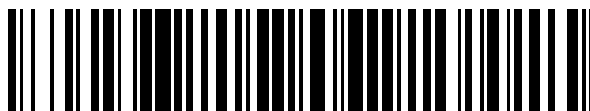


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 848 858**

51 Int. Cl.:

B64C 11/18	(2006.01) B64C 23/06	(2006.01)
F01D 5/14	(2006.01) F15D 1/00	(2006.01)
F03B 11/00	(2006.01) F03B 3/04	(2006.01)
F03D 1/06	(2006.01)	
B64C 11/14	(2006.01)	
B63H 1/28	(2006.01)	
F03D 7/02	(2006.01)	
F15D 1/12	(2006.01)	
F03D 3/06	(2006.01)	
F03D 17/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.08.2015 PCT/CA2015/050741**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **11.02.2016 WO16019468**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.08.2015 E 15830094 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2020 EP 3177524**

54 Título: **Pala de rotor de turbinas eólicas**

30 Prioridad:

05.08.2014 US 201462033331 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.08.2021

73 Titular/es:

**BIOMERENEWABLES INC. (100.0%)
199 Bay Street, Suite 2200
Toronto ON M5L 1G4, CA**

72 Inventor/es:

CHURCH, RYAN

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 848 858 T3

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

DESCRIPCIÓN

Pala de rotor de turbinas eólicas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere generalmente a estructuras adaptadas para atravesar entornos de fluidos, y más particularmente a una estructura adaptada para atravesar entornos de fluidos que tiene un cuerpo alargado y proyecciones rígidas.

10

Antecedentes de la invención

Las turbinas eólicas de eje horizontal para generar electricidad a partir del movimiento de rotación generalmente se componen de una o más palas de rotor, cada una que tiene un cuerpo aerodinámico que se extiende hacia fuera desde un vástago horizontal que está soportado por, y gira dentro de, una góndola de turbina eólica. La góndola se soporta en una torre que se extiende desde el suelo u otra superficie. El viento incidente en las palas del rotor aplica presión que hace que las palas del rotor se muevan al girar el vástago desde el cual se extienden alrededor del eje de rotación horizontal del vástago. El vástago, a su vez, se asocia con un generador de electricidad que, como se conoce bien, convierte el movimiento de rotación del vástago en corriente eléctrica para la transmisión, almacenamiento y/o uso inmediato. Las turbinas eólicas de eje horizontal son generalmente muy bien conocidas y comprendidas, aunque las mejoras en su operación para mejorar la eficiencia de la conversión de energía y sus características operativas generales son deseables.

El viento incidente a velocidades incluso bajas puede provocar que las palas del rotor giren muy rápidamente. Como se entenderá bien, para una velocidad de rotación dada, la velocidad lineal de una pala de rotor es la más baja en la región de su raíz - la porción de la pala del rotor próxima al vástago. De manera similar, la velocidad lineal de la pala del rotor es más alta en la región de su punta de ala - la porción de la pala del rotor distal desde el vástago. Particularmente a velocidades lineales más altas, los aspectos de la pala del rotor pueden generar ruido aeroacústico a medida que la pala del rotor se "desliza" rápidamente a través del aire a lo largo de su trayectoria de rotación. Este ruido puede resultar bastante incómodo de presenciar para personas y animales en las cercanías. Sin embargo, el ruido puede ser también un indicador de que la operación no es eficiente, y la velocidad máxima de la punta de ala puede realmente limitarse por tales ineficiencias.

Las turbinas de viento están ganando popularidad en los últimos años como un medio de generación de energía renovable. Con este crecimiento, las ubicaciones óptimas para su operación al aire libre han estado disminuyendo subsecuentemente, con estas ubicaciones que están limitadas. Como resultado, las turbinas de viento se han colocado cada vez más cerca de las comunidades, colocando en consecuencia el ruido que generan las turbinas eólicas más cerca de las personas que pueden oírlo. Las quejas y resistencia de los vecinos de los desarrollos de turbinas eólicas pueden montar, particularmente en respeto de quejas de "siseos" o "silbidos", sonidos en el intervalo de frecuencia de 1 kHz. Solo recientemente las emisiones de ruido se han convertido en una preocupación para los diseñadores de palas de rotor, que deben equilibrar muchos criterios para producir la pala de rotor óptima. Sin embargo, ya que el ruido es una forma de energía, la disminución de las emisiones de ruido también puede tener un beneficio positivo para la producción de energía, ya que no se perderá energía en la producción de ondas de sonido.

Las emisiones de ruido de la pala del rotor provienen de las puntas, llamado ruido de vórtice de la punta, o del borde trasero cerca, pero no en, la punta. Se ha descubierto que el ruido de las palas del rotor consiste principalmente en el ruido del borde trasero y viene en dos variedades - ruido de borde trasero contundente o ruido "B-TE", y ruido de borde trasero de la capa límite turbulenta, o ruido "TBL-TE", con el TBL-TE que es la causa principal de emisiones de ruido de las palas del rotor. El TBL-TE es provocado por la dispersión de fluctuaciones turbulentas dentro de la capa límite de la pala en el borde trasero, lo que resulta en la radiación de ruido de amplia frecuencia. Esto sería útil para mejorar la estructura de una pala de rotor en un intento de reducir las emisiones de ruido de la pala de rotor TBL-TE.

Los dientes rectos que siguen el contorno del lado de succión de la pala cerca del borde trasero se han explorado como un medio para reducir la dispersión de fluctuaciones turbulentas dentro de la capa límite de la pala en el borde trasero y se han mostrado para reducir el nivel de presión sonora total en 2 dB, dominado por reducciones de ruido a frecuencias relativamente bajas. La publicación de solicitud de patente Núm. 2008/0166241 de Herr y otros, describe un medio para reducir las emisiones de ruido de una pala de rotor durante el uso mediante el empleo de cerdas en el borde trasero de una pala de rotor. De acuerdo con los inventores, para reducir el ruido relacionado con el borde trasero, las cerdas más cortas logran mejores resultados de reducción para frecuencias más bajas, mientras que las cerdas más largas tienden a ser más efectivas para frecuencias más altas. Los inventores explican que una combinación de cerdas con dimensiones exteriores significativamente diferentes en la misma región de la pala contribuye a una característica de reducción con una mayor eficiencia en un amplio espectro de frecuencia.

En el documento WO2014/044414 A1 se muestra una pala de turbina eólica que tiene un dispositivo de reducción de ruido unido en su borde trasero que comprende dientes.

El documento US 5,533,865 describe que el borde trasero de cada pala de un rotor de una turbina eólica se forma de manera irregular para reducir las molestias por ruido provocadas durante el funcionamiento.

5 Una pala de turbina eólica para uso en un sistema de energía eólica que comprende un cuerpo de pala que tiene un borde trasero y un borde delantero, y una pluralidad de cerdas dispuestas en una superficie exterior si dicho cuerpo de pala se muestra en el documento US 2008/0166241 A1. Las cerdas se unen típicamente a dicho cuerpo de pala en los alrededores de dicho borde trasero y sirven para reducir el ruido provocado por el flujo de aire alrededor de la pala durante el funcionamiento.

10 El documento US 2013/0 164488 A1 muestra un perfil aerodinámico que incluye una pluralidad de primeras secciones de cuerda que tienen una primera longitud de cuerda y que se extienden hacia fuera desde uno del primer lado o segundo lado del perfil aerodinámico en el borde delantero y una pluralidad de segundas secciones de cuerda que tienen una segunda longitud de cuerda y que se extienden hacia fuera desde uno del primer lado o el segundo lado del perfil aerodinámico en el borde delantero. El borde delantero que incluye proyecciones en forma de onda separadas entre sí que definen una forma de onda. Se supone que la configuración reduce la amplitud y la presión inestable provocada por la interacción del perfil aerodinámico con la estela o vórtice generado aguas arriba.

