

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 066**

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 17151173 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2023 EP 3348826**

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:
17.10.2023

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ARCE, CARLOS y
MADSEN, JESPER**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 951 066 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**

5 [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
10 extremo hasta un extremo proximal, al menos un conjunto 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.

Antecedentes

20 [0003] Es bien conocido que las palas de turbina eólica grandes 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 en un flujo de aire turbulento en los lados de succión y presión que se separa de la capa límite local 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).

25 [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 depósito ("lay-up process") 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
30 reducción de ruido normalmente comprenden una pluralidad de dientes serrados que sobresalen desde una o más placas base. Sin embargo, experimentan pérdida de rendimiento por reducción de ruido, en particular, cuando los dientes serrados no están alineados con la dirección de flujo principal.

35 [0005] El documento WO 2016/001420 A1 divulga una pala de turbina eólica con una pluralidad de dientes serrados que sobresalen hacia afuera desde el borde de salida de la pala de turbina eólica. Un par de paletas ("vanes"), es decir, dos paletas, se sitúa en cada diente serrado, dispuestas simétricamente en relación con la línea central del diente serrado. Las paletas tienen un perfil en forma de U colocado en el borde periférico del diente serrado, en el que cada pata de este perfil se extiende parcialmente a lo largo de la superficie lateral del diente serrado hacia el borde de salida. La altura local de cada pata es igual a o es mayor que el espesor de la capa límite local en ese lado en el borde de salida. Las dos paletas están espaciadas entre sí por la mitad del ancho del diente serrado. Las respectivas paletas están alineadas con la dirección de flujo principal y, por tanto, sobresalen perpendicularmente en relación con el borde de salida.

45 [0006] El documento US 2015/078896 A1 también divulga una pala de turbina eólica con una pluralidad de dientes serrados que sobresalen hacia afuera desde el borde de salida de la pala de turbina eólica. Los dientes serrados están doblados hacia un lado de presión o succión en relación con la línea de cuerda de la pala de turbina eólica. Se sitúan dos tipos de paletas en cada diente serrado; dos paletas pequeñas y dos paletas grandes se disponen simétricamente en relación con la línea central del diente serrado. Ambos tipos de paletas tienen un perfil en sección transversal en forma triangular o elíptica y sobresalen desde el mismo lado de presión o succión del
50 diente serrado.

[0007] El documento US 2015/0247487 A1 divulga otra pala de turbina eólica con una pluralidad de dientes serrados que sobresalen hacia afuera desde el borde de salida de la pala de turbina eólica. Cada uno de los dientes serrados tiene un elemento de resalto ("rib element") integrado que sobresale desde una superficie lateral del
55 diente serrado. Los resaltos y dientes serrados se fabrican usando una impresora tridimensional. El resalto está alineado con la línea central del diente serrado y, por tanto, sobresale perpendicularmente desde el borde de salida. Se afirma que el resalto está específicamente diseñado para añadir rigidez estructural a los dientes serrados para evitar la oscilación de los dientes serrados.

60 [0008] El documento EP 2940292 A1 divulga un dispositivo generador de vórtices que tiene un perfil en sección transversal en forma de I o en forma de U, en el que el dispositivo generador de vórtices está dispuesto en el lado de succión a una distancia a lo largo de la cuerda del borde de ataque. La altura máxima encontrada en el borde de ataque local del dispositivo generador de vórtices excede el espesor de capa límite local.

65 [0009] El documento US 2010/0143144 A1 divulga aletas ("fins") que tienen un perfil curado ("cured profile") en dirección a lo largo de la cuerda, en las que las aletas están dispuestas en el lado de succión y el borde de ataque

local de las aletas se coloca preferentemente a una distancia a lo largo de la cuerda de un 50 % a un 90 % del borde de ataque. En un modo de realización preferente, la distancia intermedia entre aletas contiguas es de 2 a 8 veces el espesor de capa límite local y la altura de las aletas es de un 50 % a un 75 % del espesor de capa límite local.

[0010] El documento WO 2015/192915 A1 divulga un conjunto de dispositivos de reducción de ruido dispuestos en el lado de succión en el borde de salida. Cada dispositivo tiene un conjunto de barras con un protector con respecto a la reducción de ruido donde las barras están conectadas por medio de una parte espaciadora a una parte de base. La parte de base se fija a la pala de turbina eólica mientras que la parte espaciadora garantiza que las barras se coloquen a una distancia de 1 mm a 4 cm de la superficie de pala.

Objetivo de la invención

[0011] 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.

[0012] Otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido y una pala de turbina eólica que reduzca la eficacia de dispersión en el borde de salida de la pala de turbina eólica.

[0013] Aún otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido y una pala de turbina eólica que minimice la pérdida de rendimiento por reducción de ruido.

[0014] Otro objetivo adicional de la invención es proporcionar un dispositivo de reducción de ruido y una pala de turbina eólica que proporcione una reducción de ruido mejorada en el borde de salida.

Descripción detallada de la invención

[0015] 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.

[0016] Esto proporciona un dispositivo de reducción de ruido que combina los efectos de los elementos de reducción de ruido con el efecto de los elementos de modificación de flujo de aire. Esta configuración reduce la eficacia de dispersión del borde de salida original de la pala de turbina eólica y minimiza la pérdida de rendimiento por reducción de ruido provocada por la alineación errónea del flujo de aire modificado. Esta configuración proporciona además un efecto de reducción de ruido mejorado en comparación con los dispositivos de reducción de ruido convencionales.

[0017] Las dimensiones del par de paletas en forma de U que sobresalen del documento WO 2016/001420 A1 proporcionan dos paletas relativamente grandes que afectan al flujo de aire modificado en todo el espesor de la capa límite local. Estas paletas grandes incrementan el arrastre y, por tanto, tienen un impacto negativo sobre el rendimiento aerodinámico de la pala de turbina eólica. Las pruebas en el túnel de viento han demostrado que la mayoría de la energía de los vórtices con afectación sobre la presión superficial inestable en el borde de salida y, por tanto, la generación de ruido en el borde de salida, se concentra en la mitad inferior de la capa límite, es decir, hacia la superficie lateral de la pala de turbina eólica. Por lo tanto, sorprendentemente se ha descubierto que la altura del elemento de modificación de flujo de aire se puede reducir sin afectación adversa sobre el efecto del elemento de modificación de flujo de aire.

[0018] Se mide una altura local del elemento de modificación de flujo de aire desde una superficie lateral del elemento de reducción de ruido hasta una parte superior del elemento de modificación de flujo de aire. Una altura total de los elementos de modificación de flujo de aire se mide entre partes superiores enfrentadas de los elementos de modificación de flujo de aire que se localizan en superficies laterales opuestas del elemento de reducción de ruido. La altura local y/o total se puede seleccionar en dependencia del espesor de la capa límite local en una posición longitudinal y/o posición a lo largo de la cuerda en la pala de turbina eólica en la que está instalado el dispositivo de reducción de ruido y/o en dependencia del perfil aerodinámico de la pala de turbina eólica. Por ejemplo, la altura local puede ser igual a o menor de dos tercios del espesor de capa límite local. Por ejemplo, pero sin limitarse a, la altura local puede ser entre un tercio y dos tercios del espesor de capa límite local. Por ejemplo, pero sin limitarse a, la altura local puede ser aproximadamente un medio del espesor de capa límite local. Esto permite que los elementos de modificación de flujo de aire controlen dirección del flujo de aire, dirigiendo, de este modo, el flujo de aire de salida para que esté más o menos en línea con la dirección de flujo principal. Esta configuración también ahorra material y reduce las cargas sobre los elementos de modificación de flujo de aire. Esta configuración reduce además el arrastre de los elementos de modificación de flujo de aire en comparación con el par de paletas del documento WO 2016/001420 A1.

[0019] Es conocido para el experto en la técnica que la distribución del espesor de capa límite local en el borde de salida varía en dirección a lo largo de la pala. El espesor de capa límite local se puede extraer fácilmente usando cualquier técnica de simulación. Por ejemplo, el espesor de capa límite local se puede determinar usando un

procedimiento de panel, tal como XFOIL® o PROFILE®. Por ejemplo, el espesor de capa límite se puede determinar cuando la pala de turbina eólica se opera a una velocidad de rotación nominal (rpm), preferentemente sin dicho dispositivo de reducción de ruido.

5 **[0020]** De acuerdo con un primer modo de realización especial, el al menos un elemento de modificación de flujo de aire comprende al menos dos elementos de modificación de flujo de aire dispuestos a una distancia entre sí, la distancia es igual a o menor de un tercio del espesor de capa límite local.

10 **[0021]** Una serie de elementos de modificación de flujo de aire se puede disponer en cada elemento de reducción de ruido en un patrón predeterminado en dirección longitudinal y/o transversal. La dirección longitudinal del dispositivo de reducción de ruido corresponde a la dirección a lo largo de la pala de la pala de turbina eólica cuando se instala. 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 se instala.

