

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 483**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2012 PCT/EP2012/072769**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2013 WO13076009**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2012 E 12787006 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2783103**

54 Título: **Pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

**23.11.2011 EP 11190375**

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

**04.07.2017**

73 Titular/es:

**LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)  
Jupitervej 6  
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**SINGH, ASHISH**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 621 483 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 turbina eólica

Campo de la invención

La presente invención se refiere a una pala de turbina eólica que tiene características de reducción del ruido.

5 Antecedentes de la invención

Una de las consideraciones primarias en el diseño y funcionamiento de turbinas eólicas se refiere a los niveles de ruido producidos durante el funcionamiento de la turbina eólica. Particularmente en el caso de turbinas eólicas terrestres que puedan localizarse próximas a áreas habitadas, el ruido procedente de la turbina eólica puede ser un factor limitativo cuando se consideran posibles localizaciones de turbinas eólicas. En consecuencia, es de interés proporcionar diseños de turbina eólica que tengan una producción de ruido reducida durante el funcionamiento.

Una gran parte del ruido producido durante el funcionamiento de la turbina eólica se debe a la turbulencia formada en el borde de salida de la pala de la turbina eólica, dado que un flujo de aire del lado de succión más rápido se une con un flujo de aire del lado de presión relativamente más lento. El nivel relativamente alto de energía cinética turbulenta en los flujos de aire combinados da como resultado una dispersión turbulenta del flujo de aire en el borde de salida, lo que produce el ruido de dispersión.

Es conocido proporcionar dentados o púas fijas en el borde de salida de la pala de la turbina eólica para romper con el flujo de aire del borde de salida, amortiguando o reduciendo de ese modo la turbulencia formada en el borde de salida, y en consecuencia los niveles de ruido asociados. Ejemplos de bordes de salida dentados pueden verse en la publicación de Patente de Estados Unidos n.º US 2011/0142666 A1.

20 La publicación de Patente de Estados Unidos n.º US 2011/0142637 A1 divulga un reductor de ruido que incluye una placa base que define una línea base, una pluralidad de características de reducción de ruido que se extienden desde la línea base, y una pluralidad de aberturas definidas en la placa base. Cada abertura se posiciona sobre un lado opuesto de la línea base desde la pluralidad de características de reducción de ruido de modo que la abertura se define completamente en la placa base.

25 La solicitud de Patente Internacional n.º WO 2007/057155 A1 divulga un freno de alerón para un avión. El freno de alerón comprende un borde libre (no usado para el montaje al ala del avión) con dentados o el alerón de freno comprende orificios cerca del borde libre.

30 La solicitud de Patente Internacional n.º WO 2010/063600 A1 divulga un dispositivo que consiste en un generador de vórtice y un acelerador de vórtice para turbinas aéreas e hidráulicas para generación de energía. Una realización muestra dispositivos de succión de la vorticidad inducida en la forma de ranuras triangulares sobre el lado de alta presión de la pala de turbina a lo largo del borde de salida.

Sin embargo dichas características de reducción de ruido no proporcionan una eliminación completa del ruido del borde de salida durante el funcionamiento de la pala.

35 Es un objeto de la invención proporcionar una pala de turbina eólica que tenga características de reducción de ruido mejoradas sobre los diseños de pala conocidos.

Sumario de la invención

40 En consecuencia, se proporciona una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un árbol de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo el rotor un buje, desde el que se extiende la pala de la turbina eólica sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el buje, extendiéndose la pala de la turbina eólica en una dirección longitudinal paralela a un eje longitudinal y teniendo un extremo de punta y un extremo de raíz,

45 comprendiendo la pala de turbina eólica un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre los mismos, generando el contorno perfilado, cuando un flujo de aire incidente impacta sobre el mismo, un empuje ascensional,

en la que la pala de turbina eólica comprende adicionalmente una pluralidad de dentados proporcionados en el borde de salida del contorno, sobresaliendo dichos dentados de manera libre desde dicho borde de salida o

5 extendiéndose libremente desde dicho borde de salida, pudiendo manipularse dicha pluralidad de dentados para reducir el ruido generado durante el funcionamiento de la pala mediante la modulación del flujo de aire en el borde de salida del contorno, comprendiendo cada uno de dicha pluralidad de dentados un cuerpo de dentado sustancialmente triangular que tiene un extremo de base proximal ubicado adyacente a dicho borde de salida y un extremo de punta distal que sobresale alejándose de dicho borde de salida, y bordes laterales de dentado que se extienden entre dicho extremo de base proximal y dicho extremo de punta distal,

en la que se define al menos una abertura pasante en dicho cuerpo de dentado sustancialmente triangular entre dicho extremo de base y dicho extremo de punta.

10 Preferentemente, el cuerpo de dentado comprende una superficie del lado de presión y una superficie del lado de succión, en la que dicha al menos una abertura pasante se extiende desde dicha superficie del lado de presión hasta dicha superficie del lado de succión, en la que dicha al menos una abertura pasante actúa para igualar la presión entre dicha superficie del lado de presión y dicha superficie del lado de succión.

15 Una construcción de este tipo garantiza que tenga lugar una comunicación de presión o de flujo de aire entre los lados de succión y de presión de los dentados. Esta comunicación de presión permite que tenga lugar una igualación de la presión en ambos lados de los dentados. Como resultado, el uso de dentados que tengan aberturas pasantes proporciona varias ventajas:

20 1. La igualación de la presión sobre las superficies del dentado reduce la energía de los vórtices turbulentos que se dispersa desde los bordes de los dentados. Dado que los dentados actúan para reducir el ruido de baja frecuencia en el borde de salida de la pala, esto ayuda a reducir el ruido de alta frecuencia ampliamente generado por los dentados en sí mismos.

25 2. Adicionalmente, la igualación de la presión debido a las aberturas ayuda a reducir las variaciones en las diferencias de presión en ambos lados de los dentados, lo que es la causa principal del aleteo del dentado durante el funcionamiento de la pala. El aleteo del dentado puede conducir a la separación de los dentados con ángulos de ataque moderados a altos. En consecuencia, el uso de aberturas pasantes actúa para incrementar la adherencia de los dentados a la pala.

30 3. Las aberturas en los dentados pueden proporcionar ventajas adicionales mientras se cambia el paso de la pala cuando la turbina está en funcionamiento. El cambio del paso de la pala durante el funcionamiento puede imponer fuerzas dinámicas adicionales sobre los dentados. Esto puede conducir a separación o daños dramáticos en los dentados. Dado que la presencia de aberturas en los dentados relaja la diferencia de presión entre los dos lados, en consecuencia la estabilidad de los dentados se incrementa contra los rápidos cambios en la dinámica de flujo debido al cambio de paso.