15 El ruido irradiado de una pala del rotor es más ruidoso para una onda de presión incidente que se alinea con el borde de la pala del rotor y que viaja normal a ese borde. A medida que la onda de presión pasa por el borde, encuentra un cambio repentino en la impedancia acústica, lo que resulta en la dispersión del ruido. Las cerdas pueden verse como un medio para distribuir este cambio repentino en la impedancia sobre una distancia finita, reduciendo así la resistencia del proceso de dispersión. Sin embargo, los dientes rectos también resultaron en un aumento significativo del ruido a altas frecuencias (> 2000 Hz). Por lo tanto, un experto en la técnica reconocería que el uso de dientes rectos requiere una colocación cuidadosa y una consideración cuidadosa de los anchos y longitudes para lograr un efecto deseado. Además, el ruido de flujo de entrada turbulento puede contribuir al espectro de ruido de una turbina eólica a bajas frecuencias. Por lo tanto, un experto en la técnica debe gestionar tanto los flujos de aire de entrada como de salida para lograr un efecto deseado.

20 Resumen de la invención

30 La invención se refiere a una pala de rotor de turbina de acuerdo con la reivindicación 1. De acuerdo con un aspecto, se proporciona una estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos, la estructura que comprende un cuerpo alargado que tiene una raíz, una punta de ala, un borde delantero y un borde trasero; y una pluralidad de proyecciones rígidas, cada una de las cuales se extiende desde una posición respectiva a lo largo del borde delantero y/o el borde trasero generalmente a lo largo del mismo plano que una superficie frontal del cuerpo.

35 En una modalidad, el cuerpo alargado es una pala de rotor para una turbina eólica. Las estructuras descritas en la presente descripción se proporcionan con el fin de reducir la dispersión de fluctuaciones turbulentas dentro de la capa límite en el borde trasero de la pala del rotor. Como resultado, se proporcionan proyecciones de pala de rotor para una turbina eólica que disminuyen las emisiones de ruido y/o aumentan la eficiencia de la turbina eólica en su conjunto a través de su aplicación y uso.

40 De acuerdo con las modalidades, se proporcionan estructuras que crean una onda de sonido en un lugar particular de modo que pueda interferir destructivamente con otra onda de sonido. En modalidades, esto se realiza al proporcionar estructuras que tienen proyecciones rígidas de múltiples longitudes y anchos variables que corresponden a cualidades específicas de las emisiones de ruido de las palas del rotor que se desean reducir.

45 De acuerdo con una modalidad de la presente solicitud de patente, en donde la estructura es una pala de rotor para una turbina eólica, las proyecciones pueden montarse sobre el borde delantero y/o borde trasero de una pala(s) de rotor.

50 De acuerdo con un aspecto, las proyecciones de las palas del rotor se aplican en el intervalo de 40-96 % de la pala del rotor, donde la raíz de la pala del rotor representa el 0 % y la punta de la pala representa el 100 %.

55 De acuerdo con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor pueden alternar en longitud y ancho y ser no uniformes en la dispersión.

60 De acuerdo aún con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor generalmente disminuyen en longitud y ancho cuando se mueven hacia la punta de la pala.

De acuerdo aún con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor alternan su patrón de longitud y ancho, que se determina específicamente a partir de las características de las ondas de sonido que se desean reducir.

65 De acuerdo aún con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor pueden estar compuestas de materiales de base biológica o no biológica.

- De acuerdo aún con otro aspecto, la longitud de las proyecciones de las palas del rotor es aproximadamente paralela a una línea de corriente de flujo local definida para esa proyección.
- 5 De acuerdo aún con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor pueden hacerse de un material con un coeficiente de expansión térmica lineal (CLTE) entre $1,0 \times 10^{-4}$ m/m °C y $7,0 \times 10^{-4}$ m/m °C.
- De acuerdo con otra modalidad de esta invención, las proyecciones de las palas del rotor pueden ser flexibles o rígidas y/o tener una arquitectura curvilínea o lineal.
- 10 De acuerdo con un aspecto, las proyecciones curvilíneas de las palas del rotor pueden estar en la línea del área de línea de corriente de flujo local definida para esa proyección.
- De acuerdo con otra modalidad de esta invención, las proyecciones de las palas del rotor pueden tener una configuración diferente en el borde trasero en oposición al borde delantero.
- 15 De acuerdo con un aspecto, las proyecciones de las palas del rotor en el borde delantero pueden tener un área superficial mayor en comparación con el borde trasero.
- De acuerdo con otro aspecto, las proyecciones de las palas de rotor pueden aplicarse en la región del borde trasero solamente.
- 20 De acuerdo aún con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor pueden aplicarse en la región del borde delantero solamente.
- De acuerdo con otra modalidad de esta invención, las proyecciones de las palas del rotor y el cuerpo aerodinámico de la pala del rotor pueden ser una estructura unitaria.
- 25 De acuerdo con un aspecto, las proyecciones de las palas del rotor y el cuerpo aerodinámico de la pala del rotor pueden ser dos (2) o más piezas conectadas entre sí.
- 30 De acuerdo con una modalidad de esta invención, las proyecciones de las palas del rotor pueden ser un borde dentado, cepillo, peine, ranuras, estrías o fimbrias o similares.
- De acuerdo con otra modalidad de esta invención, las proyecciones de las palas del rotor pueden hacerse a partir de un material fibroso que se incorpora dentro de una matriz, y puede provenir de una materia prima biológica o no biológica.
- 35 De acuerdo con un aspecto, las proyecciones de las palas del rotor compuestas de material de base biológica pueden tener fibras que pueden incluir colágeno, elastina, fibronectina, laminina, α -quitina, β -quitina, α -queratina, β -queratina, queratosulfato, celulosa, perlecan, agrin, mesoglea, soja de fibra de queratina (KFS), fibra de pluma de pollo (CFF) y/o polisacáridos, y existen dentro de una matriz que puede incluir resina de aceite de soja epoxidado con acrilato (AESO), geles de polisacárido, agua, glicosaminoglicanos (GAG) y/o proteoglicanos.
- 40 De acuerdo con un aspecto, las proyecciones de las palas del rotor compuestas de material de base biológica pueden tener un mayor porcentaje de fibras de tipo elastina que de fibras de tipo colágeno y/o un mayor porcentaje de matriz que de fibras.
- 45 De acuerdo con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor compuestas de material de base no biológica pueden tener fibras que pueden incluir fibras de vidrio, fibras de plástico y/o fibras de carbono, y existen dentro de una matriz que puede incluir silicona, resina epoxi, y/o resina de poliéster.
- 50 De acuerdo con otro aspecto, las proyecciones de las palas del rotor compuestas de material de base no biológica pueden tener un porcentaje mayor de matriz que de fibras.
- De acuerdo con otra modalidad, un método para aumentar la eficiencia y/o disminuir las emisiones de ruido de una turbina eólica en funcionamiento que comprende un cubo y pala(s) de rotor, en donde al menos una pala de rotor se conecta al cubo y se define por un cuerpo aerodinámico que tiene un lado de presión, lado de succión, borde delantero, borde trasero y se proporciona un punta de la pala, el método que comprende: montar una pluralidad de proyecciones inspiradas en el ala de un búho en el cuerpo aerodinámico que se extiende en las proximidades del
- 60 borde delantero y/o trasero, aplicar estas proyecciones en el intervalo de 40-96 % de la pala del rotor, donde la raíz de la pala del rotor representa el 0 % y la punta de la pala representa el 100 % y alternar la longitud y el ancho respectivos a estas proyecciones.
- 65 De acuerdo con un aspecto, un método para aumentar la eficiencia y/o disminuir las emisiones de ruido de una turbina eólica en funcionamiento se logra al hacer que la longitud de la proyección más larga en la pala del rotor sea

más larga en 1/2 longitud de onda de sonido producida por la proyección vecina más corta a una temperatura determinada.

5 De acuerdo con un aspecto, un método para aumentar la eficiencia y/o disminuir las emisiones de ruido de una turbina eólica en funcionamiento se logra al provocar la interferencia destructiva de las ondas de sonido a través de la creación activa de una onda de sonido de una cierta longitud de onda que se corresponde con una onda de sonido vecina emitida por cualquier componente de la pala del rotor.

10 De acuerdo con otra modalidad de esta invención, se proporciona un método de fabricación de estas proyecciones de palas de rotor, de manera que pueden hacerse de un material fibroso incorporado dentro de una matriz.

15 De acuerdo con un aspecto, un método de fabricación de estas proyecciones de palas de rotor, en donde el material fibroso es de base biológica, y puede incluir colágeno, elastina, fibronectina, laminina, α -quitina, β -quitina, α -queratina, β -queratina, queratosulfato, celulosa, perlecan, agrin, mesoglea, soja de fibra de queratina (KFS), fibra de pluma de pollo (CFF) y/o polisacáridos, y existen dentro de una matriz que puede incluir resina de aceite de soja epoxidado con acrilato (AESO), geles de polisacáridos, agua, glicosaminoglicanos (GAG) y/o proteoglicanos.