15 **[0022]** Por ejemplo, se puede disponer un elemento de modificación de flujo de aire en una o ambas superficies laterales del elemento de reducción de ruido. Esto divide el flujo de aire en dos flujos de aire modificados. Por ejemplo, se pueden disponer al menos dos elementos de flujo de aire en una o ambas superficies laterales del elemento de reducción de ruido. Dichos al menos dos elementos de flujo de aire se pueden espaciar por igual, o el espaciado puede variar entre elementos de flujo de aire individuales. El número de elementos de modificación de flujo de aire se puede seleccionar en dependencia del espesor de capa límite local y/o del ancho local de los dientes serrados. Esto divide el flujo de aire en una pluralidad de flujos de aire modificados que salen a lo largo del borde periférico del elemento de reducción de ruido. Esto también permite adaptar el número de elementos de modificación de flujo de aire individuales a las dimensiones de cada respectivo elemento de reducción de ruido.

25 **[0023]** En un ejemplo, un primer elemento de modificación de flujo de aire se puede situar a una distancia de al menos un segundo elemento del flujo de aire, en la que dicha distancia se puede medir en dirección longitudinal. Las pruebas en el túnel de viento han demostrado además que el espaciado, es decir, la distancia, entre los elementos de modificación de flujo de aire individuales tienen una influencia significativa en el rendimiento de los flujos de aire modificados. Por lo tanto, sorprendentemente se ha descubierto que el efecto del elemento de modificación de flujo de aire se puede mejorar además al reducir el espaciado en comparación con el par de paletas del documento WO 2016/001420 A1.

35 **[0024]** Por ejemplo, la distancia puede ser igual a o menor de un tercio del espesor de capa límite local. Por ejemplo, pero sin limitarse a, la distancia puede ser entre un cuarto y un décimo del espesor de capa límite local. Por ejemplo, pero sin limitarse a, la distancia puede ser aproximadamente un sexto del espesor de capa límite local. Esto proporciona el mayor efecto y, por tanto, permite el mejor control de los flujos de aire modificados.

40 **[0025]** El dispositivo de reducción de ruido se puede fabricar, por tanto, con un espaciado estandarizado entre los elementos de modificación de flujo de aire individuales, lo que permite un procedimiento de fabricación simple y rápido. Se puede proporcionar un kit o conjunto de dispositivos de reducción de ruido, en el que cada dispositivo de reducción de ruido tenga un espaciado diferente entre sus elementos de modificación de flujo de aire. Por tanto, se puede seleccionar un dispositivo de reducción de ruido particular para su instalación en una posición seleccionada a lo largo del borde de salida de una pala de turbina eólica particular.

45 **[0026]** De acuerdo con un segundo modo de realización especial, el al menos un elemento de modificación de flujo de aire comprende al menos dos elementos de modificación de flujo de aire dispuestos a una distancia entre sí, la distancia se determina en función de características de un ruido en el borde de salida o de dicha capa límite local.

50 **[0027]** La distancia se puede determinar de forma alternativa o adicionalmente en función de las características de ruido en el borde de salida y/o de las características de la capa límite en el borde de salida. Estas características se pueden definir por uno o más parámetros medibles o cuantificables descriptivos de las características aerodinámicas o acústicas.

55 **[0028]** Por ejemplo, las características acústicas pueden comprender al menos una frecuencia principal o intervalo de frecuencia que tenga el nivel de ruido más alto, es decir, valor de amplitud o valor de amplitud promediado. Las características acústicas pueden comprender uno o más parámetros pertinentes adicionales, por ejemplo, otras frecuencias y/o valores de amplitud, que se pueden usar para determinar la distancia. Por tanto, la distancia se puede determinar en base a la frecuencia principal o intervalo de frecuencias, por ejemplo, en combinación con los demás parámetros pertinentes. Esto permite adaptar la disposición de los elementos de modificación de flujo de aire a las características de ruido en el borde de salida.

65 **[0029]** Las frecuencias, los valores de amplitud y otros parámetros mencionados anteriormente se pueden determinar usando cualquier tipo de modelo descriptivo del ruido en el borde de salida, por ejemplo, un modelo aeroacústico. Por ejemplo, pero sin limitarse a, el modelo aeroacústico puede incluir el modelo BPM, el modelo TNO-Blake o aerodinámica computacional (por ejemplo, la ecuación de Ffowcs-Williams y Hawkings). También se

pueden usar otras técnicas conocidas, tales como mediciones o simulaciones, para determinar o estimar los respectivos parámetros del ruido en el borde de salida.

5 **[0030]** Por ejemplo, las características aerodinámicas pueden comprender al menos una velocidad, por ejemplo, velocidad de convección, del flujo de aire turbulento a una o más alturas. Las características aerodinámicas pueden comprender uno o más parámetros pertinentes adicionales, por ejemplo, temperaturas, presiones y/o densidad del aire, que se pueden usar para determinar la distancia. Por tanto, la distancia se puede determinar en base a la velocidad, por ejemplo, en combinación con los demás parámetros pertinentes. El espaciado entre los elementos de modificación de flujo de aire individuales se puede adaptar de acuerdo con las características aerodinámicas de la capa límite local.

15 **[0031]** Las velocidades mencionadas anteriormente y otros parámetros se pueden determinar usando cualquier tipo de modelo de las características de la capa límite, por ejemplo, un modelo aerodinámico. De forma alternativa, se puede usar un modelo combinado descriptivo de tanto las características aerodinámicas como acústicas. Por ejemplo, pero sin limitarse a, el modelo aerodinámico puede incluir procedimientos de panel (por ejemplo, XFOIL[®]), procedimientos analíticos (por ejemplo, modelo Corcos) o procedimientos de dinámica de fluidos computacional (por ejemplo, RANS, LES o un híbrido de los mismos). También se pueden usar otras técnicas conocidas, por ejemplo, mediciones o simulaciones, para determinar o estimar los respectivos parámetros de la capa límite local.

20 **[0032]** El dispositivo de reducción de ruido, por tanto, se puede personalizar para un sitio particular, un perfil de pala aerodinámico particular y/o una localización particular de la pala de turbina eólica. La eficacia del dispositivo de reducción de ruido se puede ajustar, de este modo, de acuerdo con las características aerodinámicas o acústicas reales.

25 **[0033]** De acuerdo con un modo de realización, el al menos un elemento de modificación de flujo de aire comprende al menos un elemento de modificación de flujo de aire más exterior y al menos un elemento de modificación de flujo de aire más interior, en el que una primera longitud del al menos un elemento de modificación de flujo de aire más interior es mayor que una segunda longitud del al menos un elemento de modificación de flujo de aire más exterior.

30 **[0034]** Se mide una longitud local de cada elemento de modificación de flujo de aire desde un primer extremo local orientado hacia el primer extremo del dispositivo de reducción de ruido hasta un segundo extremo local orientado hacia el segundo extremo del dispositivo de reducción de ruido. Cuando se instala, el primer extremo local se orienta hacia el borde de ataque de la pala de turbina eólica y el segundo extremo local se orienta hacia la dirección opuesta, es decir, lejos del borde de salida.

35 **[0035]** El número de elementos de modificación de flujo de aire puede tener cada uno la misma longitud local o una longitud local que varíe gradualmente a lo largo de un ancho local del elemento de reducción de ruido. El elemento de reducción de ruido tiene además una longitud local medida entre el segundo extremo, por ejemplo, una punta, y un extremo proximal del dispositivo de reducción de ruido. La longitud total del dispositivo de reducción de ruido se mide desde el primer extremo hasta el segundo extremo.

45 **[0036]** Un elemento de modificación de flujo de aire más interior define una primera longitud, mientras que un elemento de modificación de flujo de aire más exterior define una segunda longitud. Cualquier número de elementos de modificación de flujo de aire intermedios dispuestos entre los elementos de modificación de flujo de aire más interiores y más exteriores, y pueden tener una longitud local que sea igual a o mayor que la segunda longitud. De forma alternativa, los elementos de modificación de flujo de aire intermedios pueden tener una longitud local que sea más pequeña que la segunda longitud.

50 **[0037]** Las pruebas en el túnel de viento también han demostrado que la longitud local, por ejemplo, las primera y segunda longitudes, de los elementos de modificación de flujo de aire individuales tiene una influencia mínima en el rendimiento de los flujos de aire modificados. Por lo tanto, sorprendentemente se ha descubierto que la longitud local del elemento de modificación de flujo de aire se puede cambiar, por ejemplo, reducir, sin afectación adversa sobre el efecto del elemento de modificación de flujo de aire en comparación con el dispositivo de reducción de ruido del documento WO 2016/001420 A1. Esto puede dar como resultado menos arrastre y resistencia estructural incrementada y también en un procedimiento de fabricación más simple y rápido.

55 **[0038]** De acuerdo con un tercer modo de realización especial, dicho primer extremo local está dispuesto en el primer extremo o en el extremo proximal, y dicho segundo extremo local está dispuesto en un primer o segundo borde periférico del al menos un elemento de reducción de ruido.

