

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 514**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/00** (2006.01)

**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2012 PCT/EP2012/064301**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2013 WO13014082**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2012 E 12737573 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2736805**

54 Título: **Álabe de turbina eólica que comprende generadores de vórtice**

30 Prioridad:

**22.07.2011 EP 11175052**  
**21.02.2012 GB 201202894**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.11.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MADSEN, JESPER;**  
**WÜRTH, INES;**  
**HANSEN, ROLF y**  
**MÜLLER, OLAF**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 640 514 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**

Álabe de turbina eólica que comprende generadores de vórtice

5 La presente invención se relaciona con un álabe de turbina eólica que comprende generadores de vórtice, en particular un álabe de turbina eólica que comprende generadores de vórtice dispuestos en la superficie lateral de succión del álabe de turbina eólica.

Antecedentes

10 Los fabricantes de turbina eólica están constantemente haciendo esfuerzos para mejorar la eficiencia de sus turbinas eólicas con el fin de maximizar la producción de energía anual. Además, los fabricantes de turbinas eólicas están interesados en prolongar el tiempo de vida de sus modelos de turbina eólica, ya que toma mucho tiempo y muchos recursos desarrollar un nuevo modelo de turbina eólica. Una manera obvia de mejorar la eficiencia de la turbina eólica, es mejorar la eficiencia de los álabes de turbina eólica, de tal manera que la turbina eólica pueda generar una mayor potencia de salida a una velocidad de viento dada.

15 El documento WO 01/16482 divulga un álabe que se suministra con generadores de vórtice dispuestos en un patrón en forma de U a lo largo de una línea que es convexa como se ve desde el borde de salida del álabe de la turbina eólica.

El documento WO 02/08600 divulga un álabe que se suministra con generadores de vórtice dispuestos a lo largo de una línea que es paralela al borde de salida del lado de presión del álabe.

El documento WO 2010/100237 divulga un alabe que se suministra con generadores de vórtice dispuestos a lo largo de una línea recta.

20 De acuerdo con esto, subsiste la necesidad de formas de mejor la eficiencia de los nuevos y/o existentes álabes.

Resumen

De acuerdo con esto, es un objeto de la presente invención suministrar un álabe de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas que posibilitan mayor rendimiento de energía.

25 Se suministra un álabe de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica de viento que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, el rotor comprende un cubo desde el cual el álabe de turbina eólica se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el cubo, un álabe de turbina eólica que se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje de inclinación y tiene un extremo de punta y un extremo de raíz así como álabe una longitud de álabe, el álabe de la turbina eólica comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como álabe un borde de entrada y un borde de salida con una cuerda que tiene  
30 una longitud de cuerda que se extiende entre estas, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente genera un levantamiento, en donde el lado de succión del álabe de la turbina eólica se suministra con una pluralidad de generadores de vórtice ubicados a lo largo de una línea montante que tiene un punto de extremo próximo más cercano a la raíz y un punto de extremo distante más cercano al extremo de punta. La línea montante es una línea cóncava vista desde el borde de salida del álabe de turbina eólica, donde el punto de extremo próximo se ubica  
35 en un intervalo de longitud de álabe de 0-0.12 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 2%-20%, y en donde el punto de extremo distante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.2 L a 0.5 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 25%-75%.

40 Además, un método para retroajustar un álabe de turbina eólica que se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje de inclinación y que tiene un extremo de punta y un extremo de raíz así como álabe una longitud de álabe, el álabe de turbina eólica comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como álabe se suministra un borde de entrada y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre estas, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente genera un levantamiento. El método comprende montar una pluralidad de generadores de vórtice a lo largo  
45 de una línea montante que tiene un punto de extremo próximo más cercano al extremo de raíz y un punto de extremo distante más cercano al extremo de punta. La línea montante es una línea cóncava vista desde el borde de salida de la hoja de turbina eólica, en donde el punto de extremo próximo se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0-0.12 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 2%-20%, y en donde el punto de extremo distante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.2 L a 0.5 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 25%-75%. El método puede comprender montar generadores de vórtice para suministrar una turbina  
50 eólica como se describe aquí.