35 En un aspecto preferido, los dentados se extienden desde el borde de salida de la pala, en el que las aberturas se definen en esa parte de los dentados que se extiende libremente desde la pala. Por extenderse libremente, se entenderá que esto se refiere a las partes de proyección de los dentados, y no a cualesquiera secciones de una construcción de dentado usada para el montaje o sujeción de los dentados a la pala de la turbina eólica.

Puede proporcionarse una parte de montaje o placa base, a partir de la que sobresalen los dentados, usada dicha parte de montaje o placa base para sujetar dichos dentados a una pala de turbina eólica.

Preferentemente, dicha al menos una abertura pasante se define de modo que el ancho de la abertura sea mayor que o igual a la profundidad de la abertura.

40 La abertura tiene un ancho, que puede medirse a lo largo de la superficie del dentado al que se abre la abertura, y una profundidad, que corresponde a la profundidad local del dentado a través del que se extiende la abertura. Mediante la configuración de la abertura pasante para que sea al menos tan ancha como profunda, se asegura que el diámetro de la abertura es mayor que o igual al grosor del cuerpo de dentado, para asegurar una igualación de presión máxima entre el lado de presión y en el lado de succión de los dentados.

45 Preferentemente, dichos dentados se configuran de modo que dicha al menos una abertura pasante comprende menos de o igual al 25 % del área de una delimitación del cuerpo de dentado.

50 La delimitación del cuerpo de dentado comprende el área proyectada por el dentado que se forma entre el extremo de base, extremo de punta y bordes laterales del dentado. Dado que las aberturas representan menos de o igual a un cuarto del área del perfil proyectado de los dentados, no se compromete en consecuencia la estabilidad estructural del dentado, y no se introduce un ruido de funcionamiento adicional como resultado del uso de aberturas excesivamente grandes. En el caso de un dentado triangular, esto significa que las aberturas pasantes representan menos del 25 % del área triangular.

En una realización, al menos una de dichas aberturas pasantes tiene forma sustancialmente circular. Adicional o alternativamente, al menos una de dichas aberturas pasantes tiene forma sustancialmente ovalada. Adicional o alternativamente, al menos una de dichas aberturas pasantes tiene forma sustancialmente rectangular.

5 Pueden seleccionarse diferentes formas de aberturas basándose en la reducción de ruido, modulación y/o igualación de presión particular que se desea realizar en el dentado.

En una realización, dichos dentados comprenden al menos una matriz primaria de aberturas pasantes dispuesta en una dirección longitudinal entre el extremo de base proximal del dentado y el extremo de punta distal del dentado, y al menos una matriz secundaria de aberturas pasantes dispuesta adyacente a dicha matriz primaria.

10 El uso de diferentes matrices de aberturas sobre el dentado permite diferentes efectos de las aberturas a ser proporcionadas en los dentados.

Preferentemente, dicha al menos una matriz primaria se extiende a lo largo de un eje longitudinal central del cuerpo de dentado entre dicho extremo de base proximal y dicho extremo de punta distal.

15 La colocación de la matriz primaria de aberturas a lo largo de la línea central del dentado permite que la dirección de flujo primario del flujo de aire sobre el dentado experimente una igualación de presión eficiente a través de la matriz primaria.

En una configuración, dicha matriz primaria comprende el menos una abertura alargada orientada con un eje primario que se extiende en una dirección entre el extremo de base proximal y el extremo de punta distal. Adicional o alternativamente, dicha matriz primaria comprende el menos una abertura sustancialmente circular.

20 El eje primario de la abertura se entiende como el eje que corresponde a la sección más ancha de la abertura, por ejemplo para una abertura oblonga, alargada o rectangular.

Preferentemente, dicha al menos una matriz secundaria está ubicada entre dicha al menos una matriz primaria y uno de dichos bordes laterales del cuerpo de dentado, en el que dicha al menos una matriz secundaria comprende al menos una abertura sustancialmente alargada, y en el que dicha al menos una abertura alargada de dicha al menos una matriz secundaria se dispone de modo que se extienda un eje primario de dicha al menos una abertura en una dirección sustancialmente lateral desde una situación adyacente a dicha al menos una matriz primaria hacia dicho borde lateral del cuerpo de dentado.

30 Al proporcionar aberturas alargadas en una matriz secundaria, y alinear las aberturas alargadas en una dirección lateral hacia los lados del dentado, las aberturas se orientan para estar sustancialmente en línea con la trayectoria del flujo lateral del flujo de aire sobre los dentados. Esto asegura que se maximiza la igualación de presión del flujo de aire sobre los dentados.

35 En una realización, dicho contorno perfilado tiene un borde de salida como que comprende una superficie de borde de salida que se extiende entre el lado de presión y el lado de succión del contorno en dicho borde de salida, en el que dicha pluralidad de dentados están ubicados en el lado de presión y/o en el lado de succión de dicha superficie de borde de salida. En consecuencia, los dentados se disponen de modo que los extremos de base proximales de los dentados están ubicados adyacentes a la superficie de borde de salida, sobresaliendo los extremos de las puntas distales alejándose del borde de salida de la pala.

Preferentemente, se proporciona un primer subconjunto de dicha pluralidad de dentados en el lado de presión de dicha superficie de borde de salida, y un segundo subconjunto de dicha pluralidad de dentados se proporcionan en el lado de succión de dicha superficie de borde de salida.

40 En una realización, dicho primer y segundo subconjuntos de dentados comprenden primeras y segunda matrices longitudinales de dentados que sobresalen desde dicho borde de salida siguiendo el largo longitudinal de una parte de la pala en una disposición paralela separada.

45 En una realización alternativa, dicho primer y segundo subconjuntos de dentados comprenden una serie de grupos de dentados que tiene una placa base y una pluralidad de dentados que sobresalen desde dicha placa base, proporcionados dichos grupos de dentados en dicho borde de salida siguiendo el largo longitudinal de una parte de la pala, en el que los grupos de dentados sucesivos que siguen el largo longitudinal de la pala se posicionan alternativamente sobre el lado de presión y el lado de succión de dicha superficie de borde de salida.

50 En una realización alternativa adicional, dicha pluralidad de dentados se proporcionan como dentados simples separados dispuestos en dicho borde de salida siguiendo el largo longitudinal de una parte de la pala, en el que dentados sucesivos que siguen el largo longitudinal de la pala se posicionan alternativamente sobre el lado de presión y el lado de succión de dicha superficie de borde de salida.

