

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 590 653**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

B64C 21/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.07.2013 PCT/EP2013/065579**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2014 WO14016326**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2013 E 13739733 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.06.2016 EP 2877737**

54 Título: **Pala de turbina eólica que tiene un separador de capa límite o un desviador de flujo**

30 Prioridad:

25.07.2012 EP 12177815

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

23.11.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KUMAR, ARUN y
SINGH, ASHISH**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 590 653 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 que tiene un separador de capa límite o un desviador de flujo

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona con una pala de turbina eólica que tiene un miembro de forma plana como un separador de capa límite o desviador de flujo.

Antecedentes de la invención

10 En las palas de turbina eólica, los flujos transversales de flujo de aire algunas veces se propagan a lo largo de la parte longitudinal de la pala de turbina eólica, desde el extremo de raíz de la pala. Tales flujos transversales actúan al impactar negativamente el desempeño de la pala, en particular al contribuir a la separación del flujo de aire de la superficie de la pala, afectando de esta manera el levantamiento de la pala.

Es conocido suministrar una barrera o separador de capa límite que se extiende a través de la superficie de una pala de turbina eólica, transversal al eje longitudinal, para evitar la formación de tales flujos transversales. Un ejemplo de tal pala de turbina eólica se puede ver en la Patente US No. 7, 585, 157.

15 Aunque este sistema evita que los flujos transversales se propaguen a lo largo de la parte longitudinal de la pala al suministrar una barrera entre las secciones adyacentes de la pala, durante la rotación de las palas de turbina eólica las fuerzas centrífugas generadas durante el acto de rotación empujan el flujo de aire a lo largo de la longitud de las pala hacia el extremo de la punta. Esto resulta en la formación de áreas de baja presión en la estela del separador de capa límite hacia el borde de fuga de las palas, dando como resultado la separación de flujo y la reducción resultante en el desempeño de la pala.

20 Es un objeto de la invención suministrar una pala de turbina eólica que tiene un miembro proyectante que suministra un desempeño mejorado sobre los sistemas de separador de capa límite existentes.

Resumen de la Invención

25 De acuerdo con esto, se suministra una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, dicho rotor comprende un núcleo, del cual la pala se extiende sustancialmente en la dirección radial cuando se monta en el núcleo, la pala tiene una dirección longitudinal con un extremo de punta y un extremo de raíz y una dirección transversal, la pala además comprende:

30 Un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como también un borde de ataque y un borde de fuga con una línea de cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre estas, la línea de cuerda transversal a dicha dirección longitudinal, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente, generando un levantamiento, en donde la turbina de aire comprende además primeros y segundos miembros de guía de flujo suministrados sobre una superficie de dicha pala de turbina eólica, en donde dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extienden en una dirección sustancialmente transversal a la dirección longitudinal de la pala, dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo definen un canal de flujo entre dicho borde de ataque y dicho borde de fuga, dicho canal de flujo tiene un primer extremo ubicado hacia dicho borde de ataque y un segundo extremo localizado hacia dicho borde de fuga,

35 En donde al menos una porción de uno de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extienden a lo largo de la dirección transversal de dicha pala en un ángulo con dicha línea de cuerda de entre +/- [15 a 60] grados, y en donde dicho canal de flujo comprende al menos una sección restringida separada de dicho primer extremo hacia dicho segundo extremo, en la que la distancia entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo en dicha al menos una sección restringida es menor que la distancia entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo en el primer extremo de dicho canal de flujo, de tal manera que el flujo adherido en dicho canal de flujo entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo de dicho primer extremo a dicho segundo extremo están sometidos a un efecto Venturi por dicha al menos una sección restringida.

40 Al suministrar un canal de flujo que tiene una restricción, el flujo que pasa a través de este canal de flujo se acelerará debido al efecto Venturi de la restricción. Como resultado del efecto Venturi, el flujo núcleo (es decir, el flujo por fuera de la capa límite) se acelerará, lo cual a su vez alimenta más energía al flujo de la capa límite. El flujo de la capa límite energizada tiene una mayor probabilidad de contrarrestar los gradientes de presión adversos y de acuerdo con esto se origina una demora en la separación de flujo de aire sobre la superficie de sustentación, que resulta en un desempeño de pala mejorado. Los separadores de capa límite convergentes actuarán adicionalmente para restringir el flujo transversal, de manera similar a los separadores de capa límite tradicionales.

50

En una realización preferida, dicha al menos una sección restringida se ubica en dicho segundo extremo de dicho canal de flujo.

5 Al suministrar la restricción en el segundo extremo, el flujo de aire se acelerará en la longitud completa del canal de flujo. Si el canal de flujo se extiende a lo largo de sustancialmente toda la extensión de la cuerda de la pala de turbina eólica, esto ayudará a demorar la separación de flujo de aire a través de del ancho completo de la pala.

Adicional o alternativamente, el flujo del canal de la pala de turbina eólica puede comprender al menos una sección restringida ubicada entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo.

10 Al suministrar una restricción en alguna parte a lo largo de la longitud del canal de flujo, se puede crear un efecto Venturi en un punto en donde se desee para asegurar que la velocidad de flujo creciente demorará la separación de flujo de la pala. Se entenderá que una pluralidad de restricciones se puede suministrar a lo largo de la longitud del canal de flujo.

En una realización, la pala de turbina eólica comprende una primera sección restringida ubicada entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo de dicho canal de flujo y una segunda sección restringida ubicada en dicho segundo extremo de dicho canal de flujo,

15 en la que el ancho de dicho canal de flujo entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se ahúsan desde dicho primer extremo a dicha primera sección restringida y posteriormente se amplían hacia dicho segundo extremo para suministrar un primer efecto Venturi sobre el flujo en dicho canal de flujo, y

20 en donde el ancho de dicho canal de flujo entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo posteriormente se ahúsan hacia dicha sección restringida en el segundo extremo del segundo canal de guía de flujo para suministrar un segundo efecto Venturi.

25 Esta configuración permite una aceleración adicional del flujo sobre la pala debido al uso de dos restricciones separadas. Preferiblemente, dicha segunda sección restringida se ubica dentro del 5 % de la longitud del canal de flujo de dicho segundo extremo de dicho canal de flujo pero se entenderá que la longitud de la segunda restricción puede variar de acuerdo con el grosor de la superficie de sustentación utilizada. Ya que la separación de flujo puede ocurrir en una etapa temprana para las superficies de sustentación más gruesas, de acuerdo con esto, las superficies de sustentación más gruesas pueden requerir unas secciones de restricción relativamente más largas.

Preferiblemente, dicha primera sección restringida de dicho canal de flujo se ubica entre dicho borde de ataque y dicho borde de fuga aproximadamente en el área de grosor máximo de contorno perfilado.

30 Al ubicar dicha primera restricción en o adyacente al punto de grosor máximo de la superficie de sustentación, el flujo sobre la pala se puede adicionalmente acelerar debido a la alta aceleración en este punto. Ya que la separación de flujo de aire generalmente ocurre después del punto de grosor máximo de la superficie de sustentación, de acuerdo con esto se prefiere que el flujo se acelere más allá de la sección de grosor máximo de la superficie de sustentación.

35 Preferiblemente, dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo comprenden las respectivas superficies de canal de flujo, las superficies de canal de flujo de dicha primera guía de flujo que enfrenta la superficie de canal de flujo de dicha segunda guía de flujo a través de dicho canal de flujo, en donde al menos una porción de al menos una de dichas superficies de canal de flujo es curvada.

40 Al suministrar una superficie que tiene un ahusado curvado, se puede suministrar un cambio gradual en la forma del miembro. De acuerdo con esto, los miembros de guía de flujo pueden tener una forma para reducir cualquier efecto negativo sobre la aerodinámica de la estructura total de la pala, y el grosor máximo de esta curvatura se puede ubicar de tal manera que cumpla o mejore las aerodinámicas deseadas.

45 Las superficies del canal de flujo se pueden curvar a lo largo de la extensión del miembro de guía de flujo en una dirección sustancialmente transversal a la dirección longitudinal de la pala, y/o a lo largo de la altura del miembro de guía de flujo. Se entenderá que las superficies del canal de flujo pueden comprender una curva cóncava o convexa con respecto al interior del canal de flujo definido entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo, preferiblemente al menos una de dichas superficies de canal de flujo comprende una curva convexa a lo largo de la longitud del miembro de guía de flujo entre dichos primeros y segundos extremos de dicho canal de flujo. Adicional o alternativamente, la altura de al menos un miembro de guía de flujo puede variar en una dirección sustancialmente transversal a la dirección longitudinal de la pala, con el fin de cumplir o mejorar las aerodinámicas deseadas.

50 Preferiblemente, al menos una porción de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extienden en una dirección convergente hacia el segundo extremo de dicho canal de flujo para formar dicha al menos una sección

ES 2 590 653 T3

restringida, de tal manera que el flujo adherido en dicho canal de flujo entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se someten a un efecto Venturi.

5 En una realización, dicho canal de flujo comprende una sección transversal sustancialmente rectangular. Alternativamente, dicho canal de flujo comprende una sección transversal sustancialmente trapezoidal. Se entenderá que dicho canal de flujo es preferiblemente un canal de flujo abierto.

En una realización, al menos una porción de tanto dichos primeros como segundos miembros de guía de flujo se extienden en un ángulo con la línea de cuerda transversal a la dirección longitudinal de dicha pala de entre +/- [15 a 60] grados.

10 Alternativamente, uno de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extiende sustancialmente a lo largo de la dirección transversal de dicha pala en un ángulo con dicha línea de cuerda de entre +/- [15 a 60] grados, en la que el otro de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extiende a lo largo de la dirección transversal de dicha pala paralela a dicha línea de cuerda/ortogonal a la dirección longitudinal de dicha pala.

15 Uno de los miembros de guía de flujo se puede formar mediante un separador de capa límite o barrera transversal tradicional, ortogonal a la dirección longitudinal de la pala, mientras que otro de los miembros de guía de flujo se dispone en un ángulo con la dirección transversal para formar la restricción en el canal de flujo.

Preferiblemente, los miembros de guía de flujo se forman de miembros planos que se proyectan desde la superficie de la pala de turbina eólica, por ejemplo, un separador de capa límite o barrera de capa límite. Los miembros de guía de flujo se pueden formar como una parte integral de un cuerpo de pala de turbina eólica, o se pueden readaptar a una pala de turbina eólica existente.

20 Preferiblemente, dicho canal de flujo se forma de miembros de guía de flujo suministrados en el lado de succión de la pala de turbina eólica.

Preferiblemente, dichos miembros de guía de flujo se extienden en una línea sustancialmente recta entre dichos respectivos primeros extremos a dichos respectivos segundos extremos.

25 Preferiblemente, dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se ubican en la porción interior de la pala, por ejemplo en el 50 % de la longitud de la pala desde el extremo de la raíz de la pala, preferiblemente dentro del 20 % de la longitud de la pala del punto de cuerda máximo de la pala, además preferiblemente dentro del 10 % de la longitud de la pala del punto de cuerda máximo de la pala. Preferiblemente además, los miembros de guía de flujo se pueden ubicar en cualquier parte que se separe del flujo sobre la pala.

30 Preferiblemente, la longitud de dicho primer extremo y dicho segundo extremo de dicho canal de flujo está entre aproximadamente 50-100 % de la longitud de la cuerda de la pala de turbina eólica en la ubicación de dicho canal de flujo, preferiblemente entre aproximadamente 75 %- 85 %.