60 **[0039]** El elemento de modificación de flujo de aire se puede extender desde el borde periférico del elemento de reducción de ruido hasta el extremo proximal o el primer extremo. El primer extremo local se puede situar de forma alternativa a una distancia del extremo proximal o del primer extremo. El segundo extremo local se puede situar de forma alternativa a una distancia del borde periférico. El elemento de modificación de flujo de aire puede tener, por tanto, un perfil sustancialmente recto. El elemento de modificación de flujo de aire, por tanto, se puede extender

parcial o completamente a lo largo de la superficie lateral sin sobresalir más allá del borde periférico. Esto guía y, por tanto, controla el flujo de aire modificado a lo largo de la longitud de los elementos de modificación de flujo de aire.

5 **[0040]** Adicionalmente o de forma alternativa, el elemento de modificación de flujo de aire puede sobresalir más allá del borde periférico y desde una porción que sobresale libremente localizada en el lado de presión o succión del elemento de reducción de ruido. Esta porción que sobresale libremente puede tener opcionalmente una subporción que se extienda hacia el lado opuesto del elemento de reducción de ruido. El elemento de modificación de flujo de aire puede tener, por tanto, un perfil sustancialmente en forma de L. Esto guía y, por tanto, controla el
10 flujo de aire modificado más allá del borde periférico hasta un punto localizado en la estela, extendiendo, de este modo, el efecto de los elementos de modificación de flujo de aire. Esto permite que un elemento de modificación de flujo de aire localizado en una superficie lateral guíe y controle parcialmente el flujo de aire modificado en la superficie lateral opuesta.

15 **[0041]** Los perfiles mencionados anteriormente de los elementos de modificación de flujo de aire más exteriores pueden tener, por tanto, una longitud local más corta que el par de paletas en el documento WO 2016/001420 A1. Además, los perfiles mencionados anteriormente de los elementos de modificación de flujo de aire más interiores pueden tener, por tanto, una mayor longitud local que el par de paletas en el documento WO 2016/001420 A1.

20 **[0042]** De acuerdo con un cuarto modo de realización especial, el al menos un elemento de reducción de ruido tiene una primera superficie lateral, una segunda superficie lateral y un primer o segundo borde periférico, donde dicho al menos un elemento de modificación de flujo de aire se extiende en dicho primer o segundo borde periférico de modo que dicho primer extremo local esté dispuesto en el primer extremo o extremo proximal de dicha primera superficie lateral y dicho segundo extremo local esté dispuesto en el primer extremo o extremo proximal de dicha
25 segunda superficie lateral.

[0043] Aún en otro ejemplo, el elemento de modificación de flujo de aire se puede extender alrededor del borde periférico y, por tanto, extender parcial o completamente a lo largo de la superficie lateral opuesta. El elemento de modificación de flujo de aire, por tanto, puede tener un perfil sustancialmente en forma de U. Esto permite que el
30 elemento de modificación de flujo de aire guíe y controle el flujo de aire modificado en ambas superficies laterales.

[0044] La sublongitud de la porción que sobresale libremente en los ejemplos mencionados anteriormente puede corresponder sustancialmente al espesor de capa límite local.

35 **[0045]** De acuerdo con un modo de realización, dicha altura local del al menos un elemento de modificación de flujo de aire es sustancialmente constante entre los primer y segundo extremos locales, o dicha altura local del al menos un elemento de modificación de flujo de aire se estrecha (“tapered”) desde el primer o segundo extremo local hacia el otro extremo local.

40 **[0046]** El elemento de modificación de flujo de aire puede tener un perfil en sección transversal sustancialmente uniforme entre los primer y segundo extremos locales, teniendo, por tanto, una altura sustancialmente constante a lo largo de su longitud. Esto permite un procedimiento de fabricación simple y rápido, por ejemplo, usando termoformación o moldeo por inyección.

45 **[0047]** De forma alternativa, el elemento de modificación de flujo de aire puede tener un perfil en sección transversal estrechado que se estrecha desde el primer extremo local hacia el segundo extremo local, o viceversa. En su lugar, el perfil estrechado se puede estrechar desde al menos un punto intermedio hacia el primer extremo local y/o el segundo extremo local. Por ejemplo, pero sin limitarse a, el elemento de modificación de flujo de aire puede tener un perfil rectangular, convexo, trapezoidal, semicircular o semielíptico. Esto permite que el perfil en
50 sección transversal del elemento de modificación de flujo de aire se adapte al perfil de pala aerodinámico y/o al perfil de capa límite. Esto reduce el arrastre y permite que los elementos de reducción de ruido reduzcan el ruido más eficazmente.

[0048] El elemento de modificación de flujo de aire puede tener además un perfil en sección transversal sustancialmente uniforme o estrechado en dirección longitudinal. El perfil estrechado se puede estrechar desde la superficie lateral del elemento de reducción de ruido hacia la punta libre del elemento de modificación de flujo de aire, o viceversa. Por ejemplo, pero sin limitarse a, el elemento de modificación de flujo de aire puede tener un perfil en sección transversal rectangular, convexo, trapezoidal, semicircular o semielíptico. Esto permite además que el perfil en sección transversal del elemento de modificación de flujo de aire se adapte al perfil de pala aerodinámico y/o al perfil de capa límite. El perfil en sección transversal también se puede seleccionar para garantizar una fijación fuerte a la superficie lateral y/o para reducir la flexibilidad del elemento de modificación de flujo de aire.
60

[0049] De acuerdo con un modo de realización, dicha parte superior del al menos un elemento de modificación de flujo de aire en el primer extremo local y/o el segundo extremo local tenía un borde redondeado en un plano definido por el al menos un elemento de modificación de flujo de aire.
65

5 **[0050]** Las respectivas esquinas de los primer y/o segundo extremos locales pueden comprender un borde redondeado o elíptico. La(s) esquina(s) puede(n) comprender de forma alternativa un borde recto que esté situado en un ángulo inclinado en relación con la dirección longitudinal o la superficie lateral del elemento de reducción de ruido. Esto reduce la fuerza de arrastre y permite un flujo de aire más óptimo alrededor de los primer y segundo extremos.

10 **[0051]** De acuerdo con un modo de realización, el al menos un elemento de modificación de flujo de aire tiene un perfil sustancialmente recto o curvado que se extiende entre el primer extremo local y el segundo extremo local, en el que dicho perfil recto o curvado está dispuesto en un ángulo predeterminado en relación con el extremo proximal.

15 **[0052]** Los elementos de modificación de flujo de aire en dirección transversal pueden tener un perfil sustancialmente recto, en el que los primer y segundo extremos locales pueden estar sustancialmente alineados en dirección transversal. Este perfil recto se puede alinear con la dirección de flujo principal, por ejemplo, colocado perpendicularmente en relación con el extremo proximal. De forma alternativa, este perfil recto se puede situar en un ángulo inclinado en relación con el extremo proximal. Los elementos de modificación de flujo de aire también pueden tener un perfil curvado, en los que el segundo extremo local esté desviado en relación con el primer extremo, o viceversa. El primer o segundo extremo local se puede curvar hacia o lejos de la línea central del elemento de reducción de ruido. Esto permite que el flujo de aire modificado se guíe hacia o lejos de la línea central en dependencia de la orientación de los elementos de modificación de flujo de aire. Esta configuración contribuye a alinear sustancialmente el flujo de aire modificado con la dirección de flujo principal cuando los elementos de reducción de ruido están alineados erróneamente, reduciendo, de este modo, el efecto negativo sobre el flujo de aire que pasa.

25 **[0053]** De acuerdo con un modo de realización, un primer elemento de modificación de flujo de aire localizado en la primera superficie lateral está alineado o desviado en dirección longitudinal en relación con un segundo elemento de modificación de flujo de aire localizado en la segunda superficie lateral.

30 **[0054]** Se puede disponer un primer número de primeros elementos de modificación de flujo de aire en una primera superficie lateral, por ejemplo, el lado de presión, del elemento de reducción de ruido. Se puede disponer un segundo número de segundos elementos de modificación de flujo de aire en una segunda superficie lateral, por ejemplo, el lado de succión, del elemento de reducción de ruido. Los primer y segundo números pueden ser los mismos o diferir entre sí. Los números de los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire se pueden seleccionar en dependencia del espaciado deseado, el ancho local de los dientes serrados y/o las frecuencias del ruido en el borde de salida, como se menciona anteriormente.

40 **[0055]** Los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire se pueden alinear de modo que los flujos de aire modificados locales en los lados de presión y succión salgan en la misma localización vista la dirección longitudinal o a lo largo de la pala. Esto reduce la cantidad de turbulencia generada por los propios elementos de modificación de flujo de aire.

45 **[0056]** De forma alternativa, los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire se pueden desviar entre sí de modo que los flujos de aire modificados locales en los lados de presión y succión salgan en diferentes localizaciones vistas la dirección longitudinal o a lo largo de la pala. Esto permite que los respectivos flujos de aire locales en los lados de presión y succión se mezclen al salir del dispositivo de reducción de ruido. Esto puede reducir además los patrones coherentes en los flujos de aire existentes y reducir además la eficacia de dispersión del borde de salida.

50 **[0057]** De acuerdo con la invención, dicho al menos un elemento de reducción de ruido son dientes serrados y dicho al menos un elemento de modificación de flujo de aire son paletas.