Al escalonar los dentados, o grupos de dentados, en los lados de presión y de succión del borde de salida, se proporciona una reducción parcial del ruido en ambos lados del borde de salida. Adicionalmente, se minimiza el daño potencial provocado entre dentados o grupos de dentados adyacentes debido al aleteo.

5 Preferentemente, al menos una primera matriz de dicha pluralidad de dentados es móvil con relación al borde de salida de la pala.

10 Una matriz móvil de dentados permite el ajuste de la modulación del ruido realizado en el borde de salida de la pala. Preferentemente la matriz es móvil en traslación con relación al borde de salida, pero se entenderá que puede ser ajustable cualquier característica de la matriz, por ejemplo puede variarse el posicionamiento, longitud, dimensiones, etc. de los dentados para proporcionar una modulación variable del espectro de ruido en el borde de salida de la pala.

Preferentemente, la pala de turbina eólica puede manipularse para ajustar la forma de dicha al menos una abertura pasante.

15 Preferentemente, dicho ajuste se controla para ajustar el efecto de igualación de presión proporcionado por dicha al menos una abertura pasante. Esto puede ser por medio del uso de, por ejemplo, un material piezoeléctrico, un material flexible deformable, etc.

20 Adicional o alternativamente, la pala de turbina eólica comprende además al menos un elemento de cubierta móvil con relación a dicha al menos una abertura pasante, pudiendo manipularse dicho elemento de cubierta para cubrir selectivamente al menos una parte de al menos una abertura pasante. El elemento de cubierta puede acoplarse a un actuador que puede manipularse para mover dicho elemento de cubierta con relación a dicha al menos una abertura, para controlar el tamaño de una apertura de la abertura, para controlar el efecto de igualación de presión proporcionada por dicha al menos una abertura pasante.

25 El uso de una cubierta móvil, obturador o revestimiento para ajustar la apertura de la abertura permite la variación del efecto de igualación de presión proporcionado por las aberturas. En una realización alternativa, el elemento de cubierta puede comprender un elemento inflable que se dispone para inflarse o desinflarse selectivamente al menos parcialmente dentro de dicha abertura, para reducir el tamaño de apertura de la abertura pasante.

Adicional o alternativamente, puede proporcionarse un material permeable al aire dentro de las aberturas, por ejemplo una red, una rejilla, una malla. El material permeable al aire puede comprender un material relativamente flexible. Esto puede proporcionar una integridad estructural adicional de los dentados, para impedir la flexión o deformación del dentado debido a la presencia de las aberturas en el cuerpo de dentado.

30 Se proporciona también una turbina eólica que tiene al menos una pala de turbina eólica tal como se ha descrito anteriormente.

#### Descripción de la invención

Se describirán ahora realizaciones de la invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

35 la Fig. 1 muestra una turbina eólica;

la Fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención;

la Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil de plano aerodinámico de la pala de la Fig. 2;

la Fig. 4 muestra una vista en perspectiva en sección transversal de una parte de la pala de la Fig. 2;

40 las Figs. 5(a) y 5(b) muestran vistas en perspectiva ampliadas de primera y segunda realizaciones de los dentados del borde de salida de acuerdo con la invención;

las Figs. 6(a) y 6(b) muestran vistas en perspectiva ampliadas de tercera y cuarta realizaciones de los dentados del borde de salida de acuerdo con la invención; y

las Figs. 7(a), (b) y (c) muestran vistas en perspectiva ampliadas de disposiciones de dentados del borde de salida de acuerdo con realizaciones adicionales de la invención.

45 Se hará referencia a elementos comunes entre las diferentes realizaciones usando los mismos números de

referencia.

La Fig. 1 ilustra una turbina eólica contra el viento moderna convencional de acuerdo con el denominado “concepto danés” con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un árbol de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, cada una teniendo una raíz de pala 16 más próxima al buje y una punta de pala 14 más alejada del buje 8. El rotor tiene un radio indicado por R.

La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica de acuerdo con una realización de la invención. La pala 10 de turbina eólica tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una zona de raíz 30 más próxima al buje, una zona perfilada o de plano aerodinámico 34 más alejada del buje y una zona de transición 32 entre la zona de raíz 30 y la zona de plano aerodinámico 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 que mira hacia la dirección de giro de la pala 10, cuando la pala se monta sobre el buje, y un borde de salida 20 que mira hacia la dirección opuesta al borde de ataque 18.

La zona de plano aerodinámico 34 (también denominada la zona perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de empuje ascensional, mientras que la zona de raíz 30 debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, que por ejemplo hace más fácil y seguro montar la pala 10 en el buje. El diámetro (o la cuerda) de la zona de raíz 30 es típicamente constante a lo largo de toda el área de raíz 30. La zona de transición 32 tiene un perfil de transición 42 que cambia gradualmente desde la forma circular o elíptica 40 de la zona de raíz 30 al perfil de plano aerodinámico 50 de la zona de plano aerodinámico 34. La longitud de la cuerda de la zona de transición 32 se incrementa típicamente de modo sustancialmente lineal con el incremento de la distancia  $r$  desde el buje.

La zona de plano aerodinámico 34 tiene un perfil de plano aerodinámico 50 con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. El ancho de la cuerda disminuye con el incremento de la distancia  $r$  desde el buje.

Debería tomarse nota de que las cuerdas de las diferentes secciones de la pala normalmente no se disponen en un plano común, dado que la pala puede estar retorcida y/o curvada (es decir previamente doblada), proporcionando así al plano de cuerda una carrera correspondientemente retorcida y/o curvada, siendo este el caso más frecuente para compensar la velocidad local de la pala que depende del radio desde el buje.

La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil de plano aerodinámico 50 de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros que se usan típicamente para definir la forma geométrica de un plano aerodinámico. El perfil del plano aerodinámico 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que, durante el uso —es decir durante el giro del rotor— se enfrentan normalmente al lado hacia el viento (o frente al viento) y al lado de sotavento (o en la dirección del viento), respectivamente. El plano aerodinámico 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El plano aerodinámico 50 tiene un grosor  $t$ , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El grosor  $t$  del plano aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación respecto a un perfil simétrico viene dada por una línea de curvatura 62, que es una línea mediana a través del perfil del plano aerodinámico 50. La línea mediana puede hallarse mediante el dibujo de los círculos inscritos desde el borde de ataque 56 al borde de salida 58. La línea mediana sigue el centro de estos círculos inscritos, y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se denomina la curvatura  $f$ . La simetría puede definirse también por el uso de parámetros denominados curvatura superior y curvatura inferior, que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52, respectivamente.

