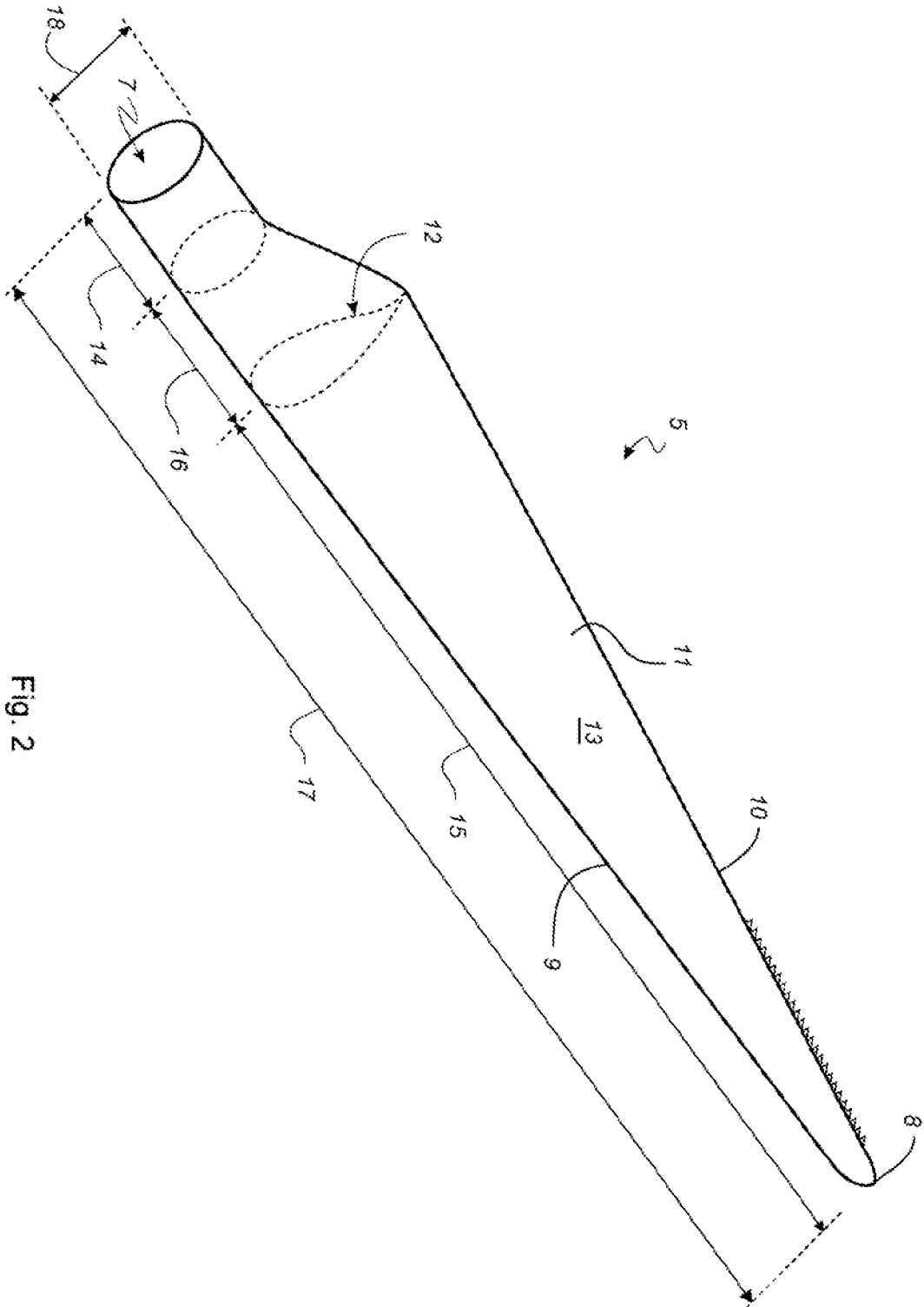


Fig. 2

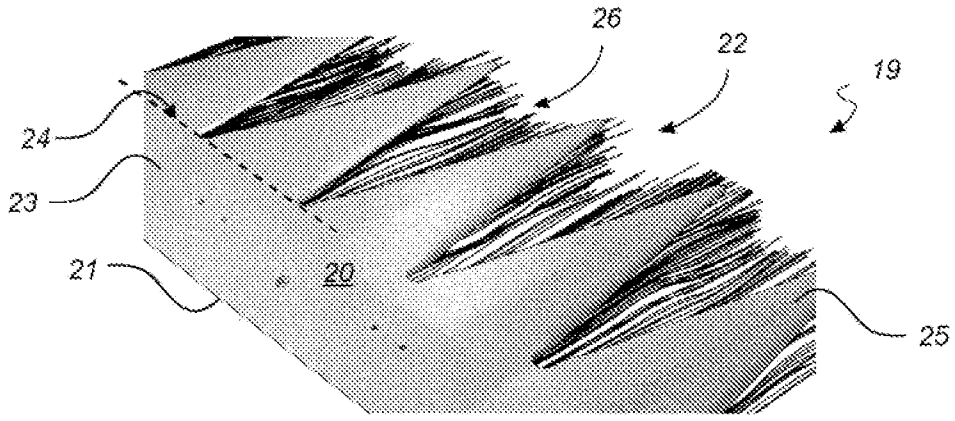


Fig. 3