20 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método de fabricación de estas proyecciones de las palas del rotor, en donde el material fibroso es de base biológica, y contiene un mayor porcentaje de fibras de tipo elastina que fibras de tipo colágeno y/o un mayor porcentaje de matriz que de fibras.

25 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método de fabricación de estas proyecciones de palas de rotor, en donde el material fibroso es de base no biológica, y puede incluir fibras de vidrio, fibras de plástico, y/o fibras de carbono, y existe dentro de una matriz que puede incluir silicona, resina epoxi, y/o resina de poliéster.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método de fabricación de estas proyecciones de palas de rotor, en donde el material fibroso es de base no biológica, y contiene un mayor porcentaje de matriz que de fibras.

30 De acuerdo con otra modalidad de esta invención, se proporciona un método de fabricación de estas proyecciones de palas de rotor, en donde estas proyecciones pueden imprimirse mediante el uso de una impresora 3D, y más específicamente una impresora 3D de múltiples materiales.

35 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método de fabricación de estas proyecciones de palas de rotor, en donde el método puede incluir tecnología preimpregnada, pultrusión, colocación automatizada de fibras (AFP) y/o moldeo por inyección.

40 De acuerdo con otra modalidad de esta invención, puede llevarse a cabo cualquier método de aplicación de las proyecciones de las palas del rotor al cuerpo aerodinámico de las palas del rotor, y puede aplicarse a una turbina eólica existente y/o una turbina eólica durante su fabricación.

De acuerdo con una modalidad final, la invención puede aplicarse a un perfil aerodinámico arbitrario, sin depender del diseño aerodinámico del mismo.

45 Breve descripción de los dibujos

Una descripción completa y realizable de la presente invención, que incluye el mejor modo de la misma, para un experto en la técnica, se expone más particularmente en el resto de la descripción, que incluye la referencia a las figuras adjuntas en donde:

50 La Figura 1, es una vista en elevación lateral de una turbina eólica de eje horizontal, de acuerdo con la técnica anterior;

55 La Figura 2 es una vista en perspectiva frontal de una de las palas del rotor de la turbina eólica de la Figura 1, de manera aislada;

La Figura 3 es una vista en perspectiva frontal de una estructura de acuerdo con una modalidad de la invención, de manera aislada;

60 La Figura 4 es una vista en perspectiva en sección transversal del borde trasero de una estructura que tiene varias proyecciones del borde trasero;

La Figura 5A es una vista en perspectiva en sección transversal del borde trasero de una estructura que tiene varias proyecciones del borde trasero;

65 La Figura 5B es una vista en perspectiva en sección transversal del borde trasero de una estructura que tiene varias proyecciones del borde trasero;

La Figura 6 es una vista en perspectiva en sección transversal del borde trasero de una estructura que tiene varias proyecciones del borde delantero;

5 La Figura 7 ilustra una vista en planta superior del borde trasero de una estructura que muestra varias proyecciones y sus longitudes respectivas;

La Figura 8 ilustra una vista en elevación lateral de una onda de sonido emitida desde una proyección del borde trasero de una estructura, que incluye la interferencia destructiva de la onda de sonido; y

10 La Figura 9 ilustra dos vistas en elevación laterales de ondas de sonido respectivas de frecuencia variable dentro del intervalo de las emitidas desde el borde trasero de una estructura tal como la pala de rotor de una turbina eólica.

Descripción detallada

15 Ahora se hará referencia en detalle a las diversas modalidades de la invención, de las cuales uno o más ejemplos se ilustran en las figuras. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención y no pretende ser una limitación de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una modalidad pueden usarse sobre o junto con otras modalidades para dar aún una modalidad adicional. Se pretende que la presente invención incluya tales modificaciones y variaciones.

20 La presente solicitud de patente incluye la descripción de oportunidades para mejorar los aspectos tradicionales de una configuración de pala para una turbina eólica. La presente solicitud de patente brinda una configuración de pala con proyecciones únicas de inspiración biológica que se pueden adaptar cómodamente sobre la porción de la pala según se desee, y que crean interferencia destructiva para que disminuyan las ondas de sonido emitidas, aumentando así la eficiencia total de la turbina eólica.

25 La Figura 1 es una vista en elevación lateral de una turbina eólica de eje horizontal 10, de acuerdo con la técnica anterior. La turbina eólica 10 incluye una torre 100 soportada por y que se extiende desde una superficie S, tal como una superficie del suelo. Soportada por la torre 100, a su vez, está una góndola 200 que se extiende horizontalmente. Un cubo con un molinete 300 se monta de manera giratoria en un extremo delantero de la góndola 200 y puede girar con respecto a la góndola 200 sobre un eje de rotación R. El molinete 300 recibe y soporta múltiples palas de rotor 400 que se extienden cada una hacia fuera desde el molinete 300. Las palas del rotor 400 atrapan el viento incidente W_j que fluye hacia la turbina eólica 10 y provocan que gire. Debido a que se soportan por el molinete 300, las palas del rotor 400 al girar hacen que el molinete 300 gire sobre el eje de rotación R, provocando de esta manera el movimiento rotacional que puede convertirse de una manera bien conocida en potencia eléctrica o mecánica que puede usarse. En este sentido, las palas del rotor 400 son cada una, estructuras adaptadas para atravesar un entorno de fluidos, donde el fluido en esta modalidad es el aire ambiente. La góndola 200 puede montarse de forma giratoria en la torre 100 de manera que la góndola 200 pueda girar sobre un eje sustancialmente vertical (no mostrado) con respecto a la torre 100, para permitir de esta manera que las palas del rotor 400 se orienten de manera adaptativa hacia la dirección desde la cual el viento incidente W_j se acerca a la turbina eólica 10. Un cono de nariz 500 de generalmente una forma paraboloidal uniforme se muestra montado en un extremo frontal del molinete 300 para desviar el viento incidente W_j lejos del molinete 300.

30 La Figura 2 es una vista en perspectiva frontal de una de las palas del rotor 400 de manera aislada. La pala del rotor 400 incluye un cuerpo alargado que se extiende desde una raíz 410 a través de una sección principal 412 para terminar en una punta de ala 414. La raíz 410 se extiende desde la góndola 200 cuando se une a la misma o se integra con ella, mientras que la punta de ala 414 es la porción del cuerpo alargado que es distal a la góndola 200. El cuerpo alargado tiene un borde delantero 420 y un borde trasero 430, donde el borde delantero 420 conduce el borde trasero 430 cuando la pala del rotor 400 está en movimiento girando con la góndola 200 alrededor del eje de rotación R en la dirección D. Un lado de succión 440 del cuerpo alargado se muestra en la Figura 2, y un lado de presión 450, mostrado en líneas de puntos, es opuesto al cuerpo alargado desde el lado de succión 440.

35 La Figura 3 es una vista en perspectiva frontal de una estructura 400A de acuerdo con una modalidad de la invención, de manera aislada. Una vista en perspectiva detallada de la estructura 400A define un cuerpo aerodinámico que tiene un lado de presión 440, un lado de succión 450, un borde delantero 420, un borde trasero 430 y una punta de ala 414, el cuerpo de la pala que comprende además una aplicación en el intervalo del 40-96 % 139 de la pala del rotor, donde la raíz de la pala del rotor representa el 0 % 140 y la punta de la pala representa el 100 % 141. Dos regiones delineadas en el borde delantero 145 y el borde trasero 150 muestran las posibles áreas de unión para las proyecciones.

40 La Figura 4 ilustra una vista en corte en perspectiva del borde trasero 150 de una pala de rotor de turbina eólica que muestra varias proyecciones flexibles o rígidas de arquitectura lineal 151 o curvilínea 152 como ejemplo. Las proyecciones curvilíneas 152 están en la línea del área de línea de corriente de flujo local definida para esa proyección y la longitud de cada una de la pluralidad de proyecciones es aproximadamente paralela a una línea de corriente de flujo local definida para esa proyección. La línea de corriente de flujo local 153 se muestra respectiva a

la proyección lineal 151. Las proyecciones pueden denominarse como un peine, cepillo, borde dentado, ranuras, estrías o fimbrias y pueden aplicarse a través de una variedad de métodos. Las proyecciones tienen una longitud y ancho que disminuyen generalmente moviéndose hacia la punta de la pala 154.