Los perfiles del plano aerodinámico se caracterizan frecuentemente por los siguientes parámetros: la longitud de cuerda  $c$ , la curvatura máxima  $f$ , la posición  $df$  de la curvatura máxima  $f$ , el grosor  $t$  del plano aerodinámico máximo, que es el diámetro mayor de los círculos inscritos a lo largo de la línea de curvatura media 62, la posición  $dt$  del grosor máximo  $t$ , y un radio de nariz (no mostrado). Estos parámetros se definen típicamente como relaciones con respecto a la longitud de cuerda  $c$ .

Con referencia a la Fig. 4, se muestra una vista ampliada de una parte de la pala 10 de turbina eólica de la Fig. 2, con referencia a los elementos del plano aerodinámico 50 mostrados en la Fig. 3. La pala 10 comprende adicionalmente una matriz de dentados 70 proporcionada en el borde de salida 58 de la pala 10. La matriz 70 comprende una placa base 72 que se extiende a lo largo de la parte del borde de salida 58 de la pala y una pluralidad de dentados 74 que sobresalen desde la placa base 72. Los dentados 74 sobresalen sustancialmente en una dirección de separación desde el borde de ataque 56 de la pala 10, sustancialmente en línea con la dirección del flujo medio en el borde de salida 58 de la pala 10.

Los dentados 74 actúan como elementos de modulación del flujo, para modular una capa límite del flujo de aire en el borde de salida de la pala de turbina eólica, para mitigar, desplazar la frecuencia, y/o eliminar el ruido de dispersión generado en el borde de salida 58 de la pala 10 de turbina eólica.

Los dentados 74 se configuran de modo que se define una pluralidad de aberturas pasantes (indicadas en general en 76) en los dentados 74. Las aberturas 76 se disponen de modo que se extienden a través del cuerpo de los dentados 74 desde una primera superficie del dentado sobre el lado de presión 52 de la pala 10 a una segunda superficie del dentado sobre el lado de succión 54 de la pala 10. Los dentados 76 aseguran que puede tener lugar la comunicación de la presión o del flujo de aire entre los lados de succión y de presión de los dentados 76, lo que permite que tenga lugar la igualación de la presión en ambos lados de los dentados 76.

Esta igualación de la presión actúa para reducir la energía del vórtice de turbulencia que se dispersa desde los bordes de los dentados. Dado que los dentados actúan para reducir el ruido de baja frecuencia en el borde de salida de la pala, la presencia de las aberturas ayuda a reducir el ruido de alta frecuencia generado por los dentados en sí mismos.

Una ventaja sorprendente adicional del uso de las aberturas en los dentados permite un incremento en la fiabilidad y vida útil de los dentados en la pala de turbina eólica. El efecto de igualación de la presión producido por las aberturas reduce las variaciones en las diferencias de presión en ambos lados de los dentados. Normalmente, cuando los dentados experimentan grandes diferencias de presión entre lados de los dentados, esto puede dar como resultado un aleteo del dentado, un movimiento de vibración de los dentados en el borde de salida de la pala. El aleteo del dentado puede conducir a la separación de los dentados con ángulos de ataque moderados a altos, para diferentes números de Reynolds de funcionamiento. En consecuencia, el uso de las aberturas pasantes actúa para incrementar la adherencia efectiva de los dentados a la pala, incrementando de ese modo la vida útil del dentado.

Otro efecto beneficioso de proporcionar aberturas en los dentados es por las ventajas adicionales que tendrán lugar mientras se cambia el paso de la pala cuando la turbina está en funcionamiento. Dado que pueden experimentarse por los dentados fuerzas dinámicas adicionales cuando se cambia el paso de las palas, esto puede conducir a una separación drástica o daño de los dentados. Sin embargo, la presencia de aberturas en los dentados actúa para relajar la diferencia de presión entre los dos lados, y en consecuencia se incrementa la estabilidad del dentado contra la dinámica de flujo rápidamente cambiante debido al cambio de paso.

Aunque las aberturas 76 proporcionadas en los dentados 74 pueden comprender un único agujero proporcionado en el cuerpo de dentado, se entenderá que pueden proporcionarse otras configuraciones de abertura. Con referencia a las Figs. 5 y 6, se proporcionan vistas ampliadas de disposiciones de aberturas de muestra para dentados de forma triangular simple. Sin embargo, se entenderá que la invención puede aplicarse a cualquier forma de dentado adecuada, por ejemplo almenados, dentados semicirculares, etc.

En las Figs. 5 y 6, el dentado 74 comprende un cuerpo principal triangular 78 sustancialmente plano, que tiene un extremo de base 78a proximal y un extremo de punta 78b distal. Durante el uso, el dentado 74 se dispone de modo que el extremo de base 78a proximal se proporcione adyacente al borde de salida de una pala de turbina eólica (no mostrada), orientándose el extremo de punta 78b distal alejándose del borde de salida en una dirección sustancialmente en línea con la dirección del flujo principal del contorno de la pala de turbina eólica. Los bordes laterales 79 del dentado se extienden entre el extremo de base 78a proximal y el extremo de punta 78b distal.

En la realización de la Fig. 5(a), se proporciona una pluralidad de aberturas circulares 80 sobre el cuerpo de dentado 78, extendiéndose las aberturas 80 a través del cuerpo de dentado 78 desde una superficie superior del cuerpo a una superficie inferior del cuerpo 78. Las aberturas 80 se disponen en una disposición separada en serie paralelo, desde una localización adyacente al extremo de base 78a proximal hacia el extremo de punta 78b distal.

En la realización mostrada la Fig. 5(b), se proporciona una pluralidad de aberturas rectangulares 82 pasantes sobre el cuerpo de dentado 78, extendiéndose las aberturas en una disposición paralela desde una situación adyacente al extremo de base 78a proximal hacia el extremo de punta 78b distal.

Las aberturas 80, 82 se disponen preferentemente en la forma de varias filas paralelas de aberturas separadas (como con las aberturas circulares 80 de la Fig. 5(a)), o una disposición paralela de varias aberturas alargadas (como con las aberturas rectangulares 82 de la Fig. 5(b)). En consecuencia, la distribución de aberturas se proporciona sustancialmente en línea con la dirección del flujo de aire sobre los dentados 74.

Con referencia a las Figs. 6(a) y 6(b), se proporcionan vistas ampliadas de disposiciones de aberturas de muestra adicionales de un dentado de forma triangular simple.

En la Fig. 6(a), se proporciona una serie primaria de aberturas circulares 84 sustancialmente espaciadas a lo largo de la línea central del cuerpo de dentado 78, extendiéndose desde una posición adyacente al punto medio del extremo de base 78a proximal del cuerpo de dentado 78 a una localización hacia el extremo de punta 78b distal del cuerpo 78.