La línea montante cóncava es preferiblemente cóncava a lo largo de la línea montante completa. En otras palabras, una línea dibujada entre los dos puntos extremos no debe cruzar la línea montante.

5 El ábabe de la turbina eólica de acuerdo con la presente invención suministra flujo mejorado y un ábabe de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas posibilitando de esta manera una mayor producción de energía de la turbina eólica con respecto al ábabe de turbina eólica respectiva. En particular, se suministra un ábabe de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas en la región de transición y una primera parte de la región aerodinámica del ábabe.

Breve descripción de los dibujos

10 Las características y ventajas anteriores y otras de la presente invención serán fácilmente evidentes para aquellos expertos en la técnica mediante la siguiente descripción detallada de las realizaciones de ejemplo de la misma con referencia a los dibujos anexos en los cuales:

La Fig. 1 muestra una turbina eólica

La Fig. 2 muestra una vista esquemática de un ábabe de turbina eólica con generadores de vórtice de acuerdo con la invención.

15 La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico

La Fig. 4 muestra una vista esquemática de un ábabe de turbina eólica visto desde arriba y desde el lado,

La Fig. 5 ilustra una sección transversal de ejemplo de un alabe de turbina eólica en el punto extremo próximo,

La Fig. 6 ilustra esquemáticamente generadores de vórtice montados en el lado de succión de un ábabe de turbina eólica

20 La Fig. 7 es una vista en perspectiva de un generador de vórtice

La Fig. 8 ilustra una parte de un alabe de turbina eólica de ejemplo de acuerdo con la invención, y

La Fig. 9 ilustra una parte de un ábabe de turbina eólica de ejemplo de acuerdo con la invención

Descripción detallada

25 Las figuras son esquemáticas y simplificadas por claridad, ellas simplemente muestran detalles que son esenciales para el entendimiento de la invención, aunque otros detalles se han omitido. En todo el texto, los mismos numerales de referencia se utilizan para las partes idénticas o correspondientes.

30 El ábabe de turbina eólica de acuerdo con la presente invención permite una configuración de generación de vórtice, donde los generadores de vórtice están dispuestos cerca al área de la posible o esperada separación de flujo en el lado de succión de un correspondiente ábabe de turbina eólica sin los generadores de vórtice, la separación de flujo es causada por el perfil aerodinámico sub óptimo inherente sin los generadores de vórtice, la separación de flujo es causada por el perfil aerodinámico sub óptimo inherente de la región de raíz y la región de transición. De acuerdo con esto, el ábabe de la turbina eólica suministra un perfil de separación mejorado al mover la separación hacia el borde de salida y aun evitando la separación en el lado de succión del ábabe de la turbina eólica. Al mismo tiempo, el arrastre inducido desde los generadores de vórtice que sobresalen de la superficie lateral de succión se minimiza, ya que ellos se mueven tan cercano cómo es posible al borde de salida del ábabe.

40 La distancia a manera de cuerda entre los generadores de vórtice y la línea de separación esperada para un ábabe de turbina eólica sin los generadores de vórtice puede no ser demasiado pequeño, ya que la posición de la línea de separación cambia durante las diferentes condiciones operativas. De otro lado, la distancia a manera de cuerda desde la línea de separación esperada no puede ser demasiado grande, ya que el efecto de los generadores de vórtice se reduce con la distancia creciente. Se desea que los generadores de vórtice se ubiquen entre la línea de separación esperada y el borde de entrada con el fin de obtener el efecto óptimo. Además, se puede desear disponer los generadores de vórtice tan lejos del borde de entrada o tan cerca al borde de salida como sea posible con el fin de reducir o eliminar los efectos de arrastre. Los generadores de vórtice están típicamente dispuestos entre la línea de separación esperada y el borde de entrada del ábabe de turbina eólica.