5 La Figura 5A ilustra otra vista en corte en perspectiva del borde trasero 150 de una pala de rotor de turbina eólica que muestra varias proyecciones 152b que son de mayor área superficial que las de la Figura 4. Las proyecciones 152b pueden formarse integralmente con el cuerpo de la pala en el borde trasero 137 durante la fabricación de manera que las proyecciones 152b y el cuerpo del borde trasero 137 son una estructura unitaria, o pueden ser
10 alternativamente elementos aplicados después de la formación del cuerpo de la pala 137 para mejorar la operación de la turbina eólica. En tal construcción alternativa, es importante que el flujo del viento a lo largo de la superficie frontal de la pala se interrumpa lo menos posible debido a las costuras/discontinuidades entre las proyecciones 152b y el cuerpo de la pala 137 en el punto 150.

15 La Figura 5B ilustra aún otra vista en corte en perspectiva del borde trasero 150 de una pala de rotor de turbina eólica que muestra varias proyecciones de ejemplo, tal como el cepillo 152c y el borde dentado 152d unido al cuerpo de la pala 137. El cepillo 152c puede parecerse preferencialmente a la pluralidad de proyecciones que se extienden desde el borde trasero del ala del búho. Estas proyecciones son un ensamble andrajoso de plumas de varias longitudes y tamaños. Las proyecciones que se extienden desde el borde trasero de la pala pueden ser individualmente de cualquier longitud en relación con su diámetro, y pueden tener cualquier grosor en relación con
20 su longitud, de manera que la acción resultante es beneficiosa para una disminución de las emisiones de ruido y/o un aumento en la eficiencia para la unidad de turbina eólica como un todo.

La Figura 6 ilustra una vista en corte en perspectiva del borde delantero 145 de una pala de rotor de turbina eólica 130 que muestra varias proyecciones 155. Estas proyecciones sirven para romper la turbulencia en el viento
25 incidente sobre el borde delantero 145 en agrupaciones más pequeñas de microturbulencias, reduciendo de esta manera la cantidad total de emisiones de ruido de la turbina eólica, y aumentando la eficiencia de la turbina eólica en su conjunto. Las proyecciones que se extienden desde el borde delantero de la pala deben ser ahusadas y deben separarse por al menos su diámetro y/o ancho respectivo 156, de manera que la acción resultante sea beneficiosa para una disminución de las emisiones de ruido y/o un aumento de la eficiencia para la unidad de turbina eólica en su conjunto. Las proyecciones 155 en el borde delantero son diferentes a las proyecciones en el borde trasero, y pueden ser más grandes en comparación con las de la Figura 5, y pueden aplicarse solo al borde trasero o solo al
30 borde delantero. Las proyecciones 155 disminuyen en área superficial hacia la región de la punta del ala 138, de manera que la proyección 155a es mayor que 155b. Como puede verse en estas proyecciones, pueden tener una naturaleza bulbosa.

35 Las razones técnicas para variar las longitudes de las proyecciones vecinas en varias cantidades se explican más abajo con referencia a las Figuras 7 a la 9. Estas distancias se basan en las longitudes de onda de las ondas de sonido producidas en diferentes regiones de la pala del rotor, que a su vez se basan en la velocidad del fluido en ese punto. La Figura 7 ilustra una vista desde arriba hacia abajo del borde trasero 150 de una pala de rotor de turbina eólica que muestra varias proyecciones 151b y sus respectivas longitudes. Estas proyecciones del borde trasero alternan en longitud y ancho y no son uniformes en la dispersión, como puede verse en las proyecciones en 151b a 151c. La diferencia en la longitud 151d de las proyecciones vecinas se basa en la distancia de la longitud de onda de la onda de sonido a minimizar.

45 La Figura 8 ilustra el razonamiento adicional de esta distancia, que es 1/2 de la longitud de onda de la onda de sonido a minimizar. Aquí, puede verse una vista lateral de una onda de sonido 160 emitida desde una proyección de borde trasero 151b de una pala de rotor de turbina eólica de esta invención, que muestra un método de interferencia destructiva de la onda de sonido. De acuerdo con una modalidad de esta invención, las longitudes no uniformes 151b, 151d se basan en las ondas de sonido 160, 161 que emanan de las diversas proyecciones durante la
50 operación de la turbina eólica.

La Figura 8 ilustra además la interferencia destructiva, y la onda de sonido resultante 162 cuando ocurre este fenómeno. La Figura 9 ilustra además una vista lateral de dos ondas de sonido 160a, 160b de diferentes frecuencias dentro del intervalo de esas emitidas desde el borde trasero de una pala de rotor de turbina eólica operacional. Las
55 longitudes de onda de las ondas de sonido emitidas disminuyen a medida que uno se acerca a la punta de la pala, y por lo tanto se requieren proyecciones de longitudes variables. Aquí, esto se ilustra en que la longitud de onda 160a es mayor que 160b, y por lo tanto se emitiría más cerca de la punta. Estas proyecciones pueden componerse de materiales de base biológica o no biológica, donde se hacen de materiales con un coeficiente de expansión térmica lineal (CLTE) entre $1,0 \times 10^{-4}$ m/m °C y $7,0 \times 10^{-4}$ m/m °C, y con mayor preferencia $5,87 \times 10^{-4}$ m/m °C. Este material puede hacerse de un material fibroso que se incorpora dentro de una matriz. Donde el material fibroso es de base biológica, puede incluir colágeno, elastina, fibronectina, laminina, α -quitina, β -quitina, α -queratina, β -queratina, queratosulfato, celulosa, perlecan, agrin, mesoglea, soja de fibra de queratina (KFS), fibra de pluma de pollo (CFF) y/o polisacáridos, y existen en una matriz que puede incluir resina de aceite de soja epoxidado con acrilato (AESO), geles de polisacáridos, agua, glicosaminoglicanos (GAG) y/o proteoglicanos. Donde el material fibroso no es de base biológica, y puede incluir fibras de vidrio, fibras de plástico y/o fibras de carbono, y existe en una matriz que puede incluir silicona, resina epoxi, y/o resina de poliéster. Además, donde las fibras son de base biológica, puede
65

haber un mayor porcentaje de fibras de tipo elastina que de fibras de tipo colágeno y/o un mayor porcentaje de matriz que de fibras. Donde las fibras no son de base biológica, puede haber un mayor porcentaje de matriz que de fibras.

5 Consideraciones teóricas:

10 La longitud de onda (w) de una onda de sonido dada cambia a un mayor grado con temperatura y a un menor grado con elevación. Las ondas de sonido emitidas y recibidas por debajo de los 5000 pies pueden considerarse estándar, y ya que la mayoría de los parques eólicos comerciales están por debajo de esta elevación, las presentes consideraciones considerarán la elevación como de importancia trivial con respecto a la longitud de onda del sonido. La temperatura, sin embargo, tiene un mayor efecto sobre la longitud de onda del sonido, y se representa en el gráfico más abajo. La longitud de onda (w) de una onda de sonido dada se determina por el producto de la velocidad (v) de la onda (que depende de la temperatura del aire) dividido por la frecuencia (f), como en la Ecuación 1 a continuación:

15
$$w = v/f \tag{1}$$

20 Por lo tanto, con la velocidad del sonido que es de alrededor de 340,276 metros por segundo (m/s) a 15°C y por debajo de una altitud de 5000 pies, la longitud de onda de una onda de sonido de 1000 Hertz (Hz) es de unos 34 centímetros (cm), como se muestra en la Ecuación 2 a continuación:

25
$$w = 340,276 \text{ m/s} / 1000 \text{ hz} = 34,028 \text{ cm} \tag{2}$$

30 El sonido emitido desde las palas del rotor de la turbina eólica varía con respecto a la posición del perfil aerodinámico sobre el que pasa la línea de corriente de flujo, respecto al eje de rotación, con áreas más alejadas de este eje que experimentan mayores frecuencias con mayores velocidades de flujo local. Esta relación de escala aumenta por la quinta potencia (U5) de la velocidad del fluido a la intensidad del ruido. Las frecuencias en y alrededor de 1 Khz se han descrito por los oyentes como que suenan como un ruido de 'silbido', con las de 2 Khz que suenan como un ruido de 'zumbido' y las de 20 Khz (el límite de audición humano) que suenan como un ruido 'resonante' perforador del aire. Las frecuencias emitidas por las palas de rotor de la turbina eólica que generalmente caen en el intervalo de frecuencia de 1 - 20 Khz son el foco principal de esta invención. Como se muestra en la Tabla 1 más abajo, también podemos ver que la longitud de onda de cambio aumenta en el orden de cuarenta (40) micrómetros (µm). El cambio promedio de longitud de onda con respecto a la temperatura se determinó que era 0,0587 cm. Por lo tanto, un material ideal para esta aplicación tendría un coeficiente de expansión térmica lineal (CLTE) de $\alpha = 5,87 \times 10^{-4} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$.