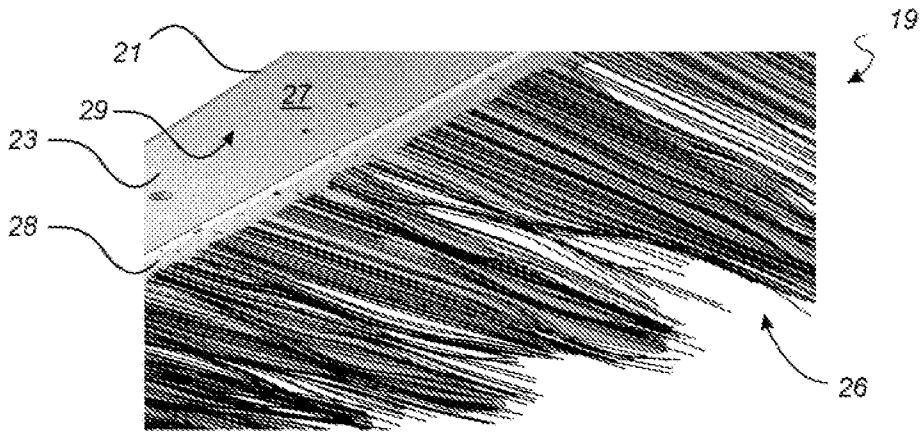


Fig. 4

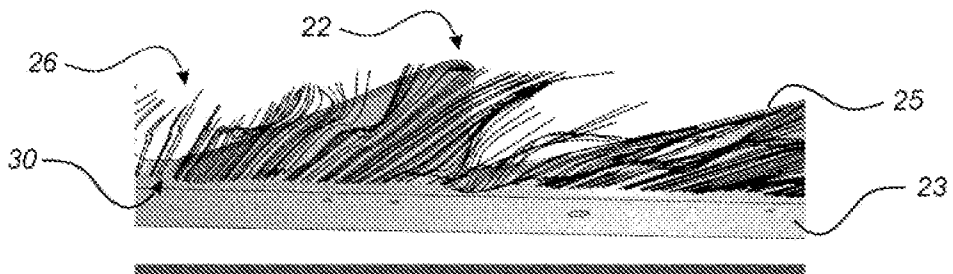