55 **[0058]** Los elementos de reducción de ruido se pueden conformar como, pero sin limitarse a, dientes serrados. Los dientes serrados pueden tener un perfil sustancialmente triangular, elíptico o semicircular. Esto cambia el perfil del borde de salida original de un borde sustancialmente recto a un borde alterno. Esto reduce la eficacia de dispersión y el ruido en el borde de salida generado del borde de salida original.

60 **[0059]** Los elementos de reducción de ruido se pueden alinear con una parte de base para formar un dispositivo de reducción de ruido sustancialmente recto. De forma alternativa, los elementos de reducción de ruido se pueden doblar hacia el lado de presión o succión y, por tanto, colocar en un ángulo inclinado en relación con la parte de base. Dicho ángulo puede ser entre 1 grado y 45 grados, por ejemplo entre 5 grados y 30 grados.

65 **[0060]** Los elementos de modificación de flujo de aire se pueden conformar como, pero sin limitarse a, paletas. Aquí, el término "paleta" se define como cualquier elemento o estructura alargada que tenga un perfil en sección transversal sustancialmente delgado visto en dirección transversal. Los elementos de modificación de flujo de aire,

por ejemplo paletas, se pueden formar por un único elemento o estructura continua o una pluralidad de subelementos o estructuras que conjuntamente formen la paleta.

5 [0061] Los elementos de modificación de flujo de aire se pueden fabricar por separado de los elementos de reducción de ruido. Los elementos de modificación de flujo de aire, por tanto, se pueden fijar al elemento de reducción de ruido, por ejemplo, usando adhesivo, elementos de sujeción como pernos o tornillos, un ajuste a presión, un acoplamiento mecánico u otra técnica de fijación adecuada. Esto permite el uso de diferentes procedimientos de fabricación y permite el reemplazo de los elementos de modificación de flujo de aire.

10 [0062] Los elementos de modificación de flujo de aire también se pueden integrar en los elementos de reducción de ruido, por ejemplo, usando moldeo por inyección, termoformación u otra técnica de fabricación adecuada. Esto añade resistencia estructural al dispositivo de reducción de ruido y reduce la flexibilidad de los elementos de reducción de ruido.

15 [0063] Los elementos de reducción de ruido y/o los elementos de modificación de flujo de aire se pueden fabricar de un material flexible, tal como termoplásticos, materiales compuestos, polímeros u otros materiales o materiales compuestos adecuados. Los elementos de reducción de ruido y/o los elementos de modificación de flujo de aire se pueden fabricar de un material rígido o material compuesto, tal como materiales reforzados con fibras o materiales compuestos o metales. Esto reduce la vibración de los dientes serrados/paletas durante las
20 operaciones.

[0064] Un objetivo de la invención se logra adicionalmente por una pala de turbina eólica, la pala de turbina eólica se extiende en dirección a lo largo de la pala desde una raíz de pala hasta un extremo de punta y en dirección a lo largo de la cuerda desde el 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, caracterizada por que
25 al menos un dispositivo de reducción de ruido como se describe anteriormente está instalado en la primera o segunda superficie lateral en relación con el borde de salida o en el borde de salida, por ejemplo, en una superficie de borde de salida.

30 [0065] Esto proporciona una pala de turbina eólica con reducción de ruido en el borde de salida mejorada en comparación con el uso de otros dispositivos de reducción de ruido convencionales, tal como el documento WO 2011/001420 A1. Esto también permite el diseño de palas de turbina eólica más largas y de rotación más rápida. Esto, a su vez, puede dar como resultado un incremento de la producción anual de energía (PAE) en aproximadamente un 1 %.

35 [0066] El dispositivo de reducción de ruido descrito anteriormente puede reducir el ruido en el borde de salida en de aproximadamente 9 dB a 10 dB en comparación con una pala de turbina eólica sin ningún dispositivo de reducción de ruido.

40 [0067] Se puede disponer un conjunto de dispositivos de reducción de ruido en dirección a lo largo de la pala a lo largo de una parte del borde de salida. El conjunto puede comprender dos o más dispositivos de reducción de ruido, por ejemplo, todos o algunos de estos dispositivos de reducción de ruido se pueden configurar como se describe anteriormente. Por ejemplo, el conjunto se puede localizar entre la posición a lo largo de la pala de la longitud de cuerda máxima y el extremo de punta. Por ejemplo, pero sin limitarse a, el conjunto se puede localizar
45 en la mitad exterior de la pala de turbina eólica.

[0068] El número de elementos de modificación de flujo de aire y/o la altura local de dichos elementos de modificación de flujo de aire localizados en cada elemento de reducción de ruido pueden los mismos o diferir. El número total de elementos de modificación de flujo de aire y/o las alturas locales individuales de los mismos, por tanto, se pueden optimizar dentro del mismo dispositivo de reducción de ruido.
50

[0069] De forma alternativa o adicionalmente, el número de elementos de modificación de flujo de aire y/o la altura local de dichos elementos de modificación de flujo de aire de cada dispositivo de reducción de ruido dentro del conjunto mencionado anteriormente pueden ser los mismos o diferir. La configuración de cada dispositivo de reducción de ruido, por tanto, se puede optimizar dentro del mismo conjunto como se describe anteriormente.
55

[0070] El borde de salida es un borde de salida sustancialmente afilado o un borde de salida romo que tiene una superficie de borde de salida. El extremo proximal de dicho dispositivo de reducción de ruido está alineado o retraído en relación con el borde de salida afilado o la superficie de borde de salida.
60

Descripción de los dibujos

[0071] La invención se explica en detalle a continuación con referencia a los modos de realización mostrados en los dibujos, en los que
65

la fig. 1 muestra una turbina eólica,

- la fig. 2 muestra un modo de realización de ejemplo de la pala de turbina eólica,
- 5 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,
- 10 la fig. 5 muestra el dispositivo de reducción de ruido de la fig. 3 visto desde el segundo extremo,
- la fig. 6 muestra un segundo modo de realización de ejemplo del segundo dispositivo de reducción de ruido visto desde la segunda superficie lateral,
- 15 la fig. 7 muestra los segundos elementos de reducción de ruido de la fig. 6 vistos desde la primera superficie lateral,
- la fig. 8 muestra una vista en sección transversal de un tercer modo de realización de ejemplo del dispositivo de reducción de ruido,
- 20 la fig. 9 muestra una vista en sección transversal de un cuarto modo de realización de ejemplo del dispositivo de reducción de ruido,
- la fig. 10 muestra una vista en sección transversal de la pala de turbina eólica con el dispositivo de reducción de ruido instalado en el borde de salida.
- 25 las figs. 11a-c muestran tres modos de realización diferentes del segundo extremo local, y
- las figs. 12a-b muestran dos modos de realización diferentes de los elementos de modificación de flujo de aire.

30 **Lista de referencias**

[0072]

- 35 1. Turbina eólica
2. Torre de turbina eólica
3. Góndola
- 40 4. Buje
5. Palas de turbina eólica
- 45 6. Rodamiento de *pitch*
7. Raíz de pala
8. Extremo de punta
- 50 9. Borde de ataque
10. Borde de salida
11. Concha de pala
- 55 12. Lado de presión
13. Lado de succión
- 60 14. Porción de raíz de pala
15. Porción de pala aerodinámica
16. Porción de transición
- 65 17. Longitud de pala de turbina eólica

18. Longitud de cuerda de pala de turbina eólica
- 5 19. Dispositivo de reducción de ruido
20. Segunda superficie lateral
21. Primer extremo de elemento de reducción de ruido
- 10 22. Segundo extremo de elemento de reducción de ruido
23. Parte de base
- 15 24. Extremo proximal
25. Elementos de reducción de ruido
26. Elementos de modificación de flujo de aire
- 20 27. Elemento de modificación de flujo de aire más interior
28. Elemento de modificación de flujo de aire más exterior
- 25 29. Primera superficie lateral
30. Primer borde periférico
31. Segundo borde periférico
- 30 32. Primer extremo de elemento de modificación de flujo de aire
33. Segundo extremo de elemento de modificación de flujo de aire
- 35 34. Superficie de instalación
35. Elementos de modificación de flujo de aire
36. Línea central
- 40 L_{1a-b} Primeras longitudes locales de los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire más interiores
- L_{2a-b} Segundas longitudes locales de los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire más exteriores
- 45 h_{a-b} Alturas locales de los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire t_b Espesor de capa límite local
- 50 w_{1a-b} Distancias entre los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire contiguos
- w_{2a-b} Distancias entre los primer y segundo elementos de modificación más exteriores
- w_3 Ancho local del elemento de reducción de ruido

55 **[0073]** 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

60 **[0074]** La fig. 1 muestra una moderna turbina eólica 1 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. 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, por ejemplo, un generador, localizado en la turbina eólica 1 por medio de un eje de rotación.

65

[0075] El buje 4 comprende un punto de contacto de montaje para cada pala de turbina eólica 5. Una unidad de rodamiento de *pitch* 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.