Tabla 1

Temperatura (°C)	Velocidad del sonido (m/s)	Longitud de onda (cm) @ 1Khz	Cambio en (w) entre este y el siguiente (w)
40°C	354,730 m/s	35,473 cm	0,057 cm
39°C	354,163 m/s	35,416 cm	0,056 cm
38°C	353,596 m/s	35,360 cm	0,059 cm
37°C	353,027 m/s	35,301 cm	0,055 cm
36°C	352,457 m/s	35,246 cm	0,057 cm
35°C	351,887 m/s	35,189 cm	0,058 cm
34°C	351,316 m/s	35,131 cm	0,057 cm
33°C	350,743 m/s	35,074 cm	0,057 cm
32°C	350,17 m/s	35,017 cm	0,057 cm
31°C	349,596 m/s	34,960 cm	0,058 cm

ES 2 848 858 T3

(continuación)

30°C	349,02 m/s	34,902 cm	0,058 cm
29°C	348,444 m/s	34,844 cm	0,057 cm
28°C	347,867 m/s	34,787 cm	0,058 cm
27°C	347,289 m/s	34,729 cm	0,058 cm
26°C	346,710 m/s	34,671 cm	0,058 cm
25°C	346,13 m/s	34,613 cm	0,058 cm
24°C	345,549 m/s	34,555 cm	0,058 cm
23°C	344,967 m/s	34,497 cm	0,059
22°C	344,384 m/s	34,438 cm	0,058 cm
21°C	343,801 m/s	34,380 cm	0,058 cm
20°C	343,216 m/s	34,322 cm	0,059 cm
19°C	342,63 m/s	34,263 cm	0,059 cm
18°C	342,043 m/s	34,204 cm	0,058 cm
17°C	341,455 m/s	34,146 cm	0,059 cm
16°C	340,866 m/s	34,087 cm	0,059 cm
15°C	340,276 m/s	34,028 cm	0,061 cm
14°C	339,685 m/s	33,967 cm	0,058 cm
13°C	339,093 m/s	33,909 cm	0,059 cm
12°C	338,50 m/s	33,850 cm	0,059 cm
11°C	337,906 m/s	33,791 cm	0,060 cm
10°C	337,311 m/s	33,731 cm	0,059 cm
9°C	336,715 m/s	33,672 cm	0,060 cm
8°C	336,118 m/s	33,612 cm	0,060 cm
7°C	335,519 m/s	33,552 cm	0,060 cm

(continuación)

5	6°C	334,920 m/s	33,492 cm	0,060 cm
	5°C	334,319 m/s	33,432 cm	0,060 cm
	4°C	333,718 m/s	33,372 cm	0,060 cm
10	3°C	333,115 m/s	33,312 cm	0,061 cm
	2°C	332,512 m/s	33,251 cm	0,060 cm
15	1°C	331,907 m/s	33,191 cm	0,061 cm
	0°C	331,301 m/s	33,130 cm	0,061 cm
20	-1°C	330,694 m/s	33,069 cm	0,060 cm
	-2°C	330,086 m/s	33,009 cm	0,061 cm
25	-3°C	329,477 m/s	32,948 cm	Promedio: 0,0587 cm

30

Como se indicó anteriormente, el CLTE preferido es $\alpha = 5,87 \times 10^{-4}$ m/m °C. Esto puede derivarse además de la ecuación de expansión lineal de materiales, como se muestra en la Ecuación 3 a continuación:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot (T - T_0) \quad (3)$$

donde:

ΔL es el aumento de longitud;

α es el coeficiente de expansión lineal;

40 L_0 es la longitud original;

T_0 es la temperatura original; y

T es la temperatura a la que se calienta.

45 Las leyes de escala teórica para el ruido del borde trasero se han establecido durante algún tiempo. Por ejemplo, la intensidad del ruido para el flujo de aire a baja velocidad ($> \text{Mach } 0,3$) tiene la relación verificada experimentalmente, como se muestra en la Ecuación 4 a continuación:

$$\langle p^2 \rangle \propto \frac{\rho_0^2}{c_0} \frac{U^5 L \delta}{r^2} D \quad (4)$$

55 donde:

p^2 es la intensidad de la presión sonora observada a una distancia r desde el borde trasero;

ρ_0 es la densidad del fluido;

c_0 es la velocidad del sonido;

U es la velocidad del fluido en las proximidades del borde;

60 L es la extensión del flujo en el tramo (la longitud de la sección de la pala, por ejemplo);

δ es una medida del grosor de la capa límite en el borde; y

D es una función de directividad que es una función del ángulo del observador al borde.

65 Como puede verse, el escalado de la intensidad del ruido a la quinta potencia (U^5) destaca el papel del ruido aerodinámico como una restricción de diseño para las turbinas eólicas. La velocidad local sobre una sección de pala

en el radio R es $U \sim \Omega R$, donde Ω es la velocidad rotacional del rotor. Esta velocidad puede ser hasta 320 km/h en la punta. Dada la relación de escalada U^5 , un aumento del 15 % en la velocidad rotacional aumentaría por lo tanto el ruido en aproximadamente 3 dB. Por el contrario, una reducción de 3 dB en el ruido aerodinámico a través de cambios de diseño permitiría un aumento del 15 % en la velocidad de rotación de la turbina. Cuando se combina con las mejoras de diseño estructural de la pala, este aumento en la velocidad de rotación puede reducir las cargas del sistema y habilitar palas de rotor y trenes de transmisión más baratos y ligeros.

Las configuraciones descritas anteriormente de estructuras para atravesar un entorno de fluidos pueden ser aplicables en combinación con una o más de las configuraciones descritas en la solicitud de patente copendiente PCT núm. PCT/CA2015//050740 de Ryan Church, presentada en la misma fecha, titulada "STRUCTURE WITH RIGID WINGLET ADAPTED TO TRAVERSE A FLUID ENVIRONMENT", o en la solicitud de patente copendiente PCT núm. PCT/CA2015/050739 de Ryan Church, presentada en la misma fecha, titulada "FLUID- REDIRECTING STRUCTURE".

Además, las configuraciones descritas anteriormente de la pala del rotor de una turbina eólica de eje horizontal también pueden aplicarse a turbinas eólicas de eje vertical, y ambas de cualquier escala. Tales mejoras pueden aplicarse igualmente bien a cualquier perfil aerodinámico arbitrario, que no depende de su diseño aerodinámico, mutatis mutandis, con tales mutaciones que son relevantes, que incluyen, pero no se limitan a, dispositivos de energía eólica de gran altitud (HAWP), turbinas eólicas cometas, cometas de energía, turbinas eólicas urbanas, alas de avión, planeadores, drones y otras cosas. La invención o invenciones descritas en la presente descripción pueden aplicarse a turbinas eólicas que tienen menos o más palas que las descritas a modo de ejemplo para incrementar la eficiencia operacional y las capacidades de reducción de ruido de una turbina eólica, para disminuir vibraciones, cargas, costos de mantenimiento y desgaste mecánico, y para aumentar la escalabilidad y comerciabilidad de tales turbinas eólicas.

Como para turbinas eólicas urbanas, tales dispositivos podrían todos beneficiarse de tener proyecciones del borde trasero y delantero en su perfil aerodinámico. Para dispositivos de tipo 'tornillo', (<http://inhabitat.com/eddy-gt-wind-turbine-is-sleek-silent-and-designed-for-the-city/>) se colocarían en ambos bordes delantero y trasero.