35 Adicional o alternativamente, la altura ortogonal de los miembros de guía de flujo cerca a dicho primero y/o segundo extremo de dicho canal de flujo es aproximadamente cero, es decir los miembros de guía de flujo están a ras con la superficie de la pala. Preferiblemente, la altura de los miembros de guía de flujo se incrementa gradualmente desde dicha altura cero a dicho primer extremo a una primera altura entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo y/o disminuye desde una primera altura entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo a dicha altura cero en dicho segundo extremo.

40 Ya que los miembros de guía de flujo pueden tener una altura cero en el primero y/o segundo extremos, el cual gradualmente se ahúsa a la altura completa de los miembros de guía de flujo, este puede suministrar una transición aerodinámica más suave para los miembros de guía de flujo que no afecte significativamente las aerodinámicas de la pala.

45 Adicional o alternativamente, dicho primer extremo de dicho canal de flujo se ubica adyacente al borde de ataque de la pala, preferiblemente en aproximadamente el 20 % de la longitud de la cuerda de la pala de turbina eólica en el sitio de dicho canal de flujo, además preferiblemente dentro de aproximadamente el 10 % de la longitud de la cuerda.

Adicional o alternativamente, dicho segundo extremo de dicho canal de flujo se ubica adyacente al borde de fuga de la pala, preferiblemente dentro de aproximadamente el 20 % de la longitud de la cuerda de la pala de turbina eólica en el sitio de dicho canal de flujo, además preferiblemente dentro de aproximadamente el 10 % de la longitud de la cuerda.

50 Preferiblemente, el ancho de dicho canal de flujo en dicha al menos una sección restringida está entre

aproximadamente 50-80 % del ancho de dicho canal de flujo en dicho primer extremo.

En un aspecto adicional, se suministra una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal dicho rotor comprende un núcleo, del cual la pala se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el núcleo, la pala tiene una dirección longitudinal con un extremo de punta y un extremo de raíz y una dirección transversal, la pala además comprende:

5 un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como también un borde de ataque y un borde de fuga con una línea de cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre estos, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente, generando un levantamiento, la turbina eólica además comprende al menos un miembro plano suministrado sobre una superficie de dicha pala de turbina eólica, al menos una sección de dicho al menos un miembro plano que se extiende a lo largo de la dirección transversal de dicha pala en un ángulo con dicha línea de cuerda de entre +/- 15-60 grados, preferiblemente entre +/- 30-45 grados, además preferiblemente entre +/- 20-40 grados, dicho al menos un miembro plano que actúa para dirigir el flujo adherido sobre el contorno perfilado de dicha pala.

15 El uso de un miembro plano angulado le permite al flujo de aire sobre la superficie de la pala ser dirigido hacia las secciones particulares de la pala para mejorar el desempeño de la pala, por ejemplo, un levantamiento incrementado, un arrastre reducido, etc. Si el miembro plano se suministra hacia el extremo de raíz de la pala, el miembro plano actúa como un separador de capa límite para evitar el flujo transversal, así como también actuando como un compresor hacia el extremo de raíz de la pala, incrementando la presión en el extremo de raíz de la pala. En el lado externo del miembro plano, la presión disminuirá y de esta manera la demora de las separación de flujo a lo largo de las secciones externas de la pala. Si el miembro plano se suministra hacia el extremo de punta de la pala, el miembro plano actúa como un desviador de flujo para mover más aire de flujo hacia la sección de punta, donde los beneficios del desempeño son mayores.

20 Preferiblemente, dicho al menos un miembro plano se extiende desde un primer extremo adyacente a dicho borde de ataque a un segundo extremo adyacente a dicho borde de fuga, preferiblemente en el que dicho primer extremo se ubica dentro del 0-5 % de la longitud de dicha cuerda desde dicho borde de ataque, preferiblemente en el que dicho segundo extremo se ubica dentro del 0-5 % de la longitud de dicha cuerda de dicho borde de fuga.

25 Ya que el miembro plano se extiende sustancialmente entre los bordes de ataque y de fuga de la pala, este le permite al flujo adherido ser encaminado a través de sustancialmente la longitud de la cuerda completa del perfil de la pala. El al menos un miembro plano se puede disponer para extenderse sustancialmente en la dirección del extremo de raíz de la pala, formando un separador de capa límite conformado. Adicional o alternativamente, el al menos un miembro plano se puede disponer para extenderse sustancialmente en la dirección del extremo de punta de la pala, formando un reflector de flujo.

30 Preferiblemente, al menos una primera sección de dicho al menos un miembro plano se extiende en un ángulo α con dicha línea de cuerda, en la que dicho ángulo α está entre aproximadamente +/- 15-60 grados a dicha líneas de cuerda, en la que dicha al menos una primera sección se extiende a lo largo de al menos 30 % de la extensión de la cuerda del contorno perfilado, preferiblemente a lo largo de al menos 50 %, además preferiblemente a lo largo de al menos 70 %.

En esta realización, una sección del miembro plano se extiende en un ángulo particular a la cuerda por al menos una porción de la longitud de la cuerda de la pala.

35 Preferiblemente, dicho al menos un miembro plano se extiende desde dicho primer extremo a dicho segundo extremo en un ángulo α con dicha línea de cuerda, en la que dicho ángulo α está entre aproximadamente +/- 15-60 grados con dicha línea de cuerda.

En esta realización, se suministra el miembro plano completo en un ángulo con la cuerda de la pala, de tal manera que se puede lograr una deflexión continua del flujo de aire de la pala.

40 Preferiblemente, dicho al menos un miembro plano se extiende de dicho primer extremo a dicho segundo extremo en un ángulo α con dicha cuerda, en la que el ángulo α varía desde aproximadamente 0 grados a dicho primer extremo a aproximadamente +/- 30-60 grados en dicho segundo extremo, preferiblemente +/- 45 grados.

45 En esta realización, el ángulo que el miembro plano hace con la cuerda de la pala varía con la distancia a lo largo de la longitud del miembro plano. El miembro plano tiene un ángulo α de aproximadamente 0 grados hacia el borde de ataque de la pala, para reducir cualquier impacto sobre el desempeño aerodinámico hacia el borde de ataque de la pala. El ángulo α en el segundo extremo del miembro plano se puede seleccionar para suministrar la deflexión máxima del flujo de aire, con un impacto mínimo sobre el desempeño aerodinámico, el ángulo α en el segundo extremo se puede seleccionar de cualquiera de los siguientes: aproximadamente 15, 30, 45 grados.

ES 2 590 653 T3

En una realización preferida, el ángulo α varía linealmente entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo.

Esto suministra una variación constante del ángulo α a lo largo de la longitud del miembro plano. En una realización alternativa, la tasa de cambio del ángulo α puede variar a lo largo de la longitud del miembro plano, desde una tasa baja de cambio, por ejemplo, 0-5 %, hacia el primer extremo del miembro plano, a una tasa mayor de cambio, por ejemplo, 5-50 %, hacia el segundo extremo del miembro plano.

Preferiblemente, dicho al menos un miembro plano se proyecta desde una superficie de dicha pala de turbina eólica, a un ángulo P constante con dicha superficie, en la que dicho ángulo β se selecciona del rango entre 45-135 grados.

El ángulo de proyección del separador de capa límite puede ser cualquier ángulo adecuado, y no limitado a un ángulo de 90 grados con respecto a la superficie de la pala.

10 Alternativamente, dicho al menos un miembro plano se proyecta desde una superficie de dicha pala de turbina eólica, en un ángulo β con dicha superficie, en la que dicho ángulo P varía de aproximadamente 0 grados en dicho primer extremo a entre aproximadamente 45-180 grados en dicho segundo extremo, preferiblemente entre 90-180 grados, preferiblemente entre 90-135 grados, alternativamente entre 45-90 grados.

15 El miembro plano se puede conformar o comprender un giro para suministrar desempeño mejorado cuando se redirige el flujo sobre la superficie de la pala.

Preferiblemente, dicho ángulo β varía linealmente entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo.

Adicional o alternativamente, al menos una sección de dicho al menos un miembro plano comprende una sección transversal que tiene una porción curvada.

20 La sección curvada del miembro plano le permite al flujo de aire ser más eficientemente redirigido sobre la superficie de la pala de turbina eólica.

25 Preferiblemente, dicho al menos un miembro plano comprende un extremo base adyacente a una superficie de dicha pala, y un extremo de punta distante de dicha superficie, en la que al menos una sección de dicho al menos un miembro plano comprende una porción curvada entre dicho extremo de base y dicho extremo de punta, en la que el ángulo θ tangencial de dicha porción curvada varía entre un primer ángulo hacia dicha base y un segundo ángulo hacia dicho extremo de punta, en la que dicho primer ángulo es sustancialmente ortogonal con la superficie de la pala de turbina eólica y en la que dicho segundo ángulo es sustancialmente paralelo a la superficie de la pala de turbina eólica. Preferiblemente, dicho primer ángulo está entre 45-135 grados con la superficie de la pala de turbina eólica. Preferiblemente, dicho segundo ángulo está entre 135-215 grados con la superficie de la pala de turbina eólica.

30 Preferiblemente, θ se mide en la dirección del extremo de raíz de la pala. En una realización, θ varía entre aproximadamente 90-180 grados con la superficie de la pala de turbina eólica. En esta realización, el extremo de punta de la sección curvada apunta sustancialmente en la dirección del extremo de punta de la pala de turbina eólica.

35 En una realización alternativa, θ varía entre aproximadamente 90-0 grados con la superficie de la pala de turbina eólica. En esta realización, el extremo de punta de la sección curvada apunta sustancialmente en la dirección del extremo de raíz de la pala de turbina eólica.

En una realización preferida, dicha al menos una sección de dicho al menos un miembro plano es curvado a lo largo de la altura completa de dicho miembro plano entre dicho extremo base y dicho extremo de punta.

40 Un miembro constantemente curvado actúa para suministrar un ducto para encaminar el flujo de aire a través de la pala. Alternativamente, dicha al menos una sección de dicho al menos un miembro plano comprende una porción sustancialmente recta suministrada en el extremo base de dicho miembro plano y una porción curvada suministrada en el extremo de punta de dicho miembro plano, dicha porción sustancialmente recta que tiene un ángulo β constate con la superficie de dicha pala de turbina eólica, dicha porción curvada tiene un ángulo θ tangencial variante.

45 Como una alternativa, solamente una porción del miembro plano se puede curvar a lo largo de la altura del miembro plano. Esto puede incrementar la dificultad para que el flujo de aire se encamine sobre la punta o el extremo de punta del miembro plano.

En una realización, el al menos un miembro plano se puede formar de varias secciones individuales. Preferiblemente, dichas secciones se pueden ensamblar para formar un miembro plano continuo único.

Alternativamente, dichas secciones se pueden suministrar sobre dicha pala de turbina eólica espaciada una de la otra, dichas secciones espaciadas actúan para formar un arreglo de miembros planos, dicho arreglo forma un separador de capa límite virtual o un desviador de flujo.

5 En una realización adicional, el al menos un miembro plano comprende al menos un espacio suministrado a lo largo de la longitud del miembro plano entre un primer extremo de dicho miembro plano y un segundo extremo de dicho miembro plano, en la que dicho espacio actúa para igualar la presión a través de al menos un miembro plano, para disminuir el efecto de arrastre causado por al menos un miembro plano.

En una realización, dicho espacio se forma por un canal de paso suministrado en dicho al menos un miembro plano.

10 Alternativamente, dicho miembro plano se forma de una pluralidad de componentes de miembro plano discretos suministrado sobre la superficie de la pala de turbina eólica, dichos componentes de miembro plano discreto sustancialmente en línea con un perfil de miembro plano nominal, en la que al menos un espacio se forma por un espaciado entre los componentes del miembro plano discreto adyacente.