[0076] 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 enfrentadas 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.

[0077] 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 en forma de caja ("box beam"), 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.

[0078] La porción de pala aerodinámica 15 de pala tiene una sección transversal conformada aerodinámicamente (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.

[0079] La pala de turbina eólica 5 tiene una longitud 17 longitudinal 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.

[0080] Las figs. 3-4 muestran 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 (véase la fig. 4), una segunda superficie lateral (véase la fig. 4), un primer extremo 21 y un segundo extremo 22.

[0081] 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 elementos de reducción de ruido 25 que se extienden desde el extremo proximal 24 hacia el segundo extremo 22. Aquí, los elementos de reducción de ruido 25 están conformados como dientes serrados para reducir la eficacia de dispersión del borde de salida 10.

[0082] El dispositivo de reducción de ruido 19 comprende además una serie de elementos de modificación de flujo de aire 26 que se extienden desde las respectivas superficies laterales de los elementos de reducción de ruido 25. Un elemento de modificación de flujo de aire más interior 27 está localizado más cerca de una línea central (véase la fig. 12a-b) del elemento de reducción de ruido 25. Un elemento de modificación de flujo de aire más exterior 28 está localizado más alejado de una línea central (véase la fig. 12a-b) del elemento de reducción de ruido 25. Aquí, los elementos de modificación de flujo de aire 26 están conformados como paletas para controlar la dirección del flujo de aire existente y alinearlo sustancialmente con una dirección de flujo principal de la pala de turbina eólica 5.

[0083] Un primer número de primeros elementos de modificación de flujo de aire sobresalen desde la primera superficie lateral 29 del elemento de reducción de ruido 25, como se ilustra en la fig. 4. Un segundo número de segundos elementos de modificación de flujo de aire sobresalen desde la segunda superficie lateral 20 del elemento de reducción de ruido 25, como se ilustra en la fig. 3. Aquí, diez elementos de modificación de flujo de aire están a cada lado de los dientes serrados.

[0084] La fig. 5 muestra el dispositivo de reducción de ruido 19 visto desde el segundo extremo 22. Cada elemento de reducción de ruido 25 tiene un primer borde periférico 30 y un segundo borde periférico 31. Los primer y segundo bordes periféricos 30, 31 de los elementos de reducción de ruido 25 contiguos forman un hueco entre las puntas de dichos elementos de reducción de ruido 25 contiguos, como se ilustra en la fig. 5.

[0085] Los elementos de modificación de flujo de aire 26 tienen una longitud local medida desde un primer extremo local 32 hasta un segundo extremo local 33. Los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a dispuestos en la primera superficie lateral 29 están alineados en dirección longitudinal con los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b dispuestos en la segunda superficie lateral 20. Los primer y segundo extremos locales 32, 33 están alineados además en dirección transversal y, por tanto, el elemento de modificación de flujo

de aire 26 tiene un perfil recto. Los flujos de aire modificados locales en los lados de presión y succión de la pala de turbina eólica 5 existen, por tanto, en el dispositivo de reducción de ruido 19 en la misma localización.

5 **[0086]** La fig. 6 muestra un segundo modo de realización de ejemplo del segundo dispositivo de reducción de ruido 19' visto desde la segunda superficie lateral 20. Aquí, el primer extremo local 32b de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b están dispuestos en el primer extremo 21. El segundo extremo local 33b de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b están dispuestos en el primer o segundo borde periférico 30, 31.

10 **[0087]** El elemento de reducción de ruido 25 tiene un ancho local, w_3 , medido en dirección longitudinal, y una longitud local en dirección longitudinal, medida desde el extremo proximal 24 hasta su punta, por ejemplo, el segundo extremo 22.

15 **[0088]** Como se ilustra en la fig. 6, la longitud local de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b varía a lo largo del ancho local w_3 . El más interior 27b de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b tiene una primera longitud, L_{1b} , y el más exterior 28b de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b tiene una segunda longitud, L_{2b} . Las longitudes locales de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b restantes cambian gradualmente entre las primera y segunda longitudes L_{1b} , L_{2b} , como se ilustra en la fig. 6.

20 **[0089]** Los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b individuales en el respectivo elemento de reducción de ruido 25 están espaciados entre sí por una distancia local w_{1b} , medida entre las líneas centrales o superficies laterales enfrentadas de dos segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b contiguos. Los segundos elementos de modificación de flujo de aire más exteriores 28b en dos elementos de reducción de ruido 25 contiguos están espaciados entre sí además por otra distancia local w_{2b} . Las distancias locales w_{1b} , w_{2b} pueden ser las mismas o diferir.

25 **[0090]** La fig. 7 muestra los segundos elementos de reducción de ruido 19' vistos desde la primera superficie lateral 29. Aquí, el primer extremo local 32a de los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a con disposición en el extremo proximal 24. El segundo extremo local 33a de los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a con disposición en el primer o segundo borde periférico 30, 31.

30 **[0091]** Como se ilustra en la fig. 7, la longitud local de los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26a varía a lo largo del ancho local w_3 . El más interior 27a de los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a tiene una primera longitud, L_{1a} , y el más exterior 28a de los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a tiene una segunda longitud, L_{2a} . Las longitudes locales de los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a restantes cambian gradualmente entre las primera y segunda longitudes L_{1a} , L_{2a} , como se ilustra en la fig. 7.

35 **[0092]** Los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a individuales en el respectivo elemento de reducción de ruido 25 están espaciados entre sí por una distancia local w_{1a} , medida entre las líneas centrales o superficies laterales enfrentadas de dos segundos elementos de modificación de flujo de aire 26a contiguos. Los primeros elementos de modificación de flujo de aire más exteriores 28a en dos elementos de reducción de ruido 25 contiguos están espaciados entre sí además por otra distancia local w_{2a} . Las distancias locales w_{1a} , w_{2a} pueden ser las mismas o diferir.

40 **[0093]** La parte de base 23 tiene una superficie de instalación configurada para entrar en contacto con una superficie de contacto coincidente en una superficie lateral o una superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica 5. La parte de base 23 y, por tanto, el dispositivo de reducción de ruido 19 se pueden fijar adecuadamente, por ejemplo, usando un adhesivo, a la pala de turbina eólica 5.

45 **[0094]** La fig. 8 muestra una vista en sección transversal de un tercer modo de realización de ejemplo del dispositivo de reducción de ruido 19". Aquí, los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a tienen una altura local, h_a , medida desde la primera superficie lateral 29 hasta su punta libre que se orienta lejos del elemento de reducción de ruido 25. Los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b tienen además una altura local, h_b , medida desde la segunda superficie lateral 20 hasta su punta libre que se orienta lejos del elemento de reducción de ruido 25. Las alturas locales h_a , h_b son sustancialmente constantes a lo largo de las longitudes locales de los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire 26a, 26b.

50 **[0095]** Los elementos de reducción de ruido 25 están dispuestos en un ángulo inclinado en relación con la parte de base 23, como se ilustra en la fig. 8. Al doblar los elementos de reducción de ruido 25, se pueden alinear sustancialmente con la dirección de flujo principal en el borde de salida 10 de la pala de turbina eólica 5.

55 **[0096]** Los segundos extremos locales 33a, 33b de los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire 26a, 26b están dispuestos en el borde periférico 30, 31 del elemento de reducción de ruido 25. Los segundos

extremos locales 33a, 33b tienen un perfil redondeado en el plano definido por el elemento de modificación de flujo de aire 26.

[0097] El primer extremo local 32b del segundo elemento de modificación de flujo de aire 26b está dispuesto en o cerca del extremo proximal 24 del dispositivo de reducción de ruido 19". El primer elemento de modificación de flujo de aire 26a se extiende más allá del extremo proximal 24 de modo que el primer extremo local 32a del primer elemento de modificación de flujo de aire 26a se disponga en el primer extremo del dispositivo de reducción de ruido 19". Los primeros elementos de modificación de flujo de aire 26a tienen, por tanto, una mayor longitud local que los segundos elementos de modificación de flujo de aire 26b, como se ilustra en las figs. 6 y 7. Los primeros extremos locales 32a, 32b tienen un perfil más redondeado en comparación con el perfil de los segundos extremos locales 33a, 33b.

[0098] La fig. 9 muestra una vista en sección transversal de un cuarto modo de realización de ejemplo del segundo dispositivo de reducción de ruido 19". Aquí, las alturas locales h_a , h_b de tanto el primer como segundo elementos de modificación de flujo de aire 26a, 26b se estrechan desde los segundos extremos locales 33a, 33b hasta los primeros extremos locales 32a, 32b.

[0099] La fig. 10 muestra una vista en sección transversal del área de borde de salida de la pala de turbina eólica 5. El dispositivo de reducción de ruido 19 está instalado, por ejemplo, fijado, a una superficie lateral de la pala de turbina eólica, como se ilustra en la fig. 10.