Algunas modalidades pueden haberse descrito con referencia a las reivindicaciones del tipo de método mientras que otras modalidades pueden haberse descrito con referencia a las reivindicaciones del tipo de aparato. Sin embargo, un experto en la técnica encontrará a partir de la descripción anterior y siguiente que, a menos que se notifique lo contrario, además de cualquier combinación de características que pertenecen a un tipo de tema también cualquier combinación entre características relacionadas con diferentes temas, en particular entre características de las reivindicaciones del tipo de método y características de las reivindicaciones del tipo de aparato se considera que se describen con este documento.

Los aspectos definidos anteriormente y aspectos adicionales son evidentes a partir de los ejemplos de la modalidad a describir a continuación y se explican con referencia a los ejemplos de la modalidad.

Otros aspectos pueden ser evidentes para el lector experto tras la revisión de lo siguiente.

Aunque se han descrito modalidades con referencia a los dibujos, los expertos en la técnica apreciarán que pueden realizarse variaciones y modificaciones sin apartarse del espíritu y alcance de estos como se define por las reivindicaciones adjuntas.

Las configuraciones de pala de rotor descritas anteriormente para una turbina eólica de eje horizontal también pueden aplicarse a una o más palas del rotor que pueden usarse para turbinas eólicas de eje vertical, y ambas de cualquier escala, o una o más palas de rotor que pueden usarse para turbinas de presa eléctrica, turbinas de gas, turbinas mareomotrices o turbinas de energía eólica aérea o en otros tipos de turbinas que lidian con flujo de fluido ya sea de gas o de líquido.

Las configuraciones de las palas del rotor descritas anteriormente pueden emplearse alternativamente en aeronaves como aviones comerciales, aeronaves de reacción militares, palas de helicóptero, alas de helicóptero, aviones civiles, drones, y otras aeronaves similares. La invención o invenciones descritas en la presente descripción pueden aplicarse a turbinas eólicas que tienen menos o más palas que las descritas a modo de ejemplo para incrementar la eficiencia operacional de una turbina eólica, para disminuir los costos de mantenimiento, y para aumentar la escalabilidad y comerciabilidad de tales turbinas eólicas.

Se observa que los aviones comerciales, aviones civiles, drones, alas de helicópteros tendrían una aleta de relación de tamaño similar a las de los aviones comerciales modernos, con una arquitectura que se dobla hacia atrás más allá de la línea del borde trasero.

Una estructura como se describe en la presente descripción puede contener proyecciones en miniatura que reducen las fuerzas de impacto de la lluvia y la nieve, limitando así la erosión y el fallo de la pala.

Además, una estructura tal como la que se describe en la presente descripción puede proporcionarse con un tratamiento de superficie tal como una serie de hoyuelos y/o una serie de patrones hexagonales y/o una serie de canales o ranuras, todos los cuales pueden hundirse en la superficie o elevarse por encima de la superficie de la aleta, tal como se describe en la solicitud PCT copendiente mencionada anteriormente de Ryan Church titulada "STRUCTURE WITH RIGID WINGLET ADAPTED TO TRAVERSE A FLUID ENVIRONMENT".

Las estructuras tales como las descritas en la presente descripción pueden aplicarse igualmente bien, mutatis mutandis, con tales mutaciones que son relevantes, que incluyen, pero no se limitan a, aviones comerciales, aeronaves de reacción militares, palas de helicóptero, alas de helicóptero, aviones civiles, naves espaciales, drones, y otras cosas.

Además, las estructuras descritas en la presente descripción pueden usarse en otros entornos de fluidos además del aire ambiente, tales como entornos acuáticos, entornos petroleros, etcétera.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una turbina eólica de eje vertical.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una turbina de presa hidroeléctrica.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una turbina de gas.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una turbina mareomotriz.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una turbina de energía eólica aérea.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a un avión comercial.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una aeronave de reacción militar y a una nave espacial.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a una pala de helicóptero.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a un ala de helicóptero.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a alas de aviones civiles.

La estructura adaptada para atravesar un entorno de fluidos puede aplicarse a alas de un dron.

La estructura descrita en la presente descripción puede formarse por varios métodos, que incluyen el uso de impresión 3D para las proyecciones, o la fabricación de las proyecciones es con tecnología preimpregnada, pultrusión, colocación automatizada de fibras (AFP), y/o moldeo por inyección.

REIVINDICACIONES

1. Una pala de rotor de turbina (400) para reducir el ruido a una frecuencia de sonido objetivo, la pala de rotor de turbina que comprende:

5 un borde delantero (145)
un borde trasero (137);
un primer y un segundo conjunto de proyecciones (155) que se extienden desde el borde trasero (137), cada proyección de la pluralidad de proyecciones que tiene una longitud (15);
10 caracterizado porque:
las proyecciones (155) del primer conjunto y el segundo conjunto de proyecciones son proyecciones discretas que se alternan entre sí y que se extienden a lo largo del borde trasero (137); y
las longitudes de las proyecciones adyacentes (155) que se extienden desde el borde trasero difieren entre sí con base al menos en una distancia de longitud de onda de la frecuencia de sonido objetivo.
2. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las longitudes de las proyecciones adyacentes (155) del primer conjunto y el segundo conjunto difieren entre sí en aproximadamente la mitad de la distancia de longitud de onda de la frecuencia de sonido, las proyecciones (155) del primer conjunto y las proyecciones del segundo conjunto que interactúan con el flujo de aire incidente en el borde trasero (137) para provocar la interferencia destructiva de las ondas de sonido generadas desde el borde delantero (145) que interactúa con el flujo de aire incidente.
3. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en donde el primer conjunto de proyecciones (155) y el segundo conjunto de proyecciones comprenden materiales con un coeficiente de expansión térmica lineal entre $1,0 \times 10^{-4}$ m/m °C y $7,0 \times 10^{-4}$ m/m °C, y con mayor preferencia $5,87 \times 10^{-4}$ m/m °C.
4. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que comprende, además:

30 un tercer conjunto de proyecciones (155) que se extienden desde el borde delantero (145), las proyecciones del tercer conjunto de proyecciones que incluyen proyecciones bulbosas que tienen cada una un área superficial;
en donde el área superficial de cada proyección bulbosa se basa al menos en una posición relativa al borde delantero sobre el que se extiende la proyección bulbosa; y
35 en donde el área superficial de cada proyección bulbosa es inversamente proporcional a una distancia desde un extremo del cubo de la pala de rotor de turbina (400).
5. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la geometría de las proyecciones del tercer conjunto de proyecciones (155) juntas forman una geometría de onda continua para recibir el flujo incidente.
6. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde un área superficial combinada del tercer conjunto de proyecciones es mayor que un área superficial combinada del primer y el segundo conjunto de proyecciones.
7. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde la frecuencia de sonido objetivo se determina con base en una temperatura promedio para el funcionamiento de la pala de rotor de turbina (400).
8. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde el primer conjunto de proyecciones y el segundo conjunto de proyecciones son proyecciones curvilíneas cuya dirección arqueada está alineada con una dirección de rotación del rotor de la turbina (400).
9. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde las longitudes del primer conjunto de proyecciones y del segundo conjunto de proyecciones disminuyen progresivamente de manera proporcional a la posición de las proyecciones a lo largo del borde trasero con respecto a la posición de la raíz de la pala de rotor (400).
10. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde el primer conjunto de proyecciones y el segundo conjunto de proyecciones se disponen aproximadamente en el 40 % y el 96 % del borde trasero, donde la raíz de la pala de rotor (400) representa el 0 % y la punta de ala representa el 100 %.

65

ES 2 848 858 T3

11. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el tercer conjunto de proyecciones se adapta para romper la turbulencia del flujo incidente en grupos más pequeños de microturbulencias.
- 5 12. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde el primer conjunto de proyecciones y el segundo conjunto de proyecciones se hacen de materiales fibrosos incorporados dentro de una matriz.
- 10 13. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 12, en donde los materiales fibrosos incluyen al menos uno de colágeno, elastina, fibronectina, laminina, α -quitina, β -quitina, α -queratina, β -queratina, queratosulfato, celulosa, perlecan, agrin, mesoglea, soja de fibra de queratina (KFS), fibra de pluma de pollo (CFF) o polisacáridos.
- 15 14. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la matriz incluye al menos uno de resina de aceite de soja epoxidado con acrilato (AESO), geles de polisacáridos, agua, glicosaminoglicanos (GAG) o proteoglicanos.
- 20 15. La pala de rotor de turbina (400) de acuerdo con la reivindicación 12, en donde hay un mayor porcentaje de la matriz que de los materiales fibrosos, o en donde hay un mayor porcentaje de los materiales fibrosos que de la matriz.