45 Se reconoce que la superficie del ábabe de turbina eólica misma se curva. Por lo tanto, una línea montante cóncava se debe entender como una línea, que cuando se proyecta hacia el plano de la cuerda del ábabe es cóncava, o

5 equivalentemente que la línea montante puede ser cóncava desde el borde de salida en una vista superior del lado de succión del álabe. Álabe se entiende que la pluralidad de los generadores de vórtice comprende un generador de vórtice próximo ubicado en el punto de extremo próximo y un generador de vórtice distante ubicado en el punto de extremo distante así como álabe el menos uno y preferiblemente una pluralidad del generador de vórtice intermedio entre el generador de vórtice próximo y el generador de vórtice distante. El o los generadores de vórtice intermedios se pueden ubicar en punto o puntos intermedios en la línea montante. En una realización, los segmentos de línea de la línea montante, es decir, una parte de la línea montante puede ser cóncava.

10 Un generador de vórtice puede comprender una base con una posición central y uno o un par de paletas que incluyen una primera paleta y opcionalmente una segunda paleta que sobresalen de la base. Las posiciones centrales de los generadores de vórtice pueden definir los puntos de extremo y los puntos intermedios de la línea montante.

15 La pluralidad de los generadores de vórtice puede comprender uno o más conjuntos de generadores de vórtice, por ejemplo, un primer conjunto de generadores de vórtice ubicados a lo largo del primer segmento de línea de la línea montante y/o un segundo conjunto de generadores de vórtice ubicados a lo largo del segundo segmento de línea de la línea montante. La pluralidad de generadores de vórtice o el o los conjuntos de los generadores de vórtice, tal como el primer conjunto de generadores de vórtice ubicados a lo largo de un primer segmento de línea y/o un segundo conjunto de generadores de vórtice ubicados a lo largo de un segundo segmento de línea, pueden comprender al menos 10, al menos 20, al menos 30, al menos 40 o al menos 50 generadores de vórtice.

20 La línea montante puede seguir la posición central de los generadores de vórtice o alternativamente el borde de entrada de los generadores de vórtice. La línea montante o el o los segmentos de línea de la misma puede seguir o coincidir de manera sustancial con una línea que define la senda más corta entre dos puntos, por ejemplo, entre dos puntos intermedios o entre un punto de extremo o un punto intermedio de la línea montante, a lo largo de la superficie lateral de succión del álabe de turbina eólica.

25 La línea montante puede extenderse a lo largo de una parte de la longitud del álabe. La línea montante se puede extender a lo largo del 10% al 50% de la longitud del álabe, tal como a lo largo del 15 al 40%. En una o más realizaciones, la línea montante se extiende a lo largo del 20 a 35% de la longitud del álabe.

La línea montante puede formar una curva cóncava suave. Sin embargo, en la práctica puede ser problemático disponer los generadores de vórtice a lo largo de una curva cóncava suave, en particular ya que los generadores de vórtice están a menudo montados sobre o por vía de tiras. Por lo tanto, de acuerdo con una realización ventajosa particular, la línea montante cóncava se divide en dos o más segmentos de línea recta.

30 El contorno perfilado del álabe de turbina eólica se puede dividir en una región de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular elíptico más cercano al cubo, una región aerodinámica que tiene un perfil que genera alzamiento más alejado del cubo, y una región de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica, la región de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial desde el perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil que genera alzamiento en la región aerodinámica. El contorno perfilado puede tener un hombro con un ancho de hombro y ubicado en el límite entre la región de transición y la región aerodinámica. El hombro se puede ubicar en un intervalo de 0.15 L a 0.25 L, o 0.18 L a 0.25 L, o 0.19 L a 0.24 L desde el extremo de raíz, donde L es la longitud del álabe de turbina eólica. La línea montante se puede extender a lo largo de sustancialmente la región de transición completa del álabe.