[0100] El flujo de aire local (indicado por flechas) que pasa a lo largo de la superficie lateral forma una capa límite local (localizada entre la línea discontinua y la superficie lateral) que tiene un espesor de capa límite local, t_b . El flujo de aire local se guía a lo largo de los elementos de modificación de flujo de aire 26 y sale en el segundo extremo 22, por ejemplo, en los segundos extremos locales 33a, 33b. El espesor de esta capa límite local se define típicamente como la distancia desde la superficie lateral hasta el punto en el que la velocidad del flujo de aire turbulento es de un 99 % de la velocidad de corriente libre, U^∞ .

[0101] Al menos una de las alturas locales h_a , h_b , las longitudes locales L_{1a} , L_{1b} y las distancias locales w_{1a} , w_{1b} se determina adecuadamente en función del espesor de capa límite local t_b . Por ejemplo, las alturas locales h_a , h_b son iguales a o menores de dos tercios del espesor de capa límite local t_b . Por ejemplo, las distancias locales w_{1a} , w_{1b} son iguales a o menores de un tercio del espesor de capa límite local t_b .

[0102] Las figs. 11a-c muestran tres modos de realización diferentes del segundo extremo local 33a, 33b. El segundo extremo local 33a, 33b se puede extender en el borde periférico 30, 31, como se ilustra en la fig. 11a. Los primer y segundo elementos de modificación de flujo de aire 26a, 26b, por tanto, se pueden combinar para formar un perfil sustancialmente en forma de U.

[0103] El segundo extremo local 33a, 33b puede formar una porción de extremo libre que sobresalga hacia afuera desde el borde periférico 30, 31 y además tenga una subporción libre que sobresalga hacia la superficie lateral opuesta, como se ilustra en la fig. 11b. Los elementos de modificación de flujo de aire 26, por tanto, pueden influir en el flujo de aire local localizado en esa superficie lateral e influir parcialmente en el flujo de aire local localizado en la superficie lateral opuesta.

[0104] El segundo extremo local 33a, 33b puede formar una porción de extremo libre sin ninguna subporción que sobresalga hacia la superficie lateral opuesta, como se ilustra en la fig. 11c. Los elementos de modificación de flujo de aire 26 influyen, por tanto, solo en el flujo de aire local localizado en esa superficie lateral.

[0105] Las figs. 12a-b muestran dos modos de realización diferentes de los elementos de modificación de flujo de aire 35. Los elementos de modificación de flujo de aire 35, por ejemplo, los primer y/o segundo elementos de modificación de flujo de aire, pueden tener un perfil recto que se sitúe en un ángulo inclinado, como se ilustra en la fig. 12a. El ángulo inclinado se mide en relación con la línea central 36 del elemento de reducción de ruido 25 o bien con el extremo proximal 24. Aquí, los segundos extremos locales 33a, 33b están en ángulo lejos de la línea central 36, aunque, en su lugar, pueden estar en ángulo hacia la línea central 36. Esto reduce la pérdida de reducción de ruido cuando los elementos de reducción de ruido 25 no están alineados con la dirección de flujo principal.

[0106] Los elementos de modificación de flujo de aire 35, por ejemplo, los primer y/o segundo elementos de modificación de flujo de aire, también pueden tener un perfil curvado. Aquí, los segundos extremos locales 33a, 33b se curvan lejos de la línea central 36, aunque, en su lugar, se pueden curvar hacia la línea central 36. Esto también reduce la pérdida de reducción de ruido cuando los elementos de reducción de ruido 25 no están alineados con la dirección de flujo principal.

[0107] Los modos de realización mencionadas anteriormente se pueden combinar en cualquier combinación sin desviarse de la presente invención.

REIVINDICACIONES

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 (29) y una segunda superficie lateral (20), el dispositivo de reducción de ruido (19) comprende una parte de base (23) y al menos un elemento de reducción de ruido (25), la parte de base (23) está definida entre el primer extremo (21) y un extremo proximal (24) y el al menos un elemento de reducción de ruido (25) se extiende desde dicho extremo proximal (24) de la parte de base (23) hasta el segundo extremo (22), la parte de base (23) está configurada para su fijación a una superficie lateral contigua a un borde de salida (10) de la pala de turbina eólica (5) o para su fijación a una superficie de borde de salida de la pala de turbina eólica (5) de modo que el al menos un elemento de reducción de ruido (25) sobresalga hacia afuera desde el borde de salida (10), cuando se instala, en el que al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) sobresale desde al menos una superficie lateral (20, 29) del al menos un elemento de reducción de ruido (25), el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) está configurado para interactuar con una capa límite local fijada a dicha al menos una superficie lateral (20, 29) del dispositivo de reducción de ruido (19) cuando se instala, en el que el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) se extiende sustancialmente en dirección transversal desde un primer extremo local (32) hasta un segundo extremo local (33), y el al menos un elemento de reducción de ruido (25) son dientes serrados y dicho al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) son paletas y tiene una altura local (h_a , h_b) medida entre dicha al menos una superficie lateral (20, 29) y una parte superior de dicho elemento de modificación de flujo de aire (26), **caracterizado por que** la altura local (h_a , h_b) es igual a o menor de dos tercios de un espesor de capa límite local (t_b) en el dispositivo de reducción de ruido (19) cuando se instala, en el que el espesor de capa límite local (t_b) se determina cuando la pala de turbina eólica (5) se opera a una velocidad de rotación nominal.
2. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) comprende al menos dos elementos de modificación de flujo de aire dispuestos a una distancia (w_1) entre sí, la distancia (w_1) es igual a o menor de un tercio del espesor de capa límite local (t_b).
3. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) comprende al menos dos elementos de modificación de flujo de aire dispuestos a una distancia (w_1) entre sí, la distancia (w_1) se determina en función de las características de un ruido en el borde de salida o de dicha capa límite local.
4. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) comprende al menos un elemento de modificación de flujo de aire más exterior (28) y al menos un elemento de modificación de flujo de aire más interior (27), en el que una primera longitud (L_1) del al menos un elemento de modificación de flujo de aire más interior (27) es mayor que una segunda longitud (L_2) del al menos un elemento de modificación de flujo de aire más exterior (28).
5. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** dicho primer extremo local (32) está dispuesto en el primer extremo (21) o en el extremo proximal (24), y dicho segundo extremo local (33) está dispuesto en un primer o segundo borde periférico (30, 31) del al menos un elemento de reducción de ruido (25).
6. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el al menos un elemento de reducción de ruido (25) tiene una primera superficie lateral (29), una segunda superficie lateral (20) y un borde periférico (30, 31), donde dicho al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) se extiende en dicho primer o segundo borde periférico (30, 31) de modo que dicho primer extremo local (32) esté dispuesto en el primer extremo (21) o extremo proximal (24) de dicha primera superficie lateral (29) y dicho segundo extremo local (33) esté dispuesto en el primer extremo (21) o extremo proximal (24) de dicha segunda superficie lateral (20).
7. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** dicha altura local (h_a , h_b) del al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) es sustancialmente constante entre los primer y segundo extremos locales (32, 33), o dicha altura local (h_a , h_b) del al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) se estrecha desde el primer o segundo extremo local (32, 33) hacia el otro extremo local.
8. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** dicha parte superior del al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) en el primer extremo local (32) y/o el segundo extremo local (33) tenía un borde redondeado en un plano definido por el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26).

- 5 9. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** el al menos un elemento de modificación de flujo de aire (26) tiene un perfil sustancialmente recto o curvado que se extiende entre el primer extremo local (32) y el segundo extremo local (33), en el que dicho perfil recto o curvado está dispuesto en un ángulo predeterminado en relación con el extremo proximal (24).
- 10 10. Un dispositivo de reducción de ruido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, **caracterizado por que** un primer elemento de modificación de flujo de aire (26a) localizado en la primera superficie lateral (29) está alineado con o desviado en dirección longitudinal en relación con un segundo elemento de modificación de flujo de aire (26b) localizado en la segunda superficie lateral (20).
- 15 11. 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 dispositivo de reducción de ruido (19) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 está instalado en la primera o segunda superficie lateral en relación con el borde de salida (10) o en el borde de salida (10), por ejemplo, en una superficie de borde de salida.