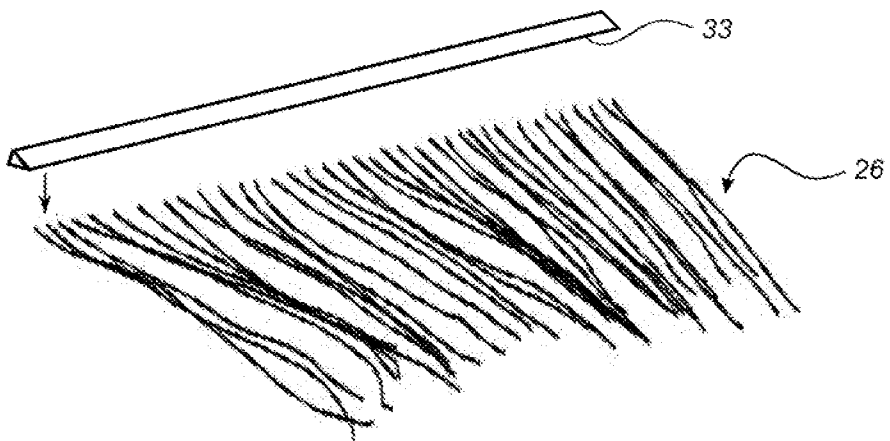
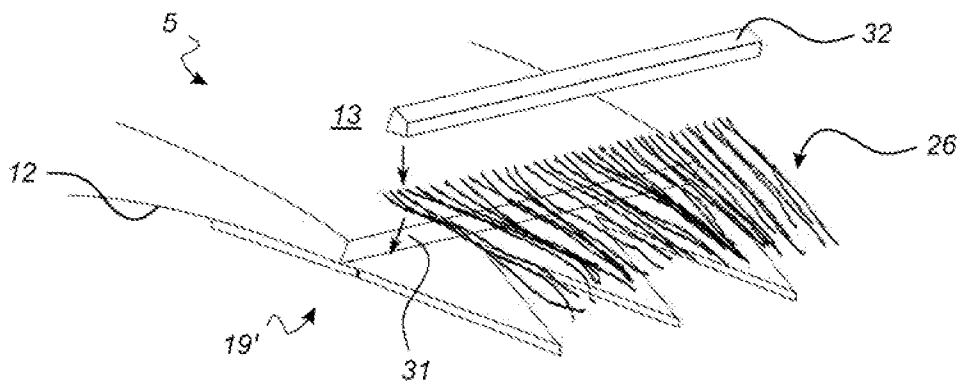
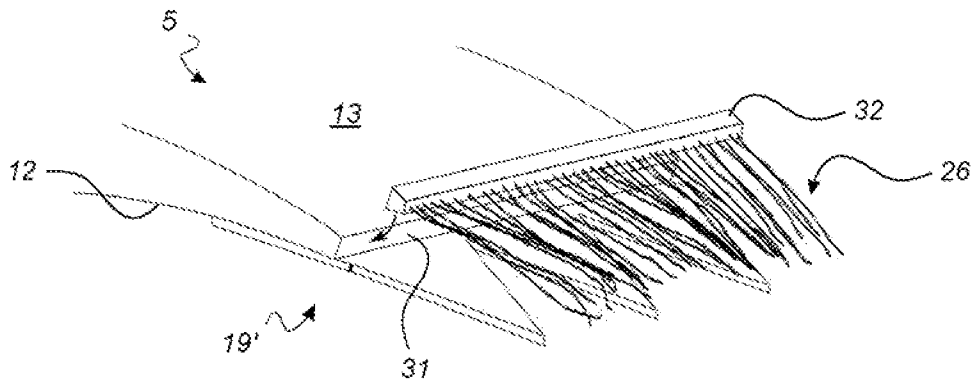