40 El punto extremo próximo de la línea montante se ubica cerca al extremo de raíz, por ejemplo, en un intervalo de longitud de álabe de 0-0.12 L desde el extremo de raíz. En una o más realizaciones, el punto de extremo próximo se ubica en un intervalo de longitud de alabe de 0-0.10 L, tal como 0-0.08 L o 0-0.06 L desde el extremo de raíz.

45 El punto de extremo próximo se ubica a una distancia a manera de cuerda desde el borde de entrada. El punto de extremo próximo se ubica en una posición de cuerda relativa de 2%-20% desde el borde de entrada. En una o más realizaciones, el punto de extremo próximo se ubica en una posición de cuerda relativa de 3%-15%, o 5-15%, por ejemplo, aproximadamente 10% desde el borde de entrada.

El punto de extremo distante se puede ubicar en la región de transición o en la región aerodinámica. El punto de extremo distante de la línea montante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.2 L a 0.5 L desde el extremo de raíz. En una o más realizaciones el punto de extremo distante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.25 L a 0.45 L, tal como desde 0.3 L a 0.4 L, desde el extremo de raíz.

50 El punto de extremo distante se ubica a una distancia a manera de cuerda desde el borde de entrada. El punto de extremo distante de la línea montante se puede ubicar en una posición de cuerda relativa de 25%-75% desde el borde de entrada. En una o más realizaciones, el punto de extremo distante se ubica en una posición de cuerda relativa de 30-60%, por ejemplo, aproximadamente 50% desde el borde de entrada.

## ES 2 640 514 T3

Una tangente al punto de extremo próximo de la línea montante puede formar un ángulo con un eje de inclinación, por ejemplo, en el rango de 0 a 10 grados, o de 0 a 5 grados.

5 Una tangente al punto de extremo distante de la línea montante puede formar un ángulo con el eje de inclinación en el rango de 5 grados a 45 grados, o 5 grados a 35 grados, o 5 grados a 25 grados, o 5 grados a 15 grados, tal como 8 grados.

La diferencia en los ángulos de tangente y/o una distancia a manera de cuerda desde el borde de entrada, suministra un álabe de turbina eólica que muestra propiedades aerodinámicas mejoradas, en particular cerca o en el hombro y la región de transición.

10 La línea montante puede comprender al menos un punto intermedio, en donde el al menos un punto intermedio divide la línea montante en una pluralidad de segmentos de línea que incluye un primer segmento de línea y un segundo segmento de línea. El primer segmento de línea puede ser recto y/o el segundo segmento de línea puede ser recto. Un segmento de línea recto se puede definir como una línea recta en el plano de la cuerda o equivalentemente que el segmento de línea sea recto en una vista superior del lado de succión del álabe. Además, un segmento de línea recta se puede definir como la senda que define la distancia más corta entre dos puntos a lo largo de la superficie exterior del álabe de turbina eólica.

15 Un primer segmento de línea recta puede formar un primer ángulo con el eje de inclinación en el rango de 0 a 10 grados, tal como 0 a 5 grados.

20 Un segundo segmento de línea recta puede formar un segundo ángulo con el eje de inclinación en el rango de 2 grados a 60 grados o desde 5 a 45 grados. En una o más realizaciones, el segundo ángulo puede ser de 5 a 10 grados, por ejemplo aproximadamente 8 grados.

25 El primer punto intermedio se puede ubicar en un intervalo de longitud de álabe de 0.05 L a 0.30 L desde el extremo de raíz. En una o más realizaciones, el primero punto intermedio se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.08 L a 0.20 L, tal como 0.10 L a 0.17 L, desde el extremo de raíz. El primer punto intermedio se puede ubicar entre el extremo de raíz y el hombro. El primer punto intermedio se puede ubicar en una posición de cuerda relativa de 2%-20% desde el borde de entrada. En una o más realizaciones, el primer punto intermedio se ubica en una posición relativa de cuerda de 3%-15%, o 5%-15%, por ejemplo, aproximadamente 10% desde el borde de entrada.