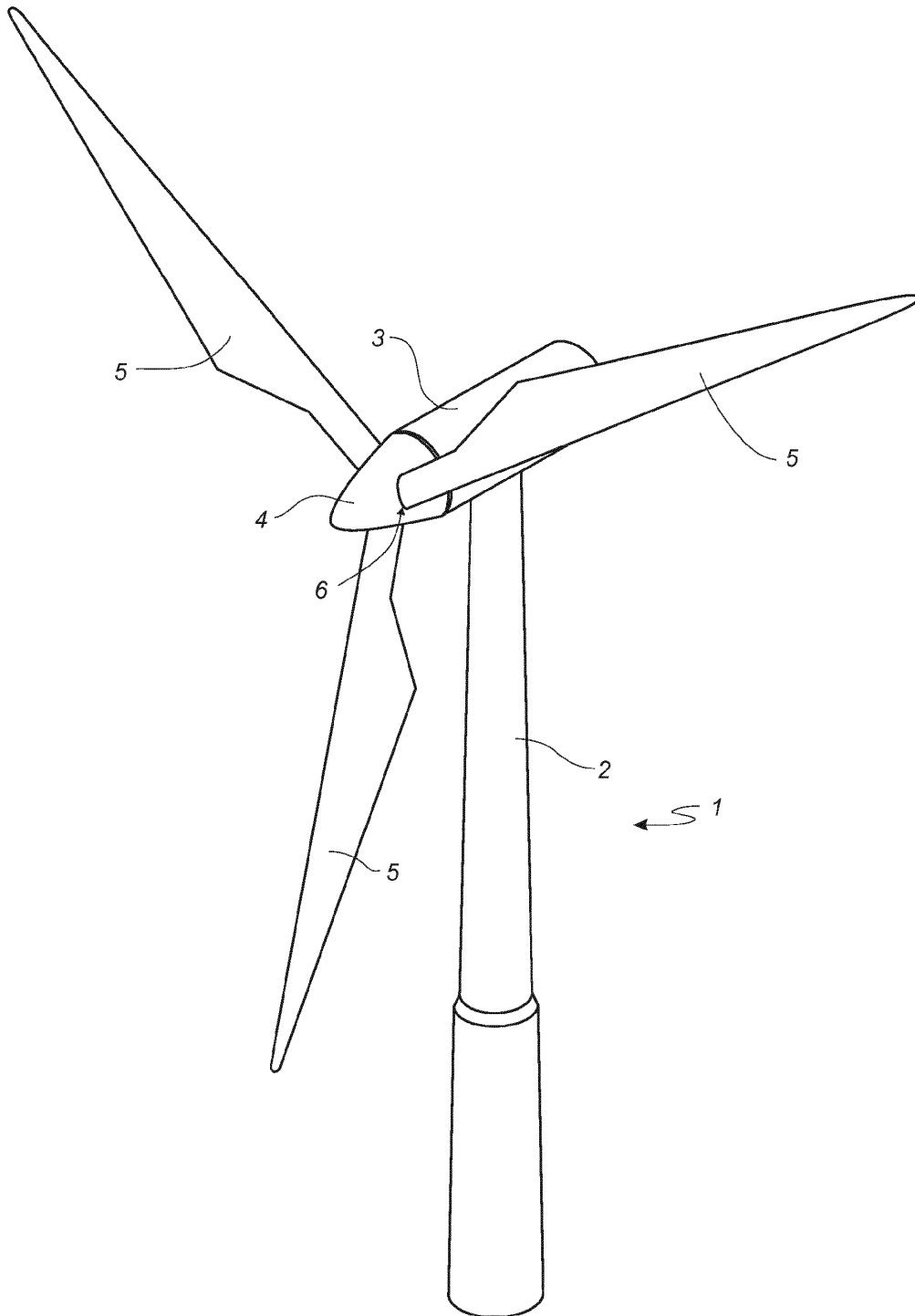


Fig. 1

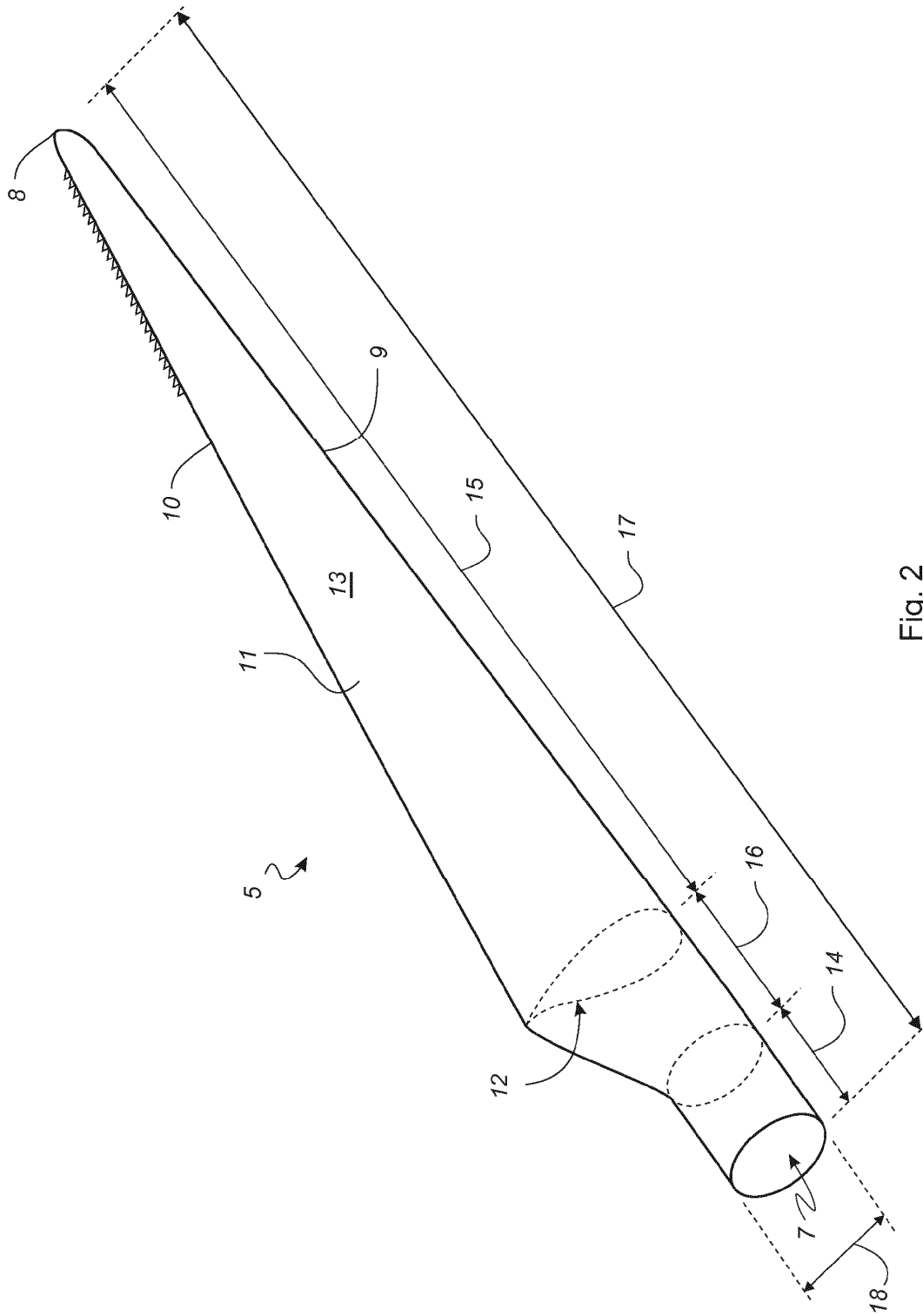


Fig. 2

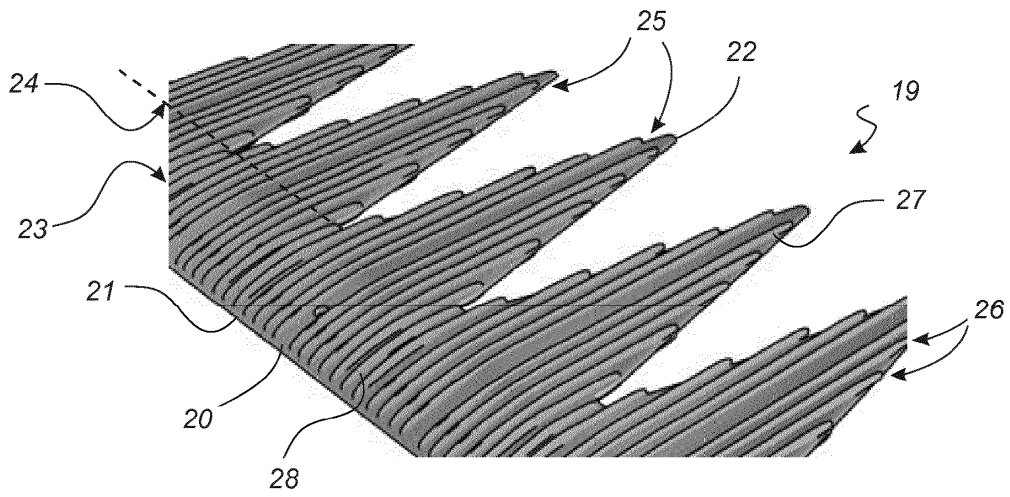


Fig. 3

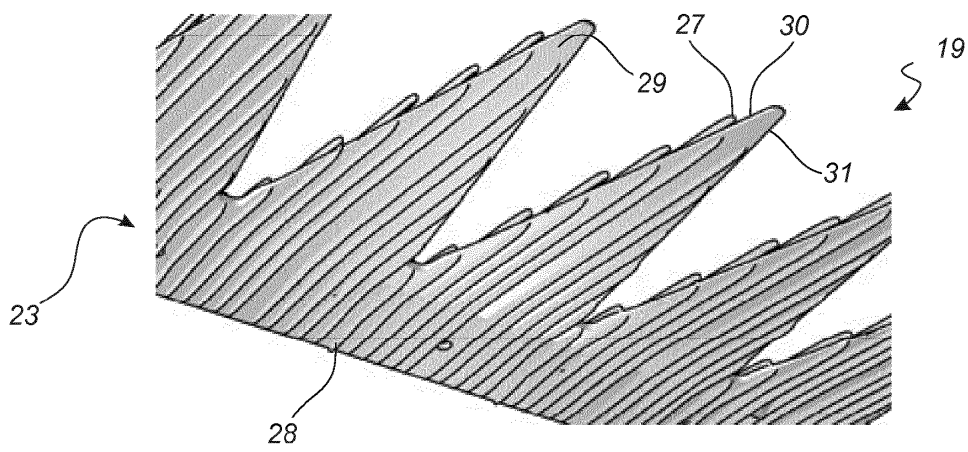


Fig. 4

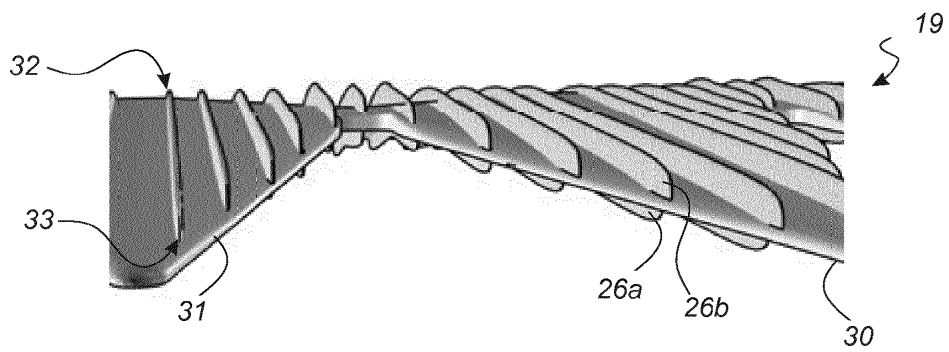


Fig. 5

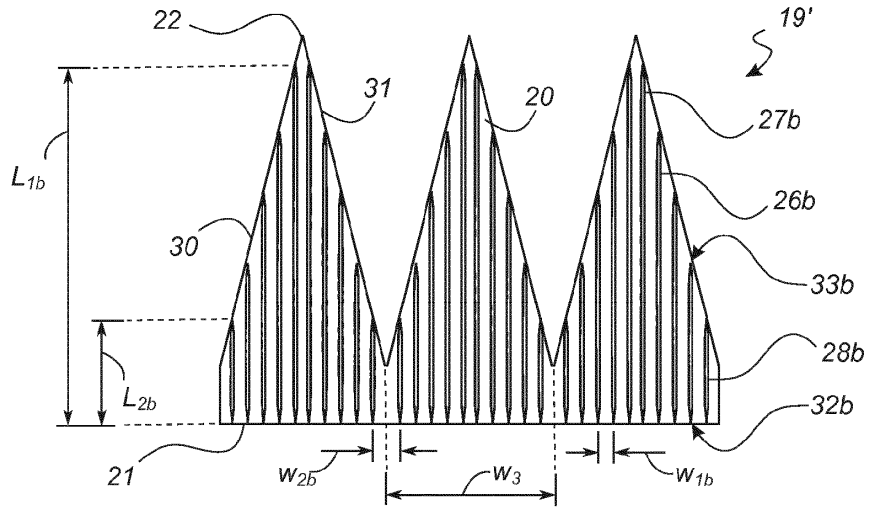


Fig. 6