En ambos lados de la serie primaria de aberturas 84, está ubicada una serie secundaria de aberturas ovaladas 86 entre las aberturas primarias 84 y los bordes laterales 79 del dentado. Como con las aberturas primarias 84, las

aberturas ovaladas 86 secundarias están separadas en una línea desde una localización próxima al extremo de base 78a proximal hacia el extremo de punta 78b distal. Las aberturas ovaladas 86 secundarias se disponen de modo que los óvalos se orienten para extenderse en una dirección hacia el exterior entre la serie primaria centrada de aberturas 84 y los bordes 79 del dentado.

5 En consecuencia, cuando fluye el aire sobre el cuerpo de dentado 78, el flujo de aire de la dirección de flujo principal (es decir a lo largo de la línea central del dentado 76) fluirá directamente sobre la serie primaria de aberturas 84 (tal como se indica por la fecha A). El flujo de aire que no está en línea con la dirección de flujo principal fluirá en una dirección sustancialmente lateral con relación a la dirección de flujo principal, es decir desde la línea central hacia los bordes laterales 79 del cuerpo de dentado 78 (esto se indica por las fechas marcadas B). Como resultado, el flujo de  
10 aire lateral se dirige sobre la serie secundaria de aberturas 86.

Preferentemente, dicha serie secundaria de aberturas 86 está alineada de modo que la dirección de alargamiento de las aberturas está sustancialmente en línea con la dirección del flujo lateral sobre el cuerpo de dentado. Esto puede ser entre 0-90 grados, preferentemente entre 45-90 grados con relación al eje longitudinal central o línea central del cuerpo de dentado. La alineación de las aberturas secundarias en dicha forma asegurará que se maximizará el  
15 efecto de igualación de presión de las aberturas secundarias en el flujo lateral sobre el dentado. Tener aberturas en línea con la dirección del flujo proporcionará longitud suficiente, y en consecuencia tiempo suficiente, para que el flujo se comunique entre los lados de succión y de presión.

La Fig. 6(b) muestra una configuración similar a la Fig. 6(a), en donde la serie primaria de aberturas circulares 84 se sustituye por una única abertura rectangular 88 primaria, extendiéndose la abertura 88 primaria en una dirección  
20 alargada desde una posición adyacente al punto medio del extremo de base 78a proximal del cuerpo de dentado 78 a una localización hacia el extremo de punta 78b distal del cuerpo 78. Como con la realización de la Fig. 6(a), el flujo de aire primario sobre el dentado 74 se dirige sobre la abertura 88 primaria, dirigiéndose el flujo lateral sobre la serie de aberturas 86 secundarias adyacentes, para proporcionar un efecto de igualación de presión maximizado.

En una disposición preferida, las aberturas 76, 80, 82, 84, 86, 88 se dimensionan de modo que el ancho de las aberturas 76, 80, 82, 84, 86, 88 es mayor que o igual a la profundidad del cuerpo de dentado 78, para asegurar que el flujo de aire se comunica fácilmente entre las superficies del dentado. Esto proporciona una igualación de presión efectiva de las superficies, y un rendimiento mejorado de los dentados 78. Por ejemplo, en la realización de la Fig. 5(a), el diámetro de las aberturas 80 se selecciona para que sea mayor que la profundidad de las aberturas  
25 pasantes 80.

30 En una disposición preferida adicional, las aberturas 76, 80, 82, 84, 86, 88 se disponen de modo que representan menos que o igual al 25 % del área del perfil triangular definido por los bordes exteriores del cuerpo de dentado 78. Esto asegura que la integridad estructural de los dentados 74 no se debilita al tener aberturas excesivas y también que no se introduce un ruido de funcionamiento adicional como resultado del uso de aberturas 76, 80, 82, 84, 86, 88 excesivamente grandes.

35 Como se muestra en la Fig. 4, los dentados 74 pueden proporcionarse como una única matriz 70 de dentados localizada en el borde 58 de salida de la pala. Se entenderá que pueden aplicarse otras configuraciones de dentados, por ejemplo puede proporcionarse un par de matrices de dentados en el borde de salida, siendo móviles las matrices de dentado relativamente entre sí.

40 En una alternativa adicional, los dentados pueden proporcionarse para un perfil de pala truncado. Con referencia a la Fig. 7, en un perfil truncado la pala de turbina eólica tiene un borde de salida 58 como o truncado, que tiene una superficie 58a del borde de salida. En dicha pala 10 truncada, la matriz 70 dentada puede proporcionarse en uno o ambos de entre el lado de presión 52 o el lado de succión 54 de la superficie 58a del borde de salida. (En la vista mostrada en la Fig. 7(a), la matriz 70 dentada se proporciona en el lado de succión 54 de la superficie 58a del borde de salida.)

45 Para impedir adicionalmente daños o separación de los dentados desde la pala debido al aleteo, los dentados pueden dispersarse o escalonarse en ambos lados de la superficie 58a del borde de salida, de modo que se proporcionará un efecto de reducción del ruido parcial para el flujo de aire en ambos lados del borde de salida, mientras que se impedirá cualquier daño provocado entre dentados adyacentes debido a la separación entre dentados individuales. Dicha disposición se ilustra en la Fig. 7(b), en la que se proporciona una primera serie de  
50 dentados 76a sobre el lado de succión 54 de la superficie de borde de salida, y se proporciona una segunda serie de dentados 76b sobre el lado de presión 54 de la superficie 58a del borde de salida. Los dentados 76a, 76b pueden disponerse de modo que la distancia entre dentados d de al menos una de las series de dentados es aproximadamente equivalente al ancho de los dentados en la otra serie, de modo que se presenta un perfil de dentado continuo intercalado en el borde de salida 58, proporcionándose dentados 76a, 76b sucesivos sobre lados  
55 alternos de la superficie 58a del borde de salida.



Se ilustra una configuración alternativa adicional en la Fig. 7(c), en la que se proporcionan los dentados 76 en la forma de grupos individuales o agrupaciones de dentados 77a, 77b, proporcionándose grupos de dentados sucesivos sobre lados alternos de la superficie 58a del borde de salida, facilitando de ese modo la prevención de daños entre grupos de dentados 77a, 77b adyacentes.

- 5 En una mejora adicional de la invención, se entenderá que los dentados 76, 76a, 76b o grupos de dentados 77a, 77b pueden ser móviles con relación al borde de salida de la pala, preferentemente móviles en traslación, para proporcionar un control y adaptabilidad adicional de las características de reducción de ruido de la pala.