Fig. 5



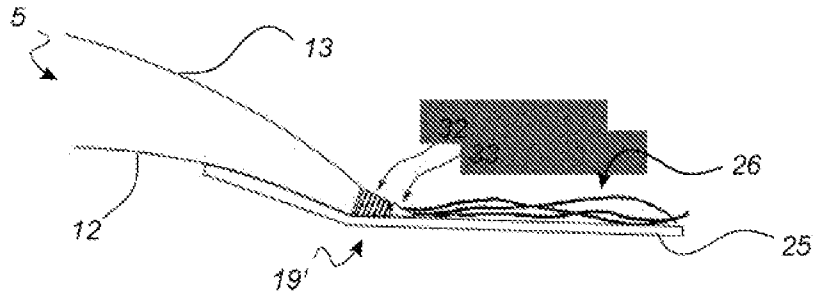


Fig. 9

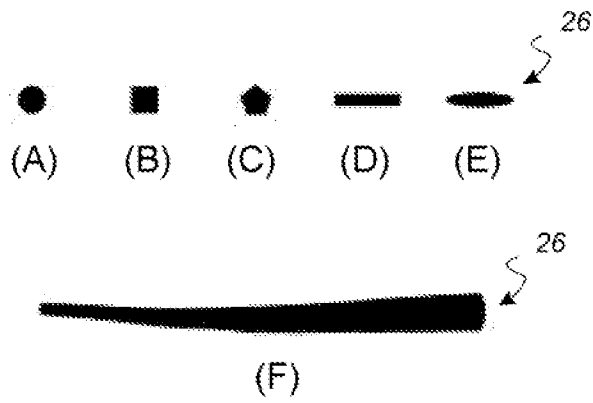


Fig. 10

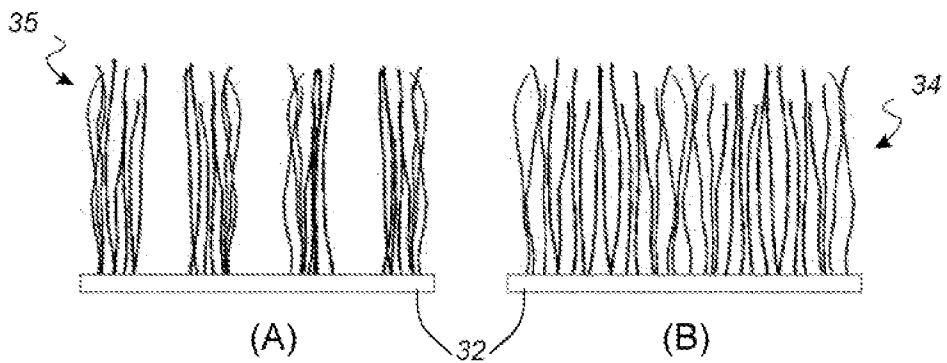


Fig. 11

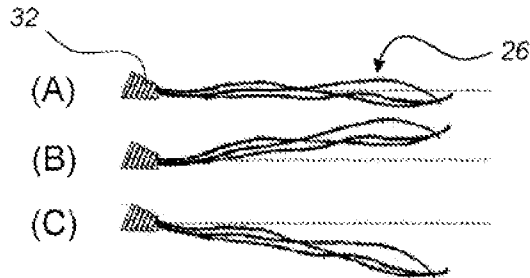


Fig. 12

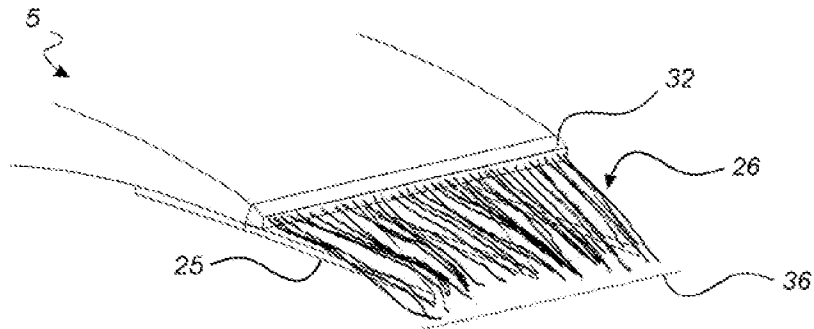


Fig. 13

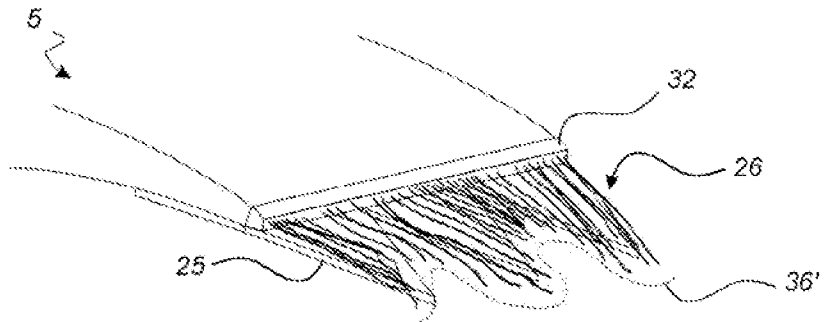


Fig. 14

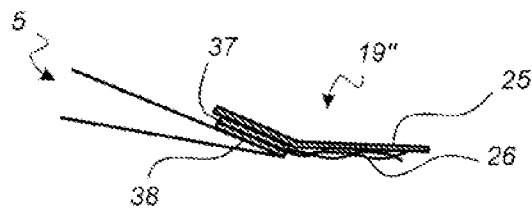


Fig. 15