15 Los componentes del miembro plano discreto adyacente pueden estar descentrados con relación al perfil del miembro plano nominal para suministrar un espacio que se extiende a través de una sección del ancho del miembro plano nominal así como también una sección de la longitud del miembro plano nominal.

preferiblemente, la pala de turbina eólica comprende una pluralidad de miembros planos suministrada sobre la superficie de la pala de turbina eólica. Adicional o alternativamente, dicho al menos un miembro plano se puede suministrar sobre al menos una sección del lado de presión de la pala de turbina eólica.

20 Preferiblemente, dicho al menos un miembro plano comprende al menos un separador de capa límite suministrado sobre dicho lado de succión hacia el extremo de raíz de dicha pala, en la que dicho al menos un separador de capa límite se extiende desde un primer extremo adyacente a dicho borde de ataque a un segundo extremo, en la que al menos una sección de al menos un separador de capa límite se extiende desde dicho primer extremo hacia dicho segundo extremo en un ángulo sustancialmente agudo con dicha línea de cuerda, tomada en la dirección del extremo de raíz de la pala.

25 Como al menos una sección del separador de capa límite se dispone en un ángulo con la línea de cuerda hacia el extremo de raíz de la pala, entonces el flujo adherido sobre el contorno de la pala será dirigido hacia el extremo de raíz de la pala, retrasando de esta manera la separación del flujo durante la rotación de la pala. Un ángulo agudo se toma para significar un ángulo de entre 0-90 grados con respecto a la línea de cuerda de la pala, tomada en dirección del extremo de raíz de la pala.

30 Preferiblemente, dicho al menos un separador de capa límite se proyecta desde la superficie de dicha pala de turbina eólica en un ángulo β con dicha superficie, en la que dicho al menos un separador de capa límite se proyecta sustancialmente en la dirección del extremo de raíz de la pala de turbina eólica.

Preferiblemente, dicho al menos un separador de capa límite se suministra en dicho lado de succión dentro de 0-50 % de la longitud de dicha pala de turbina eólica desde dicho extremo de raíz.

35 El separador de capa límite se ubica en el extremo de raíz a la mitad de la pala, primeramente para evitar el flujo de aire longitudinalmente a lo largo de la longitud de la pala, y segundo para evitar la separación de flujo en el extremo de raíz de la pala debido a la sección transversal relativamente gruesa de la pala en el extremo de raíz de la pala.

Preferiblemente, dicho primer extremo de dichos al menos un separador de capa límite se ubica en dicho lado de succión dentro de los 0-5 % de la longitud de dicha cuerda de dicho borde de ataque.

40 Alternativamente, en donde dicho primer extremo de dicho al menos un separador de capa límite se proyecta más allá de dicho borde de ataque, dicho primer extremo que forma un deflector de borde de ataque, para dirigir el flujo de aire en el borde de ataque de dicha pala de turbina eólica hacia dicho extremo de raíz.

45 Ya que el separador de capa límite está dispuesto para proyectarse más allá del borde de ataque de la pala, la presencia de al menos un deflector de borde de ataque ayuda a reducir el flujo saliente a lo largo de la longitud de la pala.

Preferiblemente, dicho deflector de borde de ataque se extiende desde dicho primer extremo hacia el extremo de raíz de dicha pala, dicho deflector de borde de ataque que se extiende en un ángulo agudo con la línea de cuerda nominal se extiende más allá de dicho borde de ataque.

Como el deflector de borde de ataque se suministra en un ángulo, el deflector de borde de ataque suministra una redirección adicional del flujo hacia el extremo de raíz de la pala, reduciendo el efecto de separación de flujo en el extremo de raíz de la pala.

5 Preferiblemente, dicho segundo extremo de dicho al menos un separador de capa límite se ubica en dicho lado de succión dentro del 0-5 % de la longitud de dicha cuerda de dicho borde de fuga.

En esta realización, el separador de capa límite se extiende a través de sustancialmente la longitud de la cuerda completa de la pala.

10 Preferiblemente, la pala de turbina eólica comprende al menos un desviador de flujo suministrado sobre dicho lado de succión hacia el extremo de punta de dicha pala, en la que dicho al menos un desviador de flujo se extiende desde un primer extremo adyacente a dicho borde de ataque a un segundo extremo, en la que al menos una sección de al menos un desviador de flujo se extiende hacia dicho extremo de punta en un ángulo sustancialmente agudo con dicha cuerda, para dirigir el flujo laminar sobre el contorno perfilado hacia dicho extremo de punta.

El desviador de flujo actúa para implementar el flujo de aire hacia el área exterior de la pala, para mejorar el desempeño de la pala al modificar el vórtice de punta de la pala.

15 Preferiblemente, dicho al menos un desviador de flujo se proyecta desde la superficie de dicha pala de turbina eólica en un ángulo β con dicha superficie, en la que dicho al menos un desviador de flujo se proyecta sustancialmente en la dirección del extremo de punta de la pala de turbina eólica.

20 Se suministra una pala de turbina eólica que tiene un miembro plano que se proyecta desde una superficie de la pala de turbina eólica, preferiblemente un separador de capa límite de un desviador de flujo, en la que al menos una porción de dicho miembro plano comprende un perfil en sección transversal sustancialmente curvado.

En tal sistema, un miembro plano, que puede extenderse sustancialmente entre el borde de fuga y el borde de ataque de la pala, se mejora mediante la adición de una sección transversal curvada, como se describió anteriormente para el sistema del miembro plano conformado o angulado.

25 Se suministra un miembro plano proyectante para una pala, el cual se puede suministrar teniendo un ángulo α con respecto al plano de cuerda de la pala y un ángulo P con respecto a la superficie de la pala, el miembro plano dispuesto de tal manera que los valores α y/o β varían entre primeros y segundos extremos del miembro plano, preferiblemente en una región lineal a lo largo de al menos el 30 % de la longitud del miembro plano.

30 Adicional o alternativamente se suministra adicionalmente una pala de turbina eólica que tiene un miembro plano suministrado sobre una superficie de dicha pala, el miembro plano se extiende sustancialmente entre el borde de ataque y el borde de fuga de dicha pala de turbina eólica, en la que al menos una porción de dicho miembro plano comprende una sección transversal curvada.

Se entenderá que la característica de un miembro plano, por ejemplo, un desviador de flujo o un separador de capa límite, que tiene una sección transversal curvada se puede ejecutar separadamente a la disposición del miembro plano suministrado en un ángulo agudo con el plano de la cuerda de una pala de turbina eólica.

35 Se suministra adicionalmente una turbina eólica que tiene al menos una pala de turbina eólica como se describió anteriormente.

Descripción de la invención

Una realización de la invención será descrita ahora, por vía de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos que la acompañan, en los cuales:

40 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 la superficie de sustentación de la pala de la Fig. 2;

La Fig. 4 muestra una vista de planta de una pala de turbina eólica que tiene al menos un miembro plano de acuerdo con una primera realización de la invención;

45 La Fig. 5 muestra una vista de planta de una pala de turbina eólica de la Fig. 4 cuando es impactada por un flujo de

aire incidente;

La Fig. 6 muestra una vista de planta de una pala de turbina eólica que tiene al menos un miembro plano de acuerdo con una segunda realización de la invención;

5 La Fig. 7 muestra una vista de planta de una pala de turbina eólica que tiene al menos un miembro plano de acuerdo con una tercera realización de la invención;

La Fig. 8 muestra una pala de turbina eólica que tiene al menos un miembro plano de acuerdo con una cuarta realización de la invención;

La Fig. 9 ilustra una serie de vistas en sección transversal del miembro plano de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención.

10 La Fig. 10 (a) y 10 (b) muestran vistas de planta de una sección de una pala de turbina eólica que tiene primeros y segundos miembros de guía de flujo configurados de acuerdo con un aspecto adicional de la invención; y

Las Figs. 11 (a) y 11 (b) muestran vista en perspectivas agrandadas de una sección de una pala de turbina eólica que tiene primeros y segundos miembros de guía de flujo configurados de acuerdo a aspectos adicionales de la invención.

15 Se entenderá que elementos comunes a las diferentes realizaciones de la invención se han suministrado con los mismos numerales de referencia en los dibujos.

20 La Fig. 1 ilustra una turbina 2 eólica moderna convencional a barlovento de acuerdo con el así llamado "concepto Danés" con una torre 4, una barquilla 6, y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un núcleo 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el núcleo 8, que tiene cada una, una raíz 16 de pala más cercana al núcleo y una punta 14 de pala más alejada del núcleo 8. El rotor tiene un radio denotado como R.

25 La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala 10 de turbina eólica. La pala 10 de turbina eólica tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región 30 de raíz más cercana al núcleo, una región 34 de superficie aerodinámica más alejada del núcleo y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 de superficie aerodinámica. La pala 10 comprende un borde 18 de ataque que enfrenta la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala se monta en el núcleo, y un borde 20 de fuga que enfrenta la dirección opuesta del borde 18 de ataque.

30 La región 34 de la superficie de sustentación (también denominada como región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto al levantamiento de generación, mientras que la región 30 de raíz debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, que por ejemplo la hace más fácil y más segura para montar la pala 10 al núcleo. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz es típicamente constante a lo largo del área 30 de raíz completa. La región 32 de transición tiene un perfil 42 transicional que cambia gradualmente desde la forma 40 circular o elíptica de la región 30 de raíz al perfil 50 de la superficie de sustentación de la región 34 de la superficie de sustentación. La longitud de cuerda de la región 32 de transición típicamente se incrementa sustancialmente de manera lineal con la distancia R creciente desde el núcleo.

35 La región 34 de la superficie de sustentación tiene un perfil 50 de la superficie de sustentación con una cuerda que se extiende entre el borde 18 de ataque y el borde 20 de fuga de la pala 10. El ancho de la cuerda disminuye con la distancia R creciente desde el núcleo.

40 Se debe notar que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no descansan en un plano común, ya que la pala puede ser entorchada y/o curvada (es decir doblada previamente), suministrando así un plano de cuerda con un curso correspondientemente entorchado y/o curvado, siendo este más a menudo el caso con el fin de compensar la velocidad local de la pala que es dependiente del radio del núcleo.

45 La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 de la superficie de sustentación de una pala típica de una turbina eólica descrita con varios parámetros, que son típicamente utilizados para definir la forma geométrica de un ala. El perfil 50 de la superficie de sustentación tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión, que durante uso, - es decir, durante la rotación del rotor, normalmente se enfrentan hacia el lado del viento (o a barlovento) y un lado a sotavento (o a favor del viento), respectivamente. La superficie de sustentación 50 tiene una cuerda 60 con una longitud c de cuerda que se extiende entre el borde 56 de ataque y un borde 58 de fuga de la pala. La superficie de sustentación 50 tiene un grosor t, que se define como la distancia entre el lado 52 de presión y el lado 54 de succión. El grosor t de la pala varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico es dada por una línea 62 de camber, que es una línea mediana a través del perfil 50 de la superficie de sustentación. La línea mediana se puede encontrar al dibujar círculos inscritos del borde 56 de ataque al borde 58 de fuga. La línea

mediana sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia desde la cuerda 60 es denominada el camber f . La asimetría también se puede definir mediante el uso de los parámetros denominados el camber superior y el camber inferior, que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado 54 de succión y el lado 52 de presión, respectivamente.