- 10 Adicional o alternativamente, pueden configurarse los dentados en los que el tamaño o forma de las aberturas definidas sobre los dentados pueden ser ajustables, para proporcionar un comportamiento de igualación de presión ajustable. Esto puede estar en la forma de cualquier método de ajuste adecuado, por ejemplo formación de los dentados a partir de un material piezoeléctrico. Adicional o alternativamente, los dentados pueden acoplarse con un manguito o cubierta (no mostrado) ajustable que puede manipularse para moverse con relación al cuerpo de dentado, para cubrir o abrir selectivamente las aberturas definidas en el cuerpo de dentado.

- 15 Adicionalmente, se entenderá que mientras que los dentados y grupos de dentados 76, 77 ilustrados en el presente documento son sustancialmente planos, pueden emplearse también dentados tridimensionales en el borde de salida de la pala para reducir el ruido de dispersión, es decir dentados que pueden variar en profundidad así como en ancho.

- 20 En una mejora adicional, puede proporcionarse un material permeable al aire dentro de las aberturas, por ejemplo una red, una rejilla, una malla. Si el material permeable al aire se forma a partir de un material relativamente flexible, por ejemplo, hilos, goma flexible, etc., esto puede proporcionar una integridad estructural adicional de los dentados, para impedir la flexión o deformación del dentado debido a la presencia de las aberturas en el cuerpo de dentado.

- 25 Se entenderá que los dentados 76 se proporcionan en el borde de salida de la pala, siguiendo el largo longitudinal de la pala. Preferentemente, los dentados se proporcionan en la zona del 40-98 % de la longitud de la pala desde el extremo de raíz de la pala. En una realización alternativa, los dentados se proporcionan en la zona del 60-95 % de la longitud de la pala. Como la mayor parte de la generación de ruido de una pala de turbina eólica tiene lugar en la zona hacia las secciones exteriores de la pala (debido a las velocidades de viento relativamente altas en efecto en estas secciones exteriores), las características de reducción de ruido se comportarán más eficazmente cuando estén ubicadas en estas zonas.

- 30 Se entenderá que cualesquiera características de las realizaciones anteriores pueden ser intercambiables con las características de cualquier otra realización sin apartarse del alcance de la invención.

La invención no está limitada a las realizaciones descritas en el presente documento y puede modificarse o adaptarse sin apartarse del alcance de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Una pala (10) de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un árbol de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo el rotor un buje, desde el que se extiende la pala (10) de la turbina eólica sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el buje, extendiéndose la pala (10) de la turbina eólica en una dirección longitudinal paralela a un eje longitudinal y teniendo un extremo de punta (14) y un extremo de raíz (16),  
5 comprendiendo la pala (10) de turbina eólica un contorno perfilado que incluye un lado de presión (52) y un lado de succión (54), así como un borde de ataque (18, 56) y un borde de salida (20, 58) con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre los mismos, generando el contorno perfilado, cuando un flujo de aire incidente impacta sobre el mismo, un empuje ascensional,
- 10 en la que la pala (10) de turbina eólica comprende adicionalmente una pluralidad de dentados (74) proporcionados en el borde de salida (20, 58) del contorno, sobresaliendo dichos dentados (74) de manera libre desde dicho borde de salida (20, 58), pudiendo manipularse dicha pluralidad de dentados (74) para reducir el ruido generado durante el funcionamiento de la pala mediante la modulación del flujo de aire en el borde de salida (20, 58) del contorno, comprendiendo cada uno de dicha pluralidad de dentados (70) un cuerpo de dentado sustancialmente triangular que  
15 tiene un extremo de base (78a) proximal ubicado adyacente a dicho borde de salida (20, 58) y un extremo de punta (78b) distal que sobresale alejándose de dicho borde de salida (20, 58), y bordes laterales (79) del dentado que se extienden entre dicho extremo de base (78a) proximal y dicho extremo de punta (78b) distal,
- en la que se define al menos una abertura pasante (80, 82, 84, 86, 88) en dicho cuerpo de dentado sustancialmente triangular entre dicho extremo de base (78a) y dicho extremo de punta (78b).
- 20 2. La pala de la reivindicación 1, en la que el cuerpo de dentado comprende una superficie del lado de presión y una superficie del lado de succión, en la que dicha al menos una abertura pasante (80, 82, 84, 86, 88) se extiende desde dicha superficie del lado de presión hasta dicha superficie del lado de succión, en la que dicha al menos una abertura pasante (80, 82, 84, 86, 88) actúa para igualar la presión entre dicha superficie del lado de presión y dicha superficie del lado de succión.
- 25 3. La pala de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que dicha al menos una abertura pasante (80, 82, 84, 86, 88) se define de modo que el ancho de la abertura es mayor que o igual a la profundidad de la abertura.
4. La pala de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que dichos dentados (74) se configuran de modo que dicha al menos una abertura pasante (80, 82, 84, 86, 88) comprende menos que o igual al 25 % del área de una delimitación del cuerpo de dentado.
- 30 5. La pala de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que al menos una de dichas aberturas pasantes (80, 82, 84, 86, 88) se selecciona de entre las siguientes: una abertura circular; una abertura ovalada; una abertura sustancialmente rectangular.
6. La pala de cualquier reivindicación precedente, en la que dichos dentados (74) comprenden al menos una matriz primaria de aberturas pasantes (84) dispuesta en una dirección longitudinal entre el extremo de base (78a) proximal del dentado (74) y el extremo de punta (78b) distal del dentado (74), y al menos una matriz secundaria de aberturas pasantes (86) dispuesta adyacente a dicha matriz primaria (84).  
35
7. La pala de la reivindicación 6, en la que dicha al menos una matriz primaria (84) se extiende a lo largo de un eje longitudinal central del cuerpo de dentado entre dicho extremo de base (78a) proximal y dicho extremo de punta (78b) distal.
- 40 8. La pala de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en la que dicha matriz primaria (84) comprende al menos una de las siguientes: una abertura alargada orientada con un eje primario que se extiende en una dirección entre el extremo de base proximal y el extremo de punta distal; al menos una abertura sustancialmente circular.
9. La pala de una cualquiera de las reivindicaciones 6-8, en la que dicha al menos una matriz secundaria (86) está ubicada entre dicha al menos una matriz primaria y uno de dichos bordes laterales (79) del cuerpo de dentado, en la que dicha al menos una matriz secundaria comprende al menos una abertura sustancialmente alargada, y en la que dicha al menos una abertura alargada de dicha al menos una matriz secundaria se dispone de modo que un eje primario de dicha al menos una abertura se extiende en una dirección sustancialmente lateral desde una situación adyacente a dicha al menos una matriz primaria hacia dicho borde lateral del cuerpo de dentado.  
45
10. La pala de cualquier reivindicación precedente, en la que dicho contorno perfilado tiene un borde de salida como que comprende una superficie de borde de salida que se extiende entre el lado de presión (52) y el lado de succión (54) del contorno en dicho borde de salida (20, 58), en la que los extremos de base (78a) proximales de dicha  
50

pluralidad de dentados están ubicados en el lado de presión (52) y/o el lado de succión (54) de dicha superficie de borde de salida.