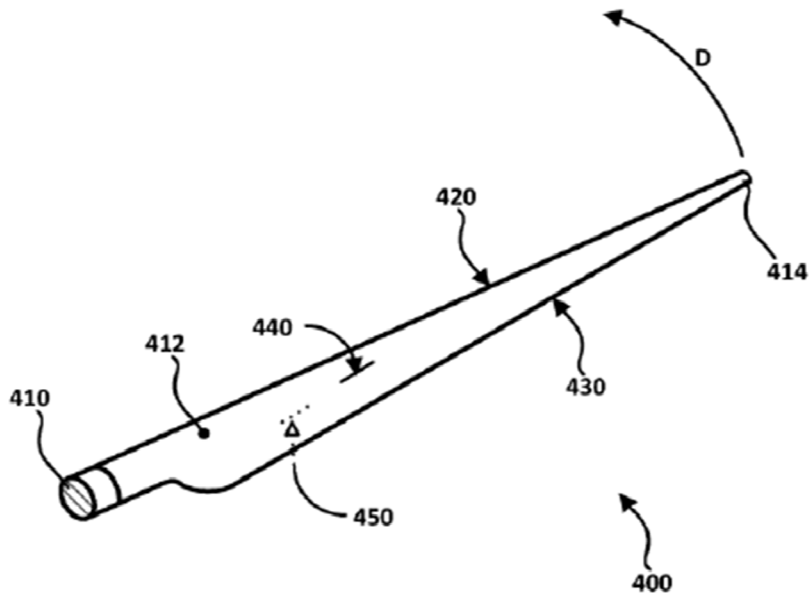


Figura 2
(Técnica anterior)