- 5 Los perfiles de la superficie de sustentación son a menudo caracterizados por los siguientes parámetros: la longitud c de cuerda, el camber f máximo, la posición df del camber f máximo, el grosor t máximo de la superficie de sustentación, que es el diámetro más largo de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de camber mediana, la posición dt del grosor t máximo, y un radio de nariz (no mostrado). Estos parámetros son típicamente definidos como las proporciones de la longitud c de la cuerda.
- 10 Las palas de la turbina eólica son generalmente formadas de materiales plásticos reforzados con fibra, es decir, fibras de vidrio y/o fibras de carbono que están dispuestas en un molde y curadas con una resina para formar una estructura sólida. Las palas de turbina eólica moderna pueden a menudo tener más de 30 o 40 metros de longitud, teniendo unos diámetros de raíz de pala de varios metros. Las palas de turbina eólica son generalmente diseñadas para una durabilidad relativamente larga y para soportar cargas estructurales y dinámicas considerables.
- 15 Con referencia a la Fig. 4, se ilustra una realización de una pala 10 de turbina eólica de acuerdo con la invención. Un primer miembro 70 plano y un segundo miembro 72 plano se proyectan desde la superficie del lado 54 de succión de la pala 10, el primero y segundo miembros 70 y 72 planos, se extienden desde los respectivos extremos 70a, 72a, adyacentes al borde 56 de ataque de la pala, a los respectivos segundos extremos 70b, 72b adyacentes al borde 58 de fuga de la pala.
- 20 El primero y segundo miembros 70, 72 planos se suministran como separadores o barreras de capa límite, que se proyectan desde la superficie de la pala para evitar o impedir el flujo de aire a lo largo de la dirección longitudinal de la pala 10, como se indica por la flecha A. El primero y segundo miembros 70, 72 planos se ubican hacia la región de raíz de la pala 10, preferiblemente dentro del 50 % de la distancia longitudinal de la pala desde el extremo 16 de raíz.
- 25 Adicionalmente, el primero y segundo miembros 70, 72 planos se disponen para extenderse desde dichos primeros extremos 70a, 72a, hacia dichos segundos extremos 70b, 72b en un ángulo agudo con el plano de la cuerda del perfil de la pala tomado en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala, el plano de la cuerda siendo el plano ortogonal con el eje longitudinal de la pala 10 como se indicó por la flecha A. El primer y segundo miembro 70, 72 planos se extienden desde dichos primeros extremos 70a, 72a, en el borde 56 de ataque hacia dichos segundos extremos 70b, 72b en el borde 58 de fuga en un ángulo agudo en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala 10.
- 30

En la medida en que la pala 10 rota sobre una turbina 2 eólica, el efecto centrífugo de la rotación efectivamente empuja el flujo de aire radial hacia el extremo 14 de punta de la pala 10, que origina la separación del flujo lateral de raíz a migrar hacia el extremo 14 de punta.

- 35 Con referencia a la Fig. 5, el suministro de un separador de capa límite 70, 72 angulado hacia el extremo 16 de raíz de la pala 10 actúa para desviar el flujo de aire (indicado por las flechas F) sobre la pala 10 en la región de raíz, para dirigir el flujo de aire hacia el extremo 16 de raíz de la pala 10, contra las fuerzas centrífugas. De acuerdo con esto los separadores de capa límite, 70, 72 actúan para negar el gradiente de presión radial creado por la pala del rotor, para reducir la separación de flujo que se mueve hacia el extremo 14 de punta de la pala 10. Esta redirección del flujo de aire hacia el extremo 16 de raíz actúa para regular la presión a través de la pala, retrasando de esta manera
- 40 la separación de flujo de aire e incrementando el levantamiento de la pala y el desempeño asociado. El separador de capa límite conformado se puede además utilizar para minimizar los vórtices turbulentos en el extremo de raíz de la pala (indicado en G), mejorando de esta manera el desempeño y disminuyendo el arrastre.

- 45 En un primer aspecto el ángulo α que el primero y/o segundos miembros planos o separadores de capa límite 70, 72 hacen con el plano de la cuerda de la pala 10 de turbina eólica puede variar a lo largo de la longitud del primero y/o segundo separadores de capa límite 70, 72. Por ejemplo, en la realización de la Fig. 4, el ángulo α del primer separador de capa límite 70 varía desde el primer valor α_1 en el primer extremo 70a del separador de capa límite a un segundo valor α_2 en el segundo extremo 70b del separador de capa límite.

- 50 Preferiblemente, α_1 es de aproximadamente 0 grados, mientras que α_2 está entre aproximadamente 30-60 grados. De acuerdo con esto, el separador de capa límite 70 es variado para estar sustancialmente en línea con el plano de cuerda de la pala 10 en el borde 56 de ataque de la pala, y relativamente descentrado del plano de la cuerda hacia el borde 58 de fuga. Esto permite que la forma del separador de capa límite 70 varíe a lo largo de la longitud del separador de capa límite 70, con el fin de minimizar el efecto del desempeño de la pala en el borde 56 de ataque de la pala 10 (debido al descentramiento minimizado de la línea de cuerda de la pala) mientras que se suministra una redirección sustancial del flujo de aire en el borde 58 de fuga de la pala.

En la realización de la Fig. 4, el ángulo α hecho por los separadores de capa límite 70, 72 varían sustancialmente a lo largo de la longitud de los separadores de capa límite, pero se entenderá que se pueden ejecutar configuraciones alternativas. En un primer aspecto, al menos uno de los separadores de capa límite 70, 72 se puede extender en un ángulo α constante con el plano de la cuerda. Adicional o alternativamente, al menos uno de los separadores de capa límite se puede extender en un ángulo α constante a lo largo de al menos el 30 %, preferiblemente al menos 50 %, preferiblemente adicionalmente al menos 70 % de la longitud del separador de capa límite. α se puede seleccionar como cualquier ángulo adecuado, por ejemplo, entre el 30-60 grados con el plano de la cuerda, en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala 10.

Con referencia a la Fig. 6, una realización adicional de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención se indica en 10a. En esta realización, el primero y segundo desviador 80, 82 se suministran como miembros planos que se proyectan desde la superficie del lado 54 de succión de la pala 10, el primero y segundo desviadores 80, 82 de flujo que se extienden desde los respectivos primeros extremos 80a, 82a adyacentes al borde 56 de ataque de la pala, con los respectivos segundos extremos 80b, 82b adyacentes al borde 58 de fuga de la pala.

El primero y segundo desviadores 80, 82 de flujo se disponen para extenderse desde los primeros extremos 80a, 82a hacia dichos segundos extremos 80b, 82b en un ángulo agudo con el plano de la cuerda del perfil de la pala, en la dirección del extremo 14 de la punta de la pala. De acuerdo con esto, los primeros y segundos desviadores 80, 82 de flujo se proyectan desde la superficie de la pala para desviar el flujo de aire sobre la pala en una dirección exterior hacia el extremo 14 de punta de la pala 10a (en la dirección de las flechas T). El primero y segundo desviadores 80, 82 de flujo, se ubican hacia la región de punta de la pala 10a, preferiblemente dentro del 50% de la distancia longitudinal de la pala desde el extremo 14 de punta.

Al empujar el flujo de aire en una dirección exterior, la pala 10a puede tomar ventaja del desempeño del levantamiento incrementado de la pala hacia el extremo 14 de punta de la pala, mejorando de esta manera el desempeño total de la turbina.

Como con la realización de la Fig. 4, el primero y segundo desviadores 80, 82 de flujo generalmente se extienden en un ángulo α con el plano de la cuerda de la pala 10a de la turbina eólica. En la realización de la Fig. 6, α es un ángulo agudo medido con el plano de la cuerda de la pala 10a en la dirección del extremo 14 de la punta de la pala.

En un primer aspecto, el ángulo α que el primero y/o segundo desviadores 80, 82 de flujo hacen con el plano de la cuerda de la pala 10 de turbina eólica puede variar a lo largo de la longitud de los desviadores 80, 82 de flujo. Por ejemplo, en la realización de la Fig. 6, el ángulo α del primer desviador 80 de flujo varía desde el primer valor α_1 en el primer extremo 80a del desviador de flujo al segundo valor α_2 en el segundo extremo 80b del desviador de flujo. Preferiblemente, α_1 es aproximadamente de 0 grados, mientras que α_2 está entre aproximadamente 30-60 grados, en la dirección del extremo 14 de la punta de la pala.

De acuerdo con esto, el desviador 80 de flujo varía para estar sustancialmente en línea con el plano de la cuerda de la pala 10 en el borde 56 de ataque de la pala, y es relativamente descentrado del plano de la cuerda hacia el borde 58 de fuga. Como con la realización de la Fig. 4, esto permite que la forma del desviador 80 de flujo varía a lo largo de la longitud del desviador, con el fin de minimizar el efecto del desempeño de la pala en el borde 56 de ataque de la pala 10 (debido al descentrado minimizado de la línea de cuerda de la pala) mientras que suministra una redirección sustancial del flujo de aire en el borde 58 de fuga de la pala.

En una ejecución alternativa, al menos uno de los desviadores 80, 82 de flujo se puede extender en un ángulo α constante con el plano de la cuerda, en la dirección del extremo 14 de la punta de la pala. Adicional o alternativamente, al menos uno de los desviadores de flujo puede extenderse en un ángulo α constante a lo largo de al menos el 30 %, preferiblemente al menos 50 %, adicionalmente de manera preferible al menos 70 % de la longitud del desviador de flujo. α Se puede seleccionar como cualquier ángulo adecuado, por ejemplo, entre 30-60 grados con el plano de la cuerda, en la dirección del extremo de punta 14 de la pala 10.

En las realizaciones de las Figs. 4 y 6, los miembros planos en las formas de los separadores de capa límite 70, 72 o los desviadores 80, 82 de flujo se disponen de tal manera que los respectivos primeros extremos 70a, 72a, 80a, 82a están adyacentes al borde 56 de ataque de la pala y los respectivos segundos extremos 70b, 72b, 80b, 82b, están adyacentes al borde 58 de fuga de la pala. Se entenderá que se puede suministrar cualquier disposición adecuada de los miembros planos, por ejemplo los respectivos primeros extremos 70a, 72a, 80a, 82a, se pueden suministrar dentro del 0-5 % del borde 56 de ataque, y/o los respectivos segundos extremos 70b, 72b, 80b, 82b, se pueden suministrar dentro del 0-5 % del borde 58 de fuga.

En una realización alternativa, el miembro 70, 72, 80, 82 plano se puede extender a lo largo de solamente una porción de la extensión de la cuerda del perfil de la pala de la turbina eólica, por ejemplo entre aproximadamente 0-70 % de la longitud de la cuerda del perfil medido desde el borde de ataque, entre 0-70% de la longitud de la cuerda del perfil medido desde el borde de fuga, o entre 15-85% de la longitud de la cuerda del perfil medido desde el borde

de ataque.

5 En una mejora adicional de la invención, los respectivos primeros extremos 70a, 72a, 80a, 82a de los miembros 70, 72, 80, 82 planos se pueden proyectar más allá del borde 56 de ataque de la pala 10 de turbina eólica. Con referencia a las Figs. 7 (a) y (b) se ilustra una vista agrandada de un núcleo 8 y una sección de barquilla 6 de una
 10 turbina 2 eólica que tiene una pala 10 de turbina eólica con primeros y segundos miembros 90, 92 planos, dichos primeros y segundos miembros 90, 92 planos suministrados hacia el extremo 16 de raíz de la pala 10 de turbina eólica. Los respectivos primeros extremos 90a, 92a de los miembros 90, 92 planos proyectantes se proyectan de manera saliente del borde 56 de ataque de la pala 10, de tal manera que el flujo de aire de salida desde el extremo 16 de raíz de la pala y/o el flujo desviado debido a la presencia del núcleo 8 (como se indica por la flecha F) se
 15 deflecta y se dirige hacia el extremo 16 de raíz de la pala, evitando de esta manera el flujo transversal adicional a lo largo de la longitud de la pala, conduciendo a una separación subsecuente del flujo adherido a lo largo de la longitud de la pala 10.