5 11. La pala de la reivindicación 10, en la que se proporciona un primer subconjunto de dicha pluralidad de dentados en el lado de presión (52) de dicha superficie de borde de salida, y se proporciona un segundo subconjunto de dicha pluralidad de dentados en el lado de succión (54) de dicha superficie de borde de salida.

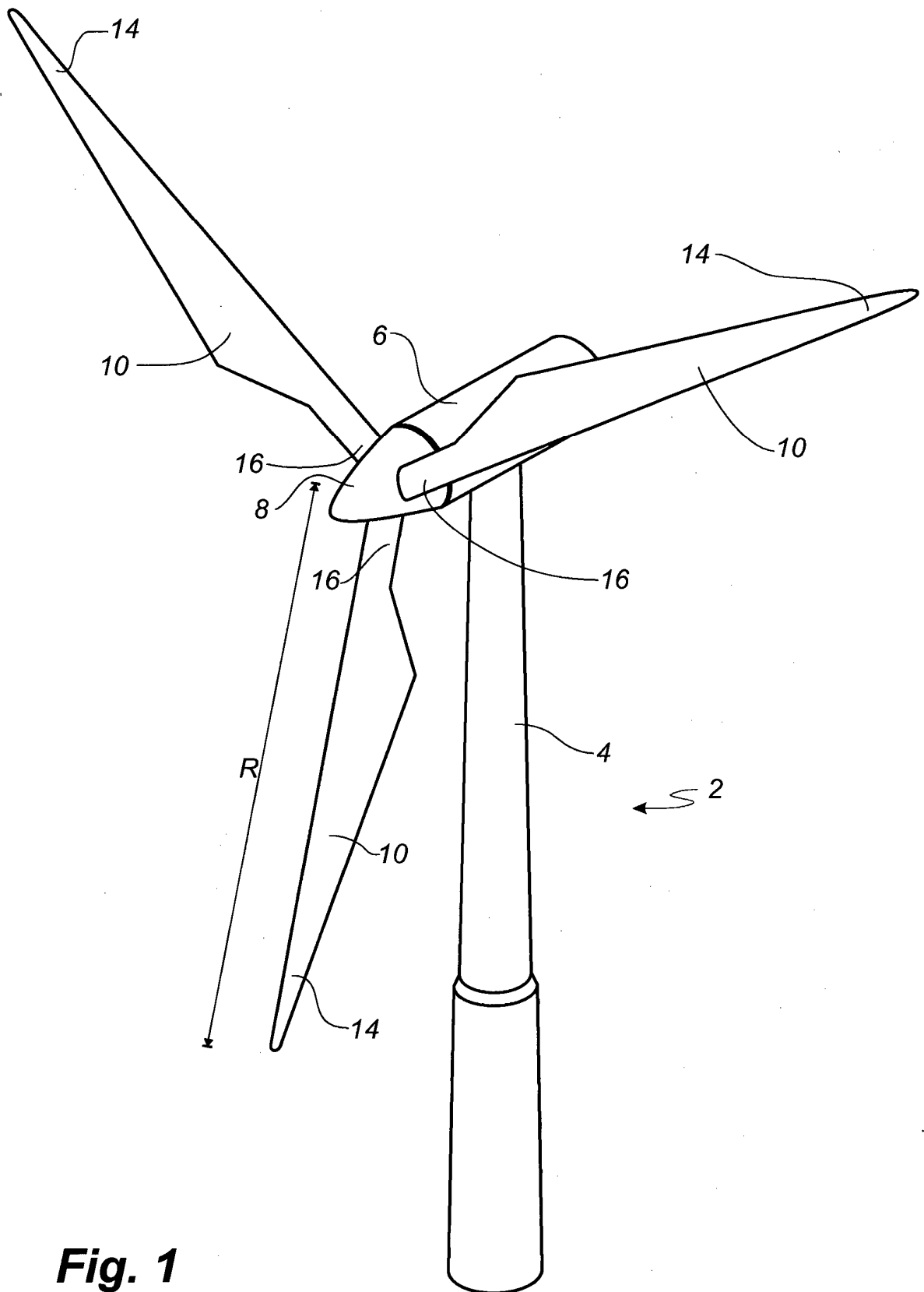
12. La pala de cualquier reivindicación precedente, en la que se proporciona un material permeable al aire dentro de dicha al menos una abertura.

13. La pala de cualquier reivindicación precedente, en la que al menos una primera matriz de dicha pluralidad de dentados es móvil con relación al borde de salida de la pala.

10 14. La pala de cualquier reivindicación precedente, en la que la pala de turbina eólica comprende adicionalmente al menos un elemento de cubierta móvil con relación a dicha al menos una abertura pasante, pudiendo manipularse dicho elemento de cubierta para cubrir selectivamente al menos una parte de al menos una abertura pasante.