30 La línea montante puede comprender un segundo punto intermedio. El segundo punto intermedio se puede ubicar en un intervalo de longitud de álabe de 0.10 L a 0.4 L desde el extremo de raíz. En una o más realizaciones, el segundo punto intermedio se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.15 L a 0.3 L desde el extremo de raíz. El segundo punto intermedio se puede ubicar entre el hombro y el extremo de punta.

El segundo punto intermedio se puede ubicar en una posición de cuerda relativa de 5%-30% desde el borde delantero. En una o más realizaciones, el primer punto intermedio se ubica en una posición de cuerda relativa de 15-25%, por ejemplo, aproximadamente 20% desde el borde de entrada.

35 Un tercer segmento de línea, por ejemplo, entre el segundo punto intermedio y el punto de extremo distante pueden formar un tercer ángulo con el eje de inclinación en el rango de 2 grados a 60 grados o de 5 a 45 grados. En una o más realizaciones, el tercer ángulo puede ser de 5 a 15 grados, por ejemplo, aproximadamente 12 grados. Los segmentos de línea de la línea montante forman ángulos con el eje de inclinación. Los ángulos pueden incrementarse con la distancia desde el extremo de raíz. Por ejemplo, un segundo segmento de línea más cercano al extremo de punta que un primer segmento de línea puede formar un segundo ángulo con el eje de inclinación mayor que el primer ángulo entre el primer segmento de línea y el eje de inclinación. Adicionalmente o como una alternativa, un tercer segmento de línea más cercano al extremo de punta que un segundo segmento de línea pueden formar un tercer ángulo con un eje de inclinación mayor que el segundo ángulo entre el segundo segmento de línea y el eje de inclinación.

40 En general, los generadores de vórtice a lo largo de la línea montante se pueden alinear con los bordes de entrada de los generadores de vórtice sustancialmente paralelos a las tangentes de la línea montante en las respectivas posiciones del generador de vórtice. Sin embargo, uno o más generadores de vórtice se pueden rotar alrededor de la posición central con el fin de suministrar un ángulo de ataque deseado para él o las paletas del respectivo generador de vórtice. Por ejemplo, un borde de entrada de un generador de vórtice sobre un segundo o tercer segmento de línea puede ser paralelo al eje de inclinación o formar un ángulo con el eje de inclinación menor de 3 grados.

50 Por ejemplo, un segundo conjunto de generadores de vórtice ubicados a lo largo de un segundo segmento de línea de la línea montante se puede disponer de tal manera que las primeras paletas de la misma forman los respectivos primeros ángulos de ataque (ángulo entre el eje de inclinación y la línea de paleta en la base) en el rango de 65 grados a 80 grados o de 70 grados a 75 grados. Adicionalmente o como una alternativa, el generador de vórtice distante

## ES 2 640 514 T3

ubicado en el punto de extremo distante puede comprender una primera paleta que forma un primer ángulo de ataque con el primer eje de inclinación en el rango de 65 grados a 80 grados o de 70 grados a 75 grados.

Los generadores de vórtice se pueden suministrar como un arreglo de generadores de vórtice que comprenden un arreglo de generadores de vórtice que comprenden un arreglo de pares de generadores de vórtice.