15 En la Fig. 7(a), los miembros 90, 92 planos proyectantes se ilustran como extendiéndose a lo largo de una porción de la longitud de la cuerda del perfil de la pala, preferiblemente en un ángulo con el plano de la cuerda de la pala en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala, como se describe en la realización de la Fig. 4 anterior.

20 En la Fig. 7(b), los miembros 90, 92 planos proyectantes se ilustran como extendiéndose a lo largo de sustancialmente la longitud de la cuerda completa del perfil de la pala, preferiblemente en un ángulo con el plano de la cuerda de la pala en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala, como se describió en la realización anterior de la Fig. 4. Adicionalmente, los respectivos segundos extremos 90b, 92b de los miembros 90, 92 planos proyectantes se pueden proyectar más allá del borde 58 de fuga de la pala 10, con el fin de suministrar una redirección de flujo más extensa.

25 En un mejoramiento adicional de la invención, los miembros 70, 72, 80, 82, 90, 92 planos pueden comprender canales, espaciamentos o espacios definidos en los miembros para suministrar una purga de la presión de aire entre cualquier lado de los miembros, para reducir o mejorar cualquier posible efecto de arrastre generado por los miembros planos o cualquier otra característica que pueda tener un impacto negativo sobre el desempeño de la pala.

30 Con referencia a la Fig. 8, una realización de la invención se ilustra en la cual los primeros y segundos miembros 70, 72 planos se suministran como dos secciones separadas – el primer miembro 70 plano suministrado como una primera sección 74 de separador de capa límite ubicada hacia el borde 56 de ataque de la pala y una segunda sección 75 de separador de capa límite ubicada hacia el borde 58 de fuga de la pala, y el segundo miembro 72 plano suministrado como una primera sección 76 de separador de capa límite ubicado hacia el borde 56 de ataque de la pala y una segunda sección 77 del separador de capa límite ubicado hacia el borde 58 de fuga de la pala. Las secciones se disponen de tal manera que un espacio 78 se define entre las respectivas primeras secciones 74, 76 de separador de capa límite y las respectivas segundas secciones 75, 77 de separador de capa límite, tal como un
 35 espacio 78 que le permite a una porción de flujo de aire purgarse o escaparse entre los lados de los primeros y segundos miembros 70, 72 planos para suministrar un equilibrio de presión entre los lados, y de esta manera reducir cualquier característica de levantamiento negativo asociada con los separadores de capa límite conformados. Adicionalmente, el suministro de los miembros planos como un montaje de secciones separadas suministra un fácil incremento de elaboración y montaje, por ejemplo, en el caso de readaptar tal miembro plano conformado a una
 40 pala de turbina eólica existente.

45 En un aspecto adicional de la invención, la sección transversal de los miembros planos se puede conformar para suministrar un desempeño mejorado de la pala de turbina eólica. La Fig. 9 ilustra varias posibles secciones transversales de miembros planos para uso con cualquiera de las realizaciones de la invención, los miembros 100 planos tienen un extremo 100a base suministrados en la superficie 102 de una pala 10 de turbina eólica, y un extremo 100b distante.

La Fig. 9 (a) ilustra un miembro 100 plano que se proyecta desde la superficie 102 de una de pala de turbina eólica, en la que el miembro 100 plano se proyecta en un ángulo β ortogonal con la superficie 102 de la pala.

50 La Fig. 9(b) ilustra un miembro 100 plano que se proyecta desde la superficie 102 de una pala de turbina eólica, en donde el miembro 100 plano se proyecta en un ángulo β obtuso con la superficie 102 de la pala. La Fig. 9(c) ilustra un miembro 100 plano que se proyecta desde la superficie 102 de una pala de turbina eólica, en la que el miembro 100 plano se proyecta en un ángulo β agudo con la superficie 102 de la pala.

55 Preferiblemente, los miembros planos se disponen de tal manera que los extremos 100b de la punta de los miembros sustancialmente se proyectan en la dirección de la redirección de flujo deseada, por ejemplo de tal manera que los separadores de capa límite 70, 72 se proyectan en un ángulo β agudo con la superficie 102 de la pala, medida en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala. De manera similar, preferiblemente los desviadores

80, 82 de flujo se proyectan en un ángulo β agudo con la superficie 102 de la pala, medida en la dirección del extremo 14 de punta de la pala (o en un ángulo β obtuso medido en la dirección del extremo 16 de raíz de la pala). Preferiblemente, el miembro 100 plano se proyecta en un ángulo P constante con dicha superficie 102, en la que dicho ángulo β se selecciona del rango entre +/- 45-135 grados.

5 La Fig. 9(d) ilustra un miembro 100 plano que se proyecta desde la superficie 102 de una pala de turbina eólica, en la que el miembro 100 plano comprende una sección transversal curvada. En la Fig. 9(b), el miembro 100 plano se curva de tal manera que el extremo 100a de base es sustancialmente ortogonal con la superficie 102 de la pala, mientras que el extremo 100b de la punta es sustancialmente paralelo con la superficie 100 de la pala, es decir el ángulo θ tangencial del miembro 100 plano varía entre aproximadamente 90 grados en dicho extremo 100a base y
10 aproximadamente 180 grados en dicho extremo 100b de punta. Sin embargo, se entenderá que se pueden ejecutar otras formas de curva en sección transversal.

El suministro de una sección transversal conformada del miembro plano permite una redirección más efectiva del flujo de aire mediante los miembros planos.

15 En un mejoramiento adicional de la invención, en la forma en sección transversal de los miembros 70, 72, 80, 82, 90, 92 planos pueden variar entre los respectivos primeros y segundos extremos de dichos miembros planos.

En un primer aspecto, el miembro 100 plano puede ser conformado a lo largo de la longitud del miembro plano de tal manera que el ángulo β varíe desde aproximadamente 0 grados al primer extremo del miembro plano, es decir, en la que el miembro plano no se proyecta de manera saliente de la superficie de la pala de turbina eólica, a entre aproximadamente 35-180 grados en el segundo extremo del miembro plano, es decir, en la que el miembro plano se puede conformar para redirigir el flujo de aire con una efectividad creciente a lo largo de la longitud del miembro plano. Preferiblemente, el miembro plano se conforma de tal manera que el extremo de punta del miembro plano sustancialmente apunta en la dirección deseada de flujo en el segundo extremo del miembro plano; es decir, hacia el extremo de raíz para la realización del separador de capa límite, y hacia el extremo de punta para la realización del desviador de flujo.

25 En un aspecto adicional el miembro 100 plano se puede conformar para tener una sección transversal curvada en la que la extensión de la curva del miembro plano puede variar entre el primer extremo y el segundo extremo del miembro plano. La sección curvada puede variar con el fin de tener una curva mínima hacia el borde de ataque de la pala, y de acuerdo con esto reducir el impacto aerodinámico del miembro plano en el borde de ataque, y la curva más pronunciada hacia el borde de fuga, teniendo de esta manera un efecto de redirección incrementado hacia el
30 borde de fuga de la pala.

En un aspecto adicional, el miembro plano puede comprender una primera porción relativamente recta, por ejemplo, suministrada en el extremo base del miembro plano, y una segunda porción relativamente curvada, por ejemplo, suministrada en el extremo de punta del miembro plano.

35 Se entenderá que un miembro plano proyectante para una pala se puede suministrar teniendo un ángulo α con respecto al plano de la cuerda de la pala, y un ángulo β con respecto a la superficie de la pala, el miembro plano dispuesto de tal manera que los valores α y/o β varían entre los primeros y segundos extremos del miembro plano, preferiblemente en una variación lineal a lo largo de al menos el 30 % de la longitud del miembro plano. Adicional o
40 alternativamente, el miembro plano proyectante se puede suministrar con al menos una sección curvada que tiene un ángulo θ tangencial, el miembro plano dispuesto de tal manera que el valor θ varía entre el primero y segundo extremo del miembro plano, preferiblemente en una variación lineal a lo largo de al menos el 30 % de la longitud del miembro plano.

45 Con referencia a las Figs. 10 y 11, un aspecto adicional de la invención puede involucrar el uso de separadores o barreras de capa límite convergente para formar un efecto Venturi sobre el flujo de aire que se mueve sobre la pala de turbina eólica, con el fin de acelerar el flujo de aire del núcleo sobre la pala y retrasar la separación del flujo de aire, los separadores de aire también lo utilizan para evitar el flujo transversal de la pala.

En una sección de entrada de una pala 10 de turbina eólica se ilustra en la Fig. 10(a), mirando a lo largo de una porción de la longitud de la pala de turbina eólica del extremo 16 de raíz. En esta realización, el primero y segundo miembros 110, 112 planos, por ejemplo, los separadores o barreras de capa límite, se suministran sobre la superficie de la pala 10 de turbina eólica, preferiblemente sobre el lado de succión de la pala, que se extiende entre el borde
50 18 de ataque y el borde 20 de fuga de la pala 10. Los miembros 110, 112 planos se disponen adyacentes el uno al otro, para formar un canal 114 de flujo entre los miembros 110, 112 planos opuestos. El canal 114 de flujo se extiende en un primer extremo 114a suministrado hacia el borde 18 de ataque de la pala 10 hacia un segundo extremo 114b hacia el borde 20 de fuga de la pala 10. Similar a las realizaciones descritas anteriormente, los miembros 110, 112 planos se disponen en un ángulo con el plano de la cuerda de la pala 10. Sin embargo, en las
55 realizaciones de la Fig. 10, los miembros planos se disponen de tal manera que ellos se extienden en una dirección

convergente desde el primer extremo 114 del canal 114 de flujo al segundo extremo 114b.

De acuerdo con esto, el ancho del canal 114 de flujo es mayor en el primer extremo 114a que en el segundo extremo 114b. Tal configuración significa que el flujo núcleo que pasa entre los miembros 110, 112 planos en el canal 114 de flujo se someten a una restricción en el ancho entre los miembros 110, 112 planos opuestos, que se mueven desde el primer extremo 114a del canal 114 de flujo al segundo extremo 114b. Tal restricción en el canal 114 de flujo da como resultado un efecto Venturi que aplica a un flujo de aire en el canal 114 de flujo, que da como resultado un incremento en la velocidad de flujo a través del canal 114. Esto dará como resultado un mayor momento de flujo entre el interior y el exterior de la capa límite.

Como la separación del flujo de aire ocurre a menudo hacia el extremo de raíz de la pala, donde las superficies de sustentación son relativamente gruesas, suministrar tal efecto Venturi hacia la porción interior de la pala de turbina eólica debe actuar para retrasar la separación de flujo de aire en esta área a reducir el efecto de gradientes de presión en esta área, debido al mayor momento de flujo de aire como resultado de la velocidad de flujo media creciente. Adicionalmente, los miembros planos continúan para restringir el flujo transversal de la pala a lo largo de la dirección longitudinal de la pala.

Con el fin de suministrar un balance entre el efecto de restricción necesaria para el efecto Venturi, preferiblemente, al menos uno de los miembros planos se extiende en un ángulo de al menos 15 grados con el plano de la cuerda de la pala. Mientras que la realización de la Fig. 10(a) ilustra la configuración en la que ambos miembros 110, 112 planos se suministran en un ángulo agudo con el plano de la cuerda de la pala, extendiéndose en una dirección convergente hacia el borde 20 de fuga de la pala, se entenderá que solamente uno de los miembros planos se puede suministrar en una disposición angulada para asegurar el efecto Venturi.