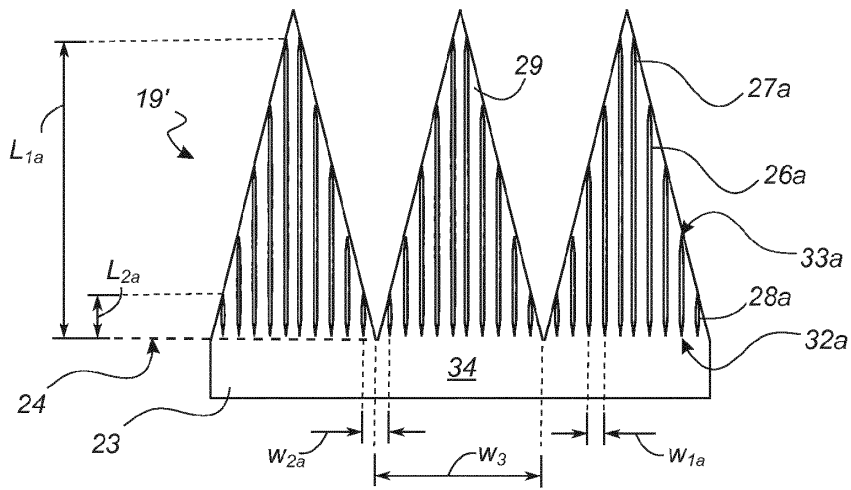


Fig. 7

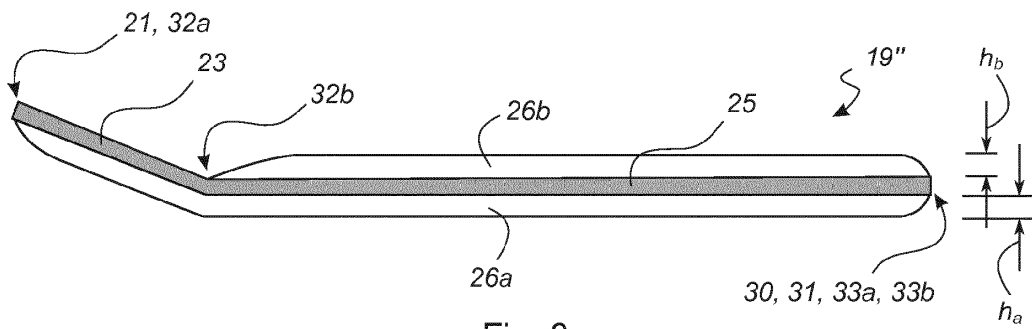


Fig. 8

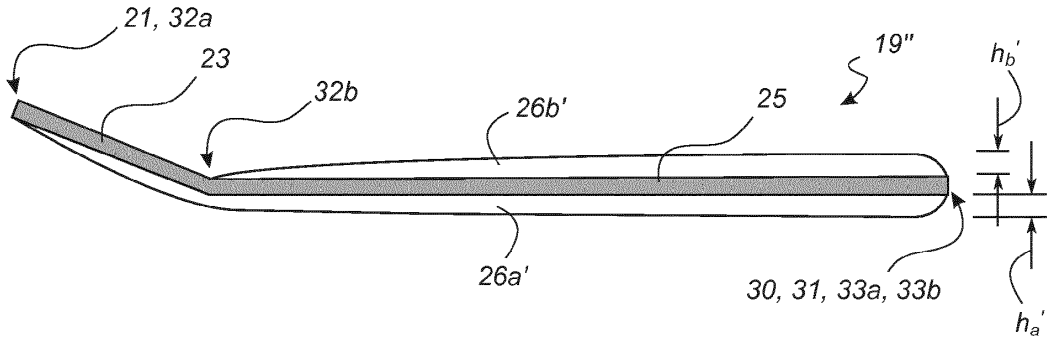


Fig. 9

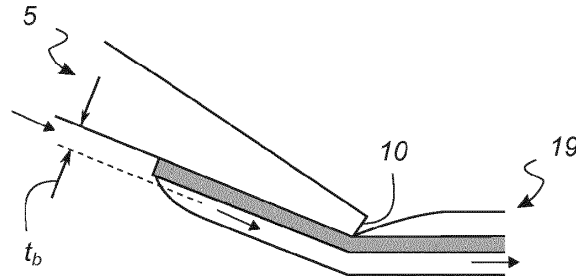


Fig. 10

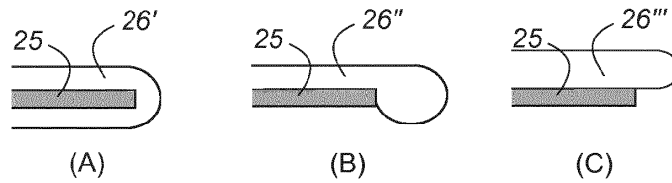


Fig. 11

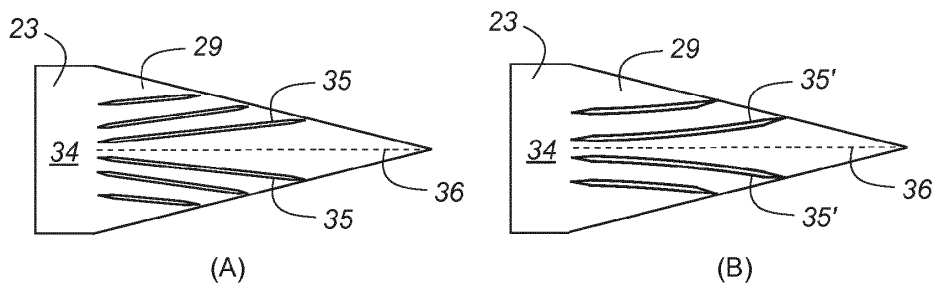


Fig. 12