15. Una turbina eólica que tiene al menos una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-14.

15



**Fig. 1**

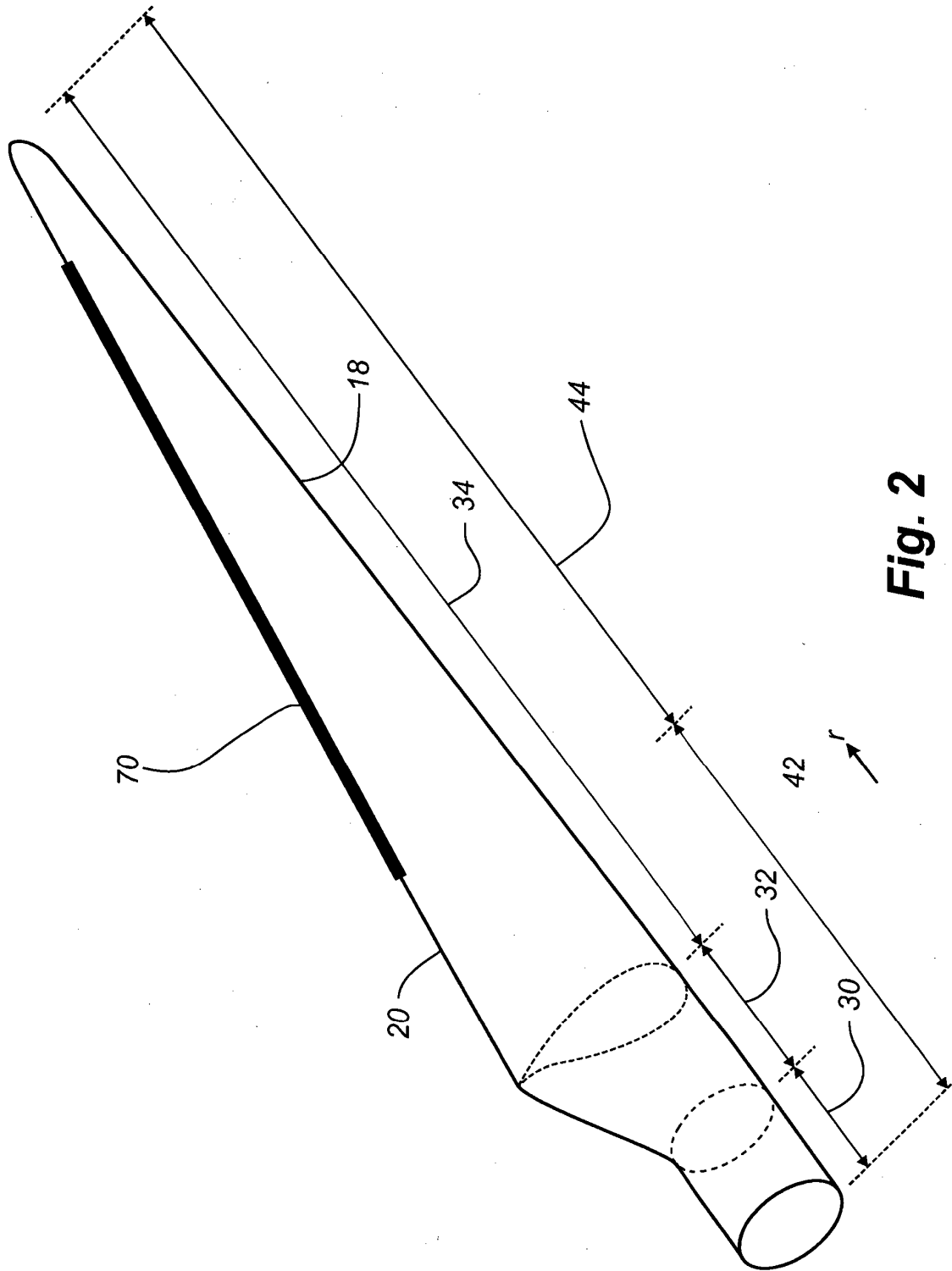
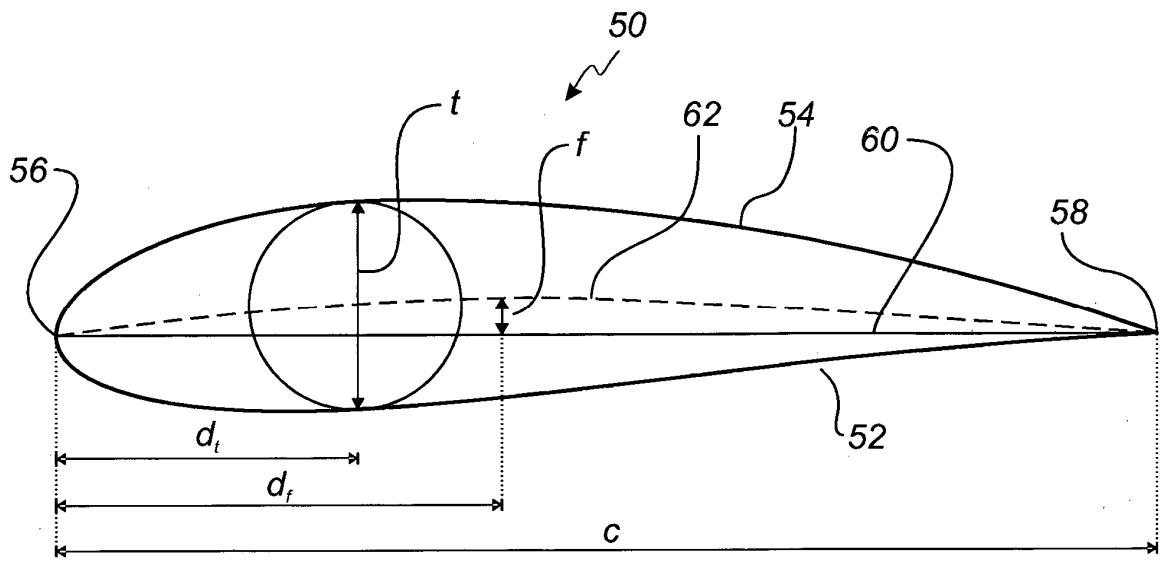
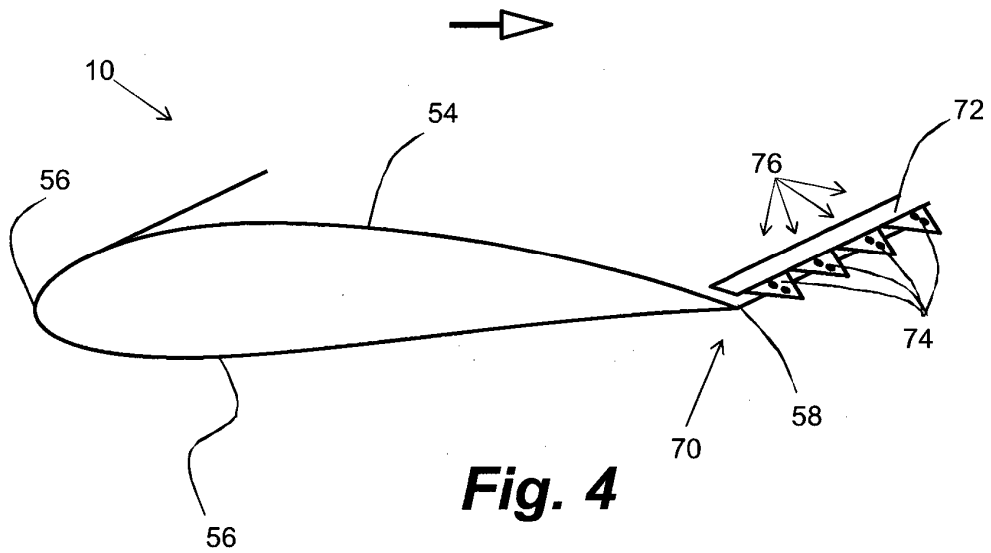


Fig. 2



**Fig. 3**



**Fig. 4**