Con referencia a la realización de la Fig. 10(b), el primer miembro 110 plano se ubica sustancialmente paralelo al plano de la cuerda de la pala, mientras que el segundo miembro 112 plano se extiende desde el borde 18 de ataque hacia el borde 20 de fuga en un ángulo con el plano de la cuerda de la pala. De acuerdo con esto, el canal 114 de flujo definido entre los miembros 110, 112 planos, se extiende desde un primer extremo 114 relativamente ancho a un segundo extremo 114 relativamente estrecho.

Un mejoramiento adicional de la invención se ilustra en las dos realizaciones mostradas en la Fig. 11. Aquí, los separadores o barreras de capa límite se suministran como primeros y segundos miembros 116, 118 perfilados en los que el canal 120 de flujo se define entre los miembros 116, 118 perfilados. El canal 120 de flujo se extiende desde un primer extremo 120a suministrado hacia el borde 18 de ataque de la pala a un segundo extremo 120b suministrado hacia el borde 20 de fuga de la pala. Los miembros 116, 118 perfilados se conforman de tal manera que al menos uno, preferiblemente ambos de los miembros 116, 118 gradualmente se extienden hacia el miembro 116, 118 perfilado opuesto a un punto entre los primeros y segundos extremos 120a, 120b del canal 120 de flujo, preferiblemente en una curva gradual. Tal configuración resulta en una sección (indicada mediante 122) del canal 120 de flujo entre los primeros y segundos extremos 120a, 120b que tienen un ancho relativamente restringido. Esta restricción 122 suministra un efecto Venturi dentro del canal 120 de flujo, entre los primeros y segundos extremos 120a, 120b. De acuerdo con esto, el flujo de aire dentro del canal 120 de flujo se agilizará, con el momento de flujo de aire creciente resultante o que da como resultado un retraso en la separación del flujo de aire sobre la pala 10.

La ubicación de dicha restricción 122 se puede seleccionar con base en el grosor relativo de la superficie de sustentación, con una restricción 122 preferiblemente ubicada aproximadamente en el punto de grosor máximo de la superficie de sustentación, por ejemplo dentro del 5 % de la longitud de la cuerda de la superficie de sustentación del punto de grosor t máximo de la superficie de sustentación en ese punto a lo largo de la longitud de la pala.

Se entenderá que tal configuración se puede ejecutar en numerosas diferentes configuraciones. La Fig. 11(a) ilustra una realización en la que el canal 120 de flujo se estrecha desde el primer extremo 120a a la restricción simple en 122, antes de ampliarse en el segundo extremo 120b. En esta realización, el segundo extremo 120b del canal 120 de flujo es relativamente más amplio que el primer extremo 120a, de tal manera que el efecto Venturi simple se crea mediante la sección 122 restringida.

Con referencia a la Fig. 11(b), los miembros 116, 118 perfilados que forman el canal 120 de flujo se extiende desde la sección 122 restringida hacia el segundo extremo 120b de tal manera que el segundo extremo 120b es relativamente más estrecho que el primer extremo 120a. De acuerdo con esto, los miembros 116, 118 perfilados se extienden en una dirección sustancialmente convergente desde el primer extremo 120a al segundo extremo 120b, creando efectivamente dos secciones de restricción – una primera restricción en la sección 122 restringida ubicada entre el primer y segundo extremo 120a, 120b del canal 120 de flujo, y una segunda restricción efectiva formada en el segundo extremo 120b del canal 120 de flujo, debido al estrechamiento del canal 120 de flujo entre el primer extremo 120a y el segundo extremo 120b. Esta configuración suministra un efecto de doble Venturi, actuando para incrementar la velocidad de flujo sobre la superficie de sustentación.

Se entenderá que cualquier forma adecuada de los miembros perfilados se puede utilizar, con el fin de crear cualquier número o configuración de restricciones en el canal 120 de flujo.

5 Preferiblemente, los miembros 110, 112, 116, 118 se extienden entre el borde 18 de ataque y el borde 20 de fuga de la pala, pero se entenderá que la longitud de los miembros 110, 112, 116, 118 planos se pueden seleccionar con base en los requisitos, por ejemplo, aproximadamente 80 % de la longitud de la cuerda de la pala en ese punto.

10 Se entenderá que el número o cualquier combinación de los elementos de cualquiera de las realizaciones precedentes se pueden suministrar sobre una pala de turbina eólica simple, por ejemplo, los separadores de capa límite 70, 72 de la realización de la Fig. 4 se pueden combinar con los desviadores de flujo de la realización de la Fig. 6, los miembros 110, 112, 116, 118 planos pueden tener una altura y/o curvatura variable a lo largo de su longitud, etc.

La invención no está limitada a la realización descrita aquí, y se puede modificar o adaptar sin apartarse del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una pala (10) de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, dicho rotor comprende un núcleo, desde el cual la pala se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta al núcleo, la pala tiene una dirección longitudinal con el extremo de punta y un extremo de raíz y una dirección transversal, la pala además comprende:
- un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como también un borde de ataque y un borde de fuga con una línea de cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre estas, la línea de cuerda transversal a dicha dirección longitudinal, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente, generando un levantamiento,
- 10 en la que la turbina eólica comprende además primeros y segundos miembros (70, 72, 80, 84, 90, 92, 100, 110, 112) de guía de flujo suministrados sobre una superficie de dicha pala de turbina eólica, en la que dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extienden en una dirección sustancialmente transversal con la dirección longitudinal de la pala, dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo definen un canal de flujo entre dicho borde de ataque y dicho borde de fuga, dicho canal de flujo tiene un primer extremo ubicado hacia dicho borde de
- 15 ataque y un segundo extremo ubicado hacia dicho borde de fuga,
- en la que al menos una porción de una de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extiende a lo largo de la dirección transversal de dicha pala en un ángulo con dicha línea de cuerda de aproximadamente 15 a 60 grados, y
- 20 en la que dicho canal de flujo comprende al menos una sección restringida espaciada de dicho primer extremo hacia dicho segundo extremo, en la que la distancia entre dicho primer y segundo miembros de guía de flujo en dicha al menos una sección restringida es menor que la distancia entre el primer y segundo miembros de guía de flujo en el primer extremo de dicho canal de flujo,
- de tal manera que el flujo adherido en dicho canal de flujo entre dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo desde dicho primer extremo a dicho segundo extremo es sometido a un efecto Venturi mediante dicha al menos
- 25 una sección restringida.
2. La pala de turbina eólica de la reivindicación 1, en la que dicha al menos una sección restringida se ubica en dicho segundo extremo de dicho canal de flujo.
3. La pala de turbina eólica de la reivindicación 1, o reivindicación 2, en la que el canal de flujo de la pala de turbina eólica comprende al menos una sección restringida ubicada entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo.
- 30 4. La pala de turbina eólica de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que la pala de turbina eólica comprende una primera sección restringida ubicada entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo de dicho canal de flujo y una segunda sección restringida ubicada en dicho segundo extremo de dicho canal de flujo,
- En la que el ancho de dicho canal de flujo entre dicho primero y segundo miembros de guía de flujo se ahúsa desde dicho primer extremo a dichas primera sección restringida y posteriormente se amplía hacia dicho segundo extremo
- 35 para suministrar un primer efecto Venturi sobre el flujo en dicho canal de flujo, y
- En la que el ancho de dicho canal de flujo entre dicho primer y segundos miembros de guía de flujo posteriormente se ahúsa hacia dicha segunda sección restringida en el segundo extremo de dicho canal de guía de flujo para suministrar un segundo efecto Venturi.
- 40 5. La pala de turbina eólica de la reivindicación 4, en la que dicha primera sección restringida de dicho canal de flujo se ubica entre dicho borde de ataque y dicho borde de fuga aproximadamente en el área de grosor máximo del contorno perfilado.
6. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que dicho primero y segundo miembros de guía de flujo comprenden las respectivas superficies de canal de flujo, las superficies de canal de flujo de dicha primer guía de flujo se enfrenta a la superficie de canal de flujo de dicha segunda guía de flujo a través de dicho
- 45 canal de flujo, en la que al menos una porción de al menos una de dichas superficies de canal de flujo es curvada.
7. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que al menos una porción de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extienden en una dirección convergente hacia el segundo extremo de dicho canal de flujo para formar dicha al menos una sección restringida, de tal manera que el flujo adherido en dicho canal de flujo entre dicho primero y segundo miembros de guía de flujo se somete a un efecto
- 50 Venturi.

- 5 8. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que uno de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extienden sustancialmente a lo largo de la dirección transversal de dicha pala en un ángulo con dicha línea de cuerda de entre +/- [15 a 60] grados, en la que el otro de dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se extiende a lo largo de la dirección transversal de dicha pala paralela a dicha línea de cuerda.
9. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que los miembros de guía de flujo se forman de miembros planos que se proyectan desde la superficie de la pala de turbina eólica, por ejemplo, un separador de capa límite o barrera de capa límite.
- 10 10. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que dicho canal de flujo se forma de los miembros de guía de flujo suministrados sobre el lado de succión de la pala de turbina eólica.
11. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que dichos primeros y segundos miembros de guía de flujo se ubican en la porción interior de la pala, por ejemplo, dentro del 50 % de la longitud de la pala desde el extremo de raíz de la pala.
- 15 12. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que la longitud entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo de dicho canal de flujo está entre aproximadamente 50-100 % de la longitud de la cuerda de la pala de turbina eólica en el sitio de dicho canal de flujo.
13. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que el ancho de dicho canal de flujo en dicha al menos una sección restringida está entre aproximadamente 50-80 % del ancho de dicho canal de flujo en dicho primer extremo.
- 20 14. La pala de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que dicho primer extremo de dicho canal de flujo se ubica adyacente al borde de ataque de la pala, preferiblemente entre aproximadamente el 20% de la longitud de la cuerda de la pala de turbina eólica en el sitio de dicho canal de flujo.
15. Una turbina eólica que tiene al menos una pala de turbina eólica como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 1-14.