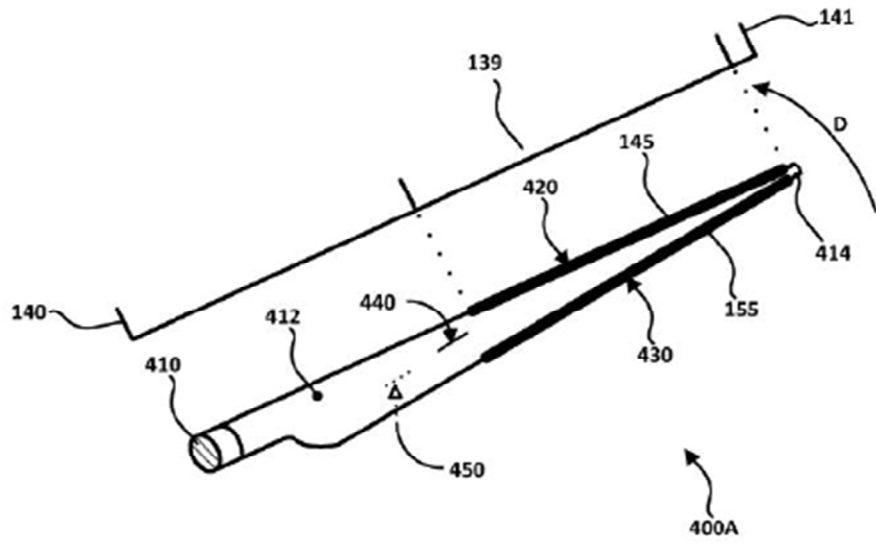


Figura 3

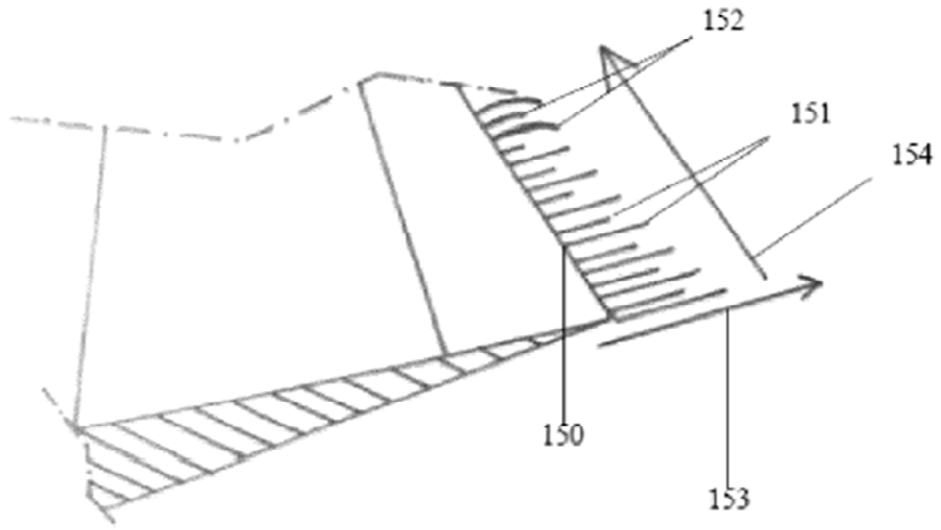


Figura 4

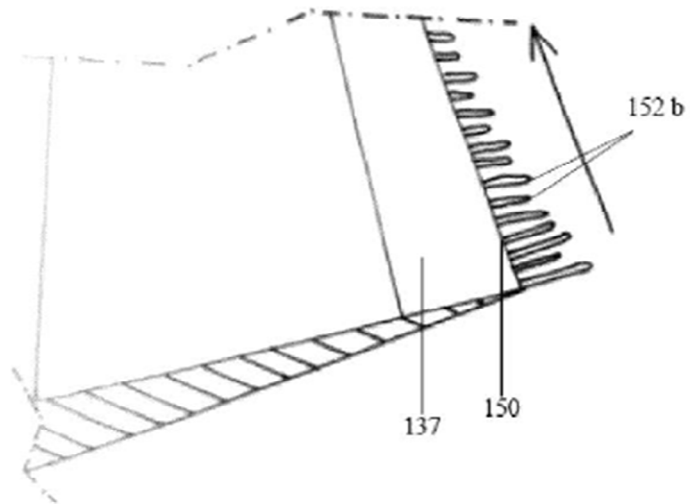


Figura 5A

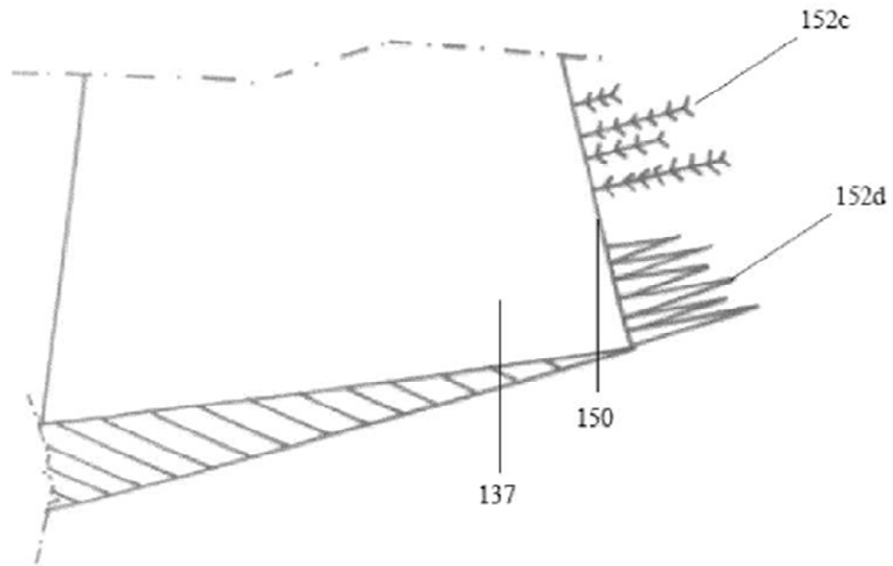


Figura 5B

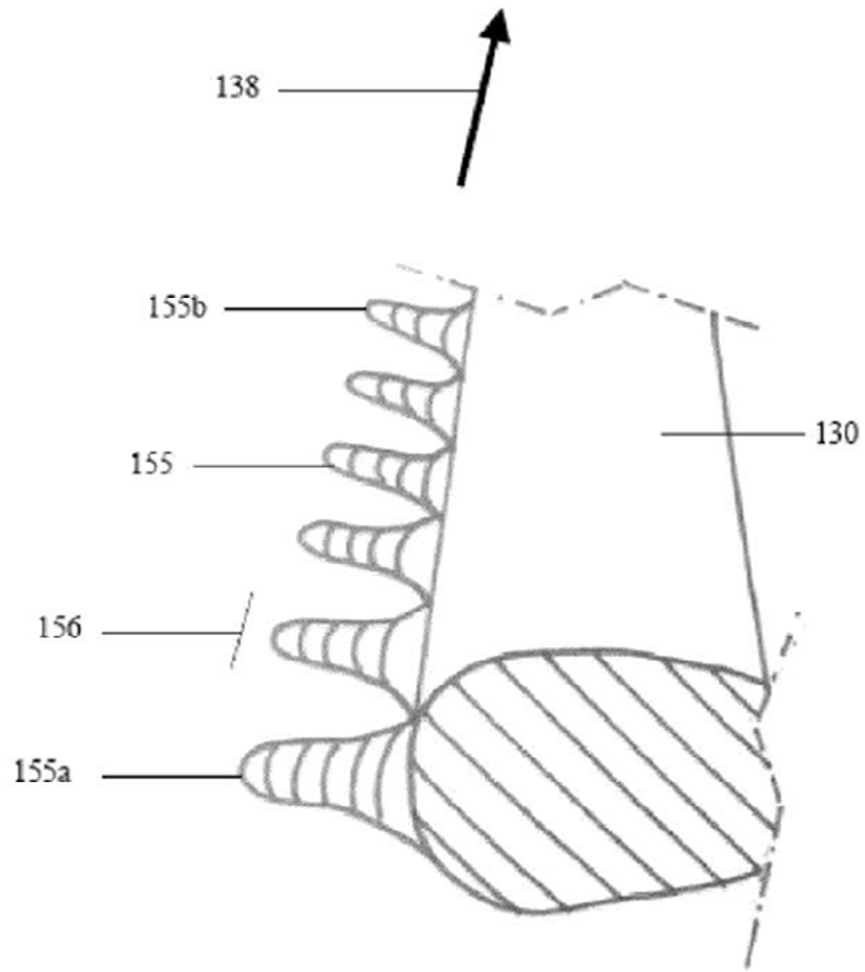


Figura 6

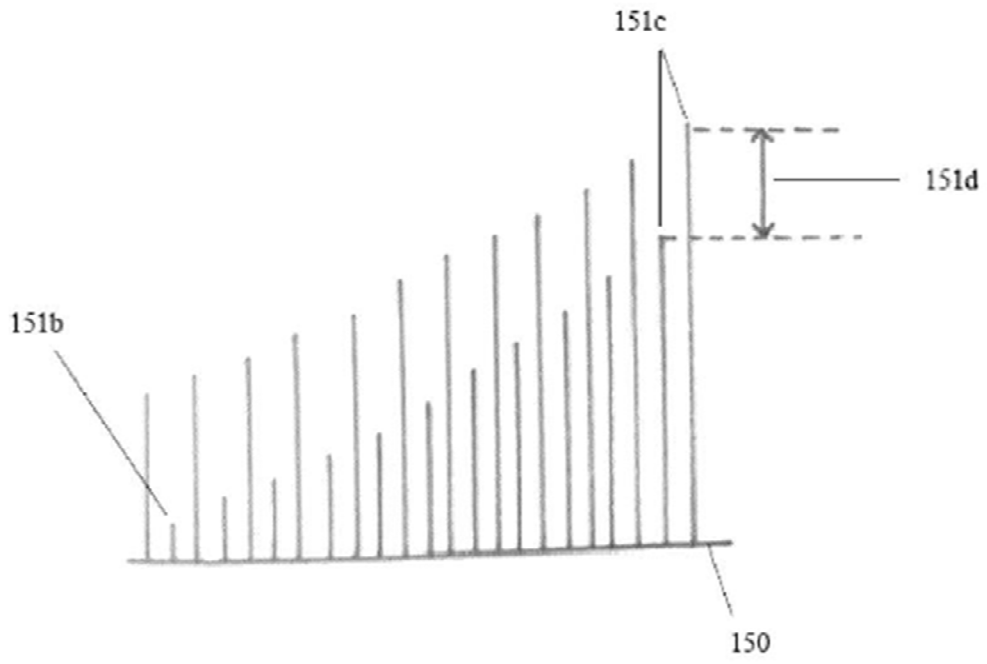


Figura 7

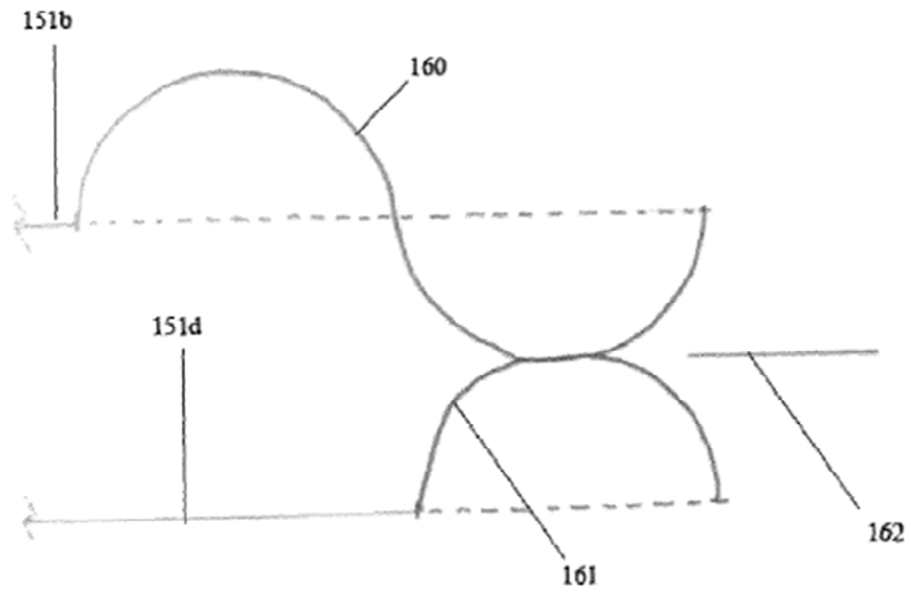


Figura 8

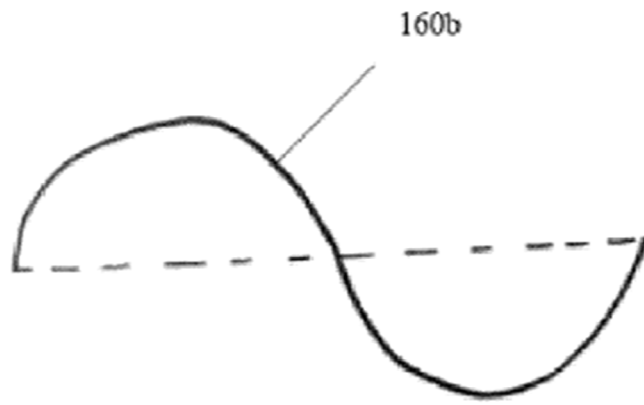
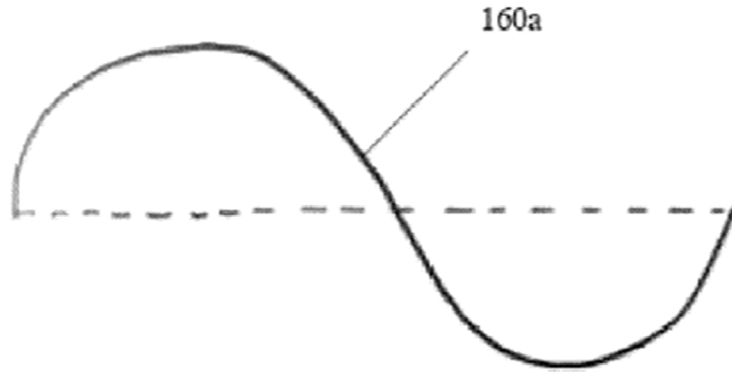


Figura 9