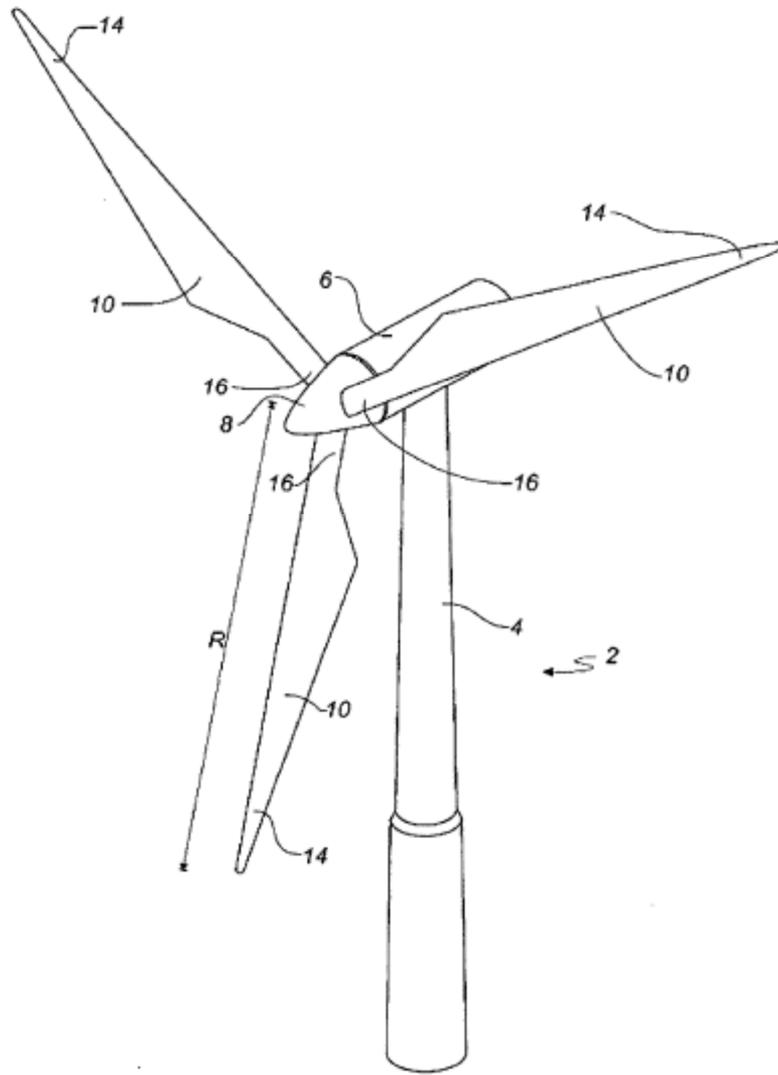


Fig. 1

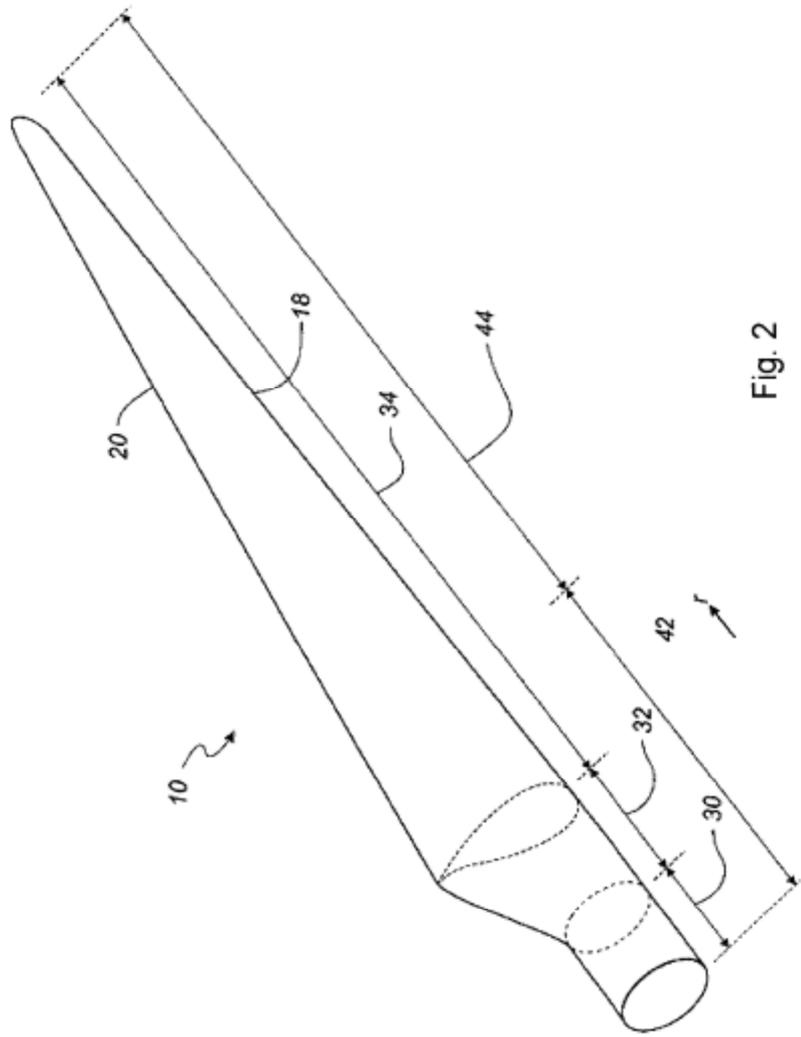


Fig. 2

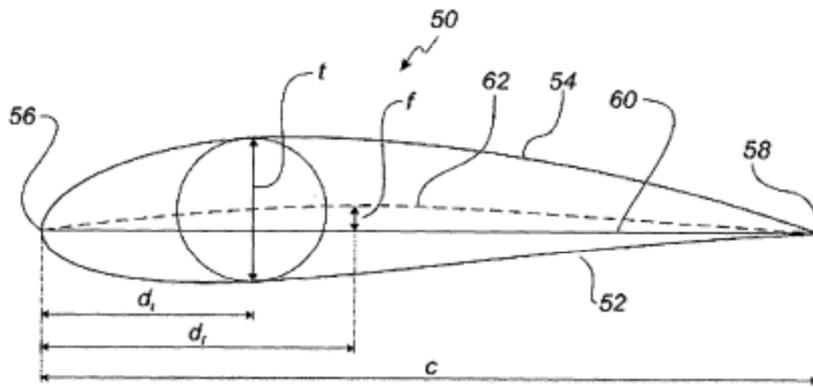


Fig. 3

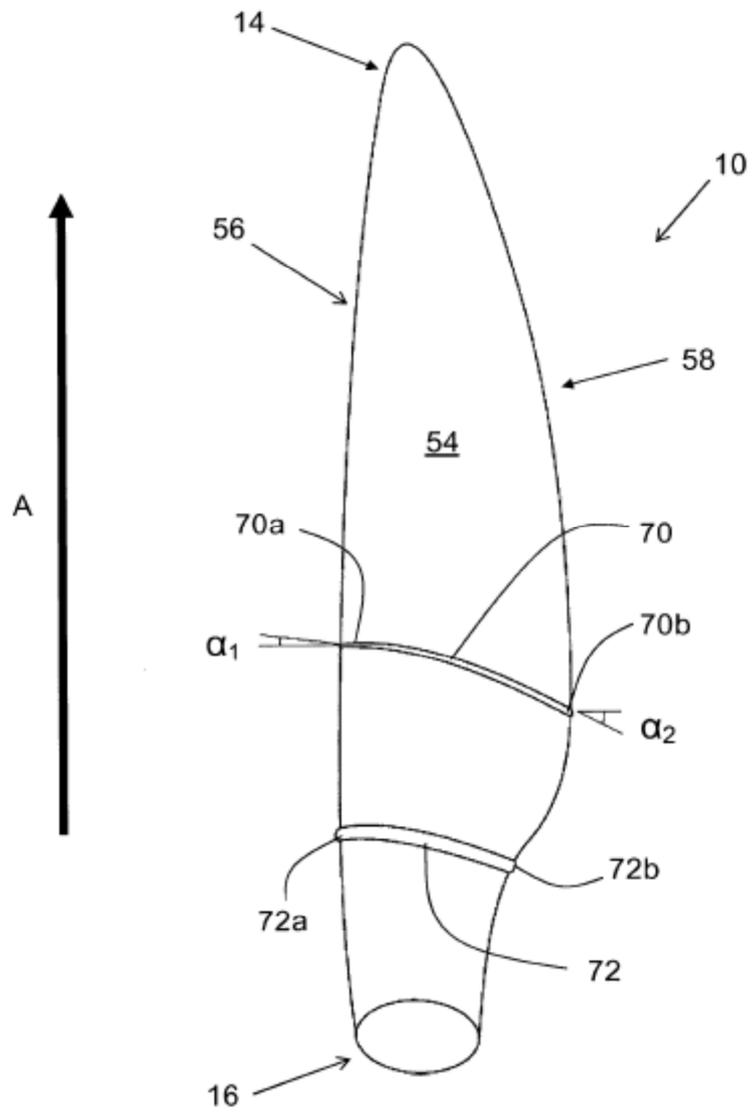


Fig. 4

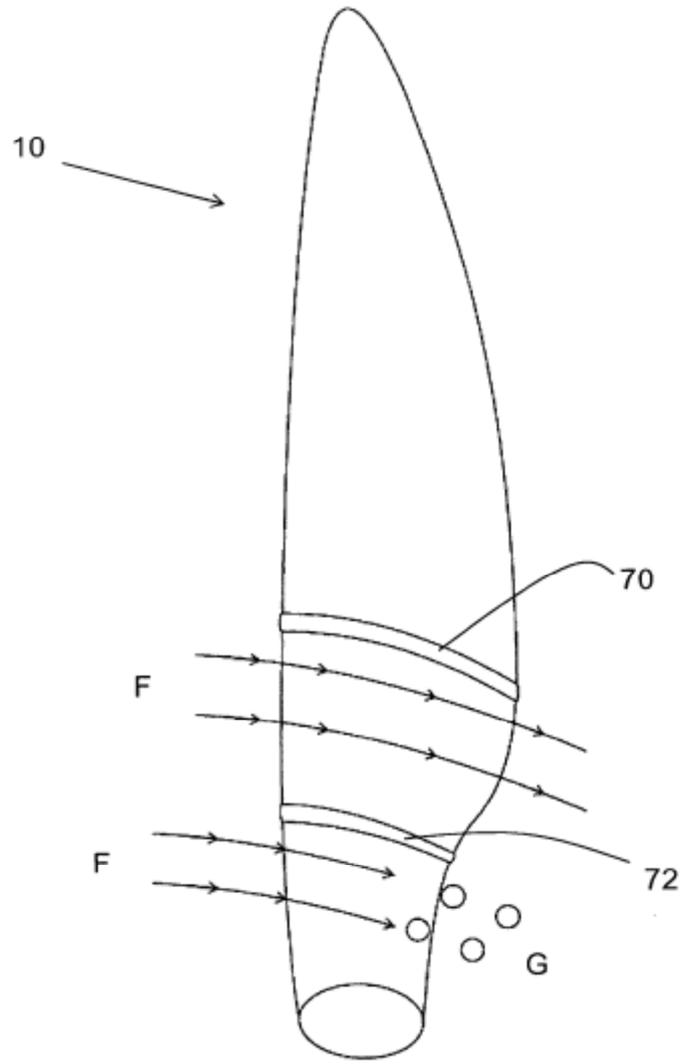


Fig. 5

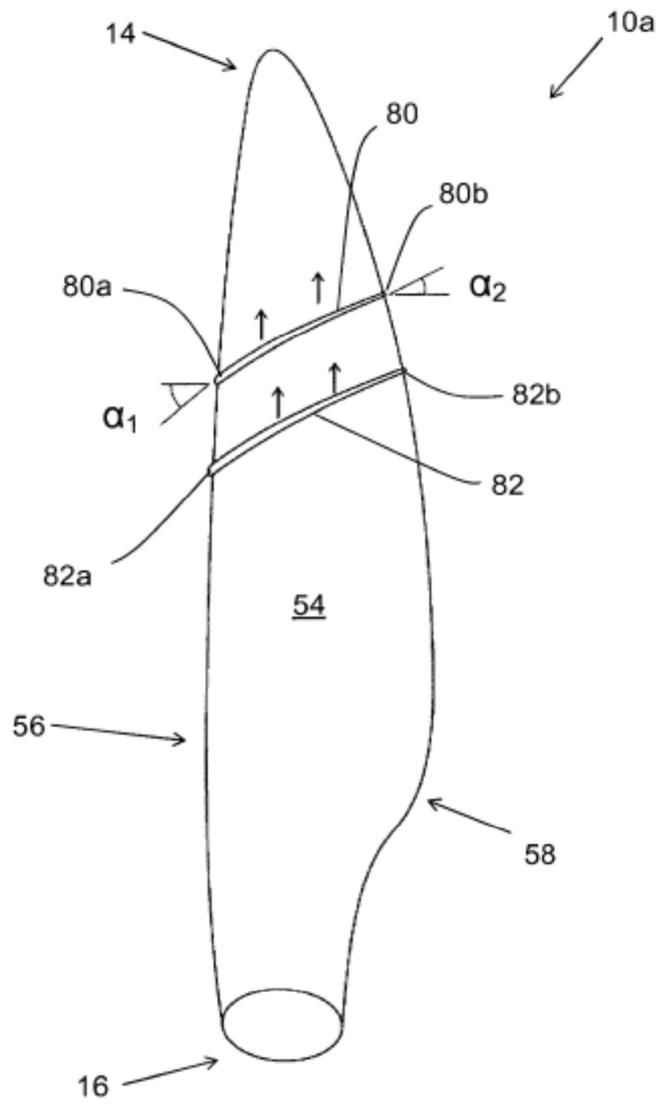


Fig. 6

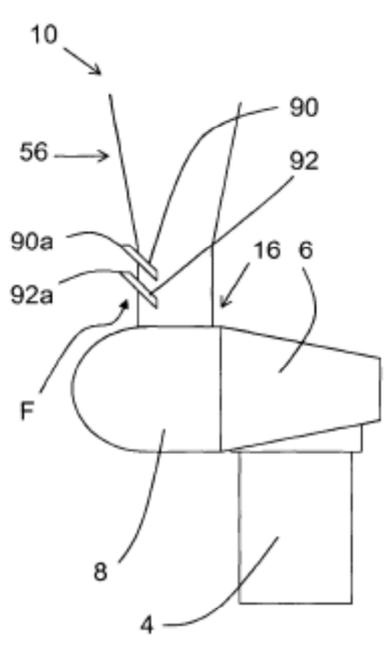


Fig. 7(a)

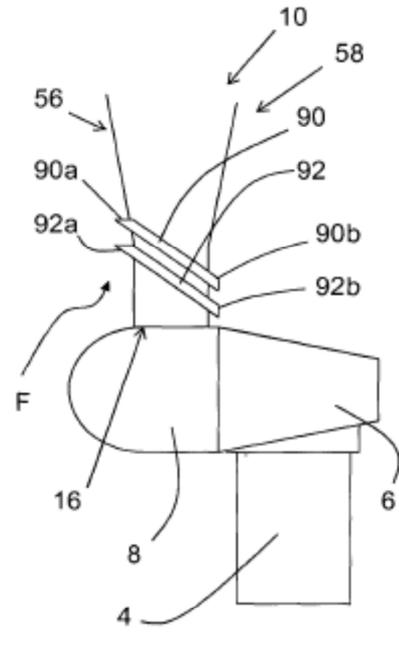


Fig. 7(b)

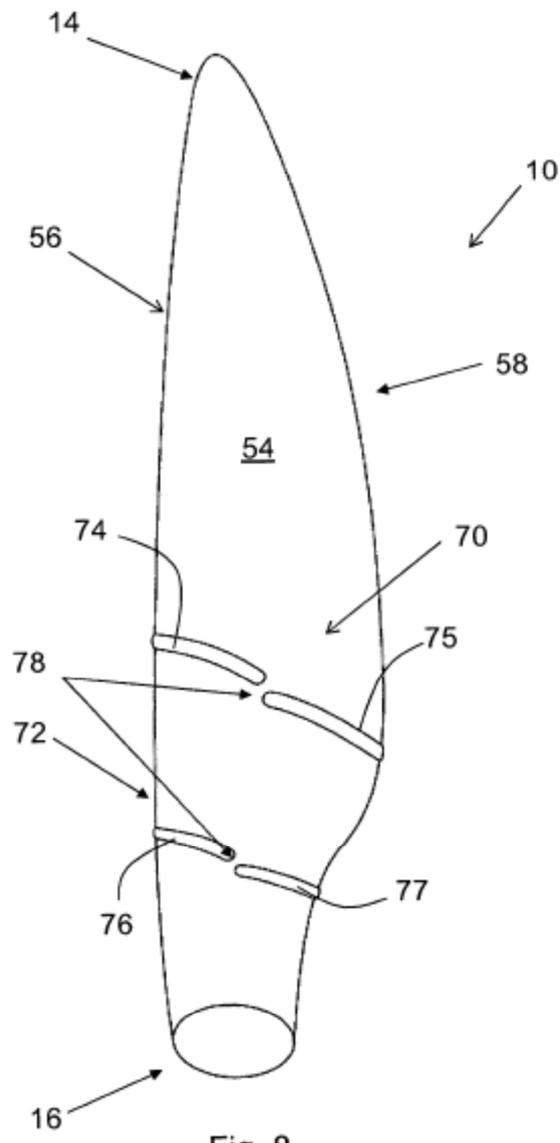


Fig. 8

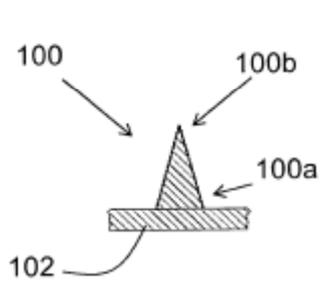


Fig. 9(a)

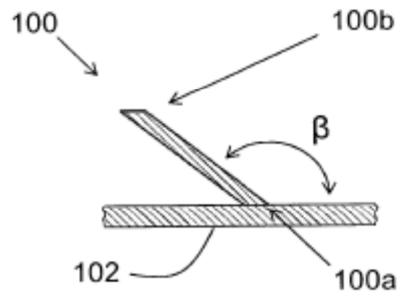


Fig. 9(b)

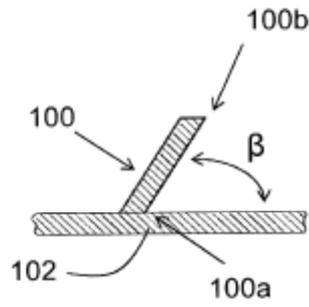


Fig. 9(c)

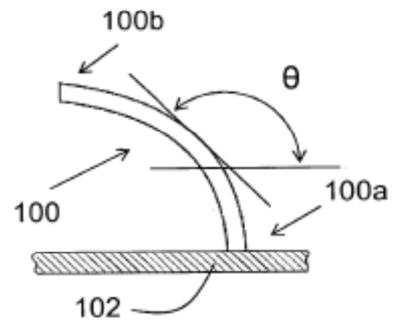


Fig. 9(d)

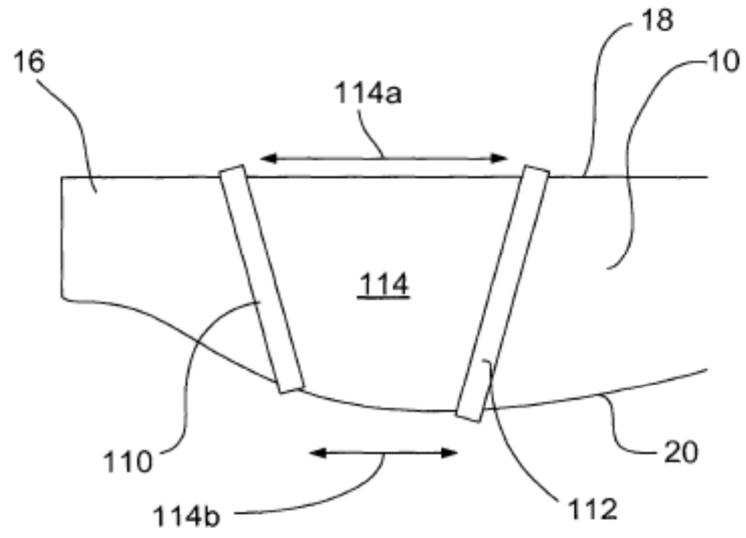


Fig. 10(a)

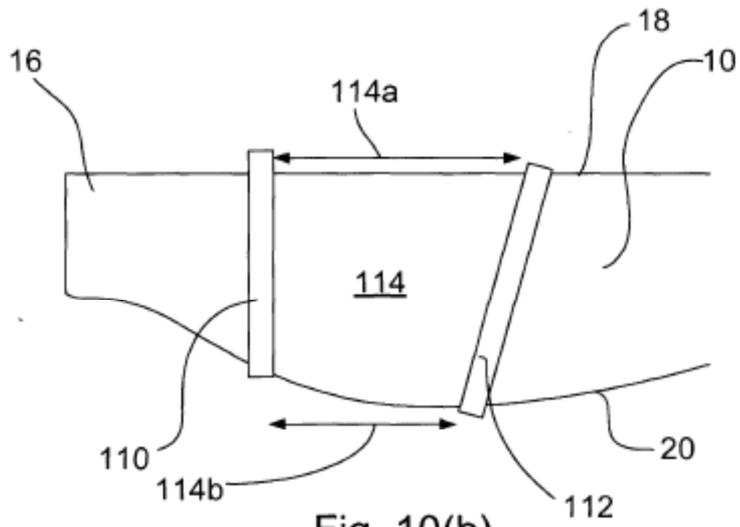


Fig. 10(b)

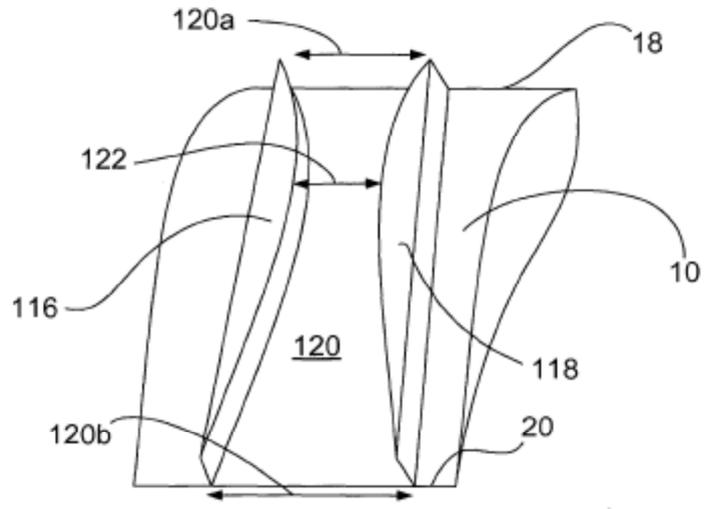


Fig. 11(a)

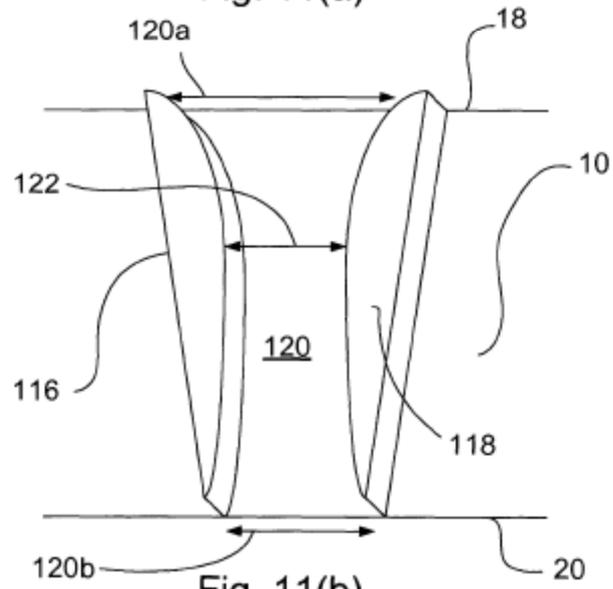


Fig. 11(b)