- 5 De acuerdo con esto, se suministra un arreglo de generadores de vórtice (VG) para uso en un perfil aerodinámico, preferiblemente en un álabe de turbina eólica, dicho perfil aerodinámico tiene un borde de entrada y un borde de salida, dichos VG suministrados como un arreglo de los pares de VG, dichos VG comprenden paletas VG sustancialmente triangulares que se proyectan desde una superficie de dicho perfil aerodinámico, cada uno de dichos pares comprende un primer VG y un segundo VG, donde dichos VG comprenden:
- 10 Un primer extremo suministrado hacia dicho borde de entrada;
- Un segundo extremo suministrado hacia dicho borde de salida;
- Una base que se extiende entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo adyacente a la superficie del perfil de ala; y
- 15 Una punta suministrada en el extremo distante de dicha paleta VG triangular, en donde dichos VG son sesgados con relación a la dirección de flujo del perfil de ala, y en donde
- $l$  es la longitud de la base de los VG
- $s$  es la distancia entre los respectivos segundos extremos del primer y segundo VG en el par de VG;
- $h$  es la altura desde dicha superficie de dicha punta de un VG en un par de VG;
- $z$  es la distancia entre las líneas centrales nominales definidas entre el primer y el segundo VG de los pares de VG adyacentes en el arreglo; y
- 20  $\beta$  es el ángulo de sesgado de los VG con relación a la dirección de flujo del perfil de ala, caracterizado porque:
- $l/h$  está entre 1- 5, preferiblemente aproximadamente 2;
- $s/h$  está entre 4-5, preferiblemente entre 6-10, más preferiblemente aproximadamente 7;
- $z/h$  está entre 7-20, preferiblemente entre 8-15, más preferiblemente aproximadamente 10; y
- 25  $\beta$  está entre 6-16 grados, preferiblemente entre 9-13 grados, más preferiblemente aproximadamente 12 grados.
- Al disponer los generadores de vórtice de acuerdo con estos rangos, se presentó una sorprendente mejora en el desempeño aerodinámico cuando se comparó con la técnica anterior. Aunque se encontró que la variación de los valores individuales y las proporciones incrementa el arrastre generado por los generadores de vórtice con respecto a la técnica anterior, se encontró un efecto sorprendente para estos rangos, en donde el arreglo generador de vórtice propuesto para reducir el arrastre e incrementar el levantamiento cuando se compara con el sistema de la técnica anterior.
- 30 Preferiblemente, dichos VG comprenden paletas VG triangulares con ángulo recto, en donde la hipotenusa de dichas paletas se extiende desde la base en dicho primer extremo a la punta distante en dicho segundo extremo
- Preferiblemente, los VG de dichos pares de VG tienen un ángulo con relación a la dirección de flujo sobre el perfil de ala. Preferiblemente, los VG de dichos pares de VG suministraron un arreglo convergente en el primer extremo de un par de VG
- 35 Preferiblemente, los primeros extremos de los VG adyacentes forman un extremo estrecho, relativamente convergente del par de VG, y que los segundos extremos de los VG adyacentes forman un extremo más amplio, divergente del par de VG
- 40 Preferiblemente, el ángulo  $\beta$  se mide desde los primeros extremos respectivos hacia los segundos extremos

En comparación con el estado de la técnica descrito en Godard [G. Godard & M. Stanislas; Control a decelerating boundary layer. Part 1: Optimization of passive vortex generators; Aerospace Science and Technology 10 (2006) 181-191], mientras que se tiene una proporción  $l/h$  de entre 4-15, al incrementar la proporción de  $s/h$  a entre 4-15, incrementar la proporción de  $z/h$  a entre 7-20, y reducir  $\beta$  a entre 6-16 grados, se descubrió una mejora sorprendente en el desempeño aerodinámico, dando como resultado una configuración mejorada de los pares generadores de vórtice sobre un perfil de ala.

Aunque individualmente uno cualesquiera de los ajustes anteriormente descritos al arreglo generador de vórtice resultarían un incremento en el arrastre y un impacto negativo sobre el desempeño aerodinámico, la combinación de estos ajustes de característica presentan una mejora sobre la técnica anterior, que no se piensa o sugiere en el estado de la técnica.

Se suministra además un álabe de turbina eólica que tiene un arreglo de generadores de vórtice como se describió anteriormente y una turbina eólica que tiene al menos uno de tales álabes de turbina eólica.

La Fig. 1 ilustra una turbina 2 aerodinámica a barlovento moderna convencional de acuerdo con el así llamado "concepto Danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un cubo 8 y tres álabes 10 de turbina eólica que se extienden radialmente desde el cubo 8, cada uno de los álabes de turbina tienen una raíz de álabe o extremo 16 de raíz más cercano al cubo y una punta de álabe o extremo 14 de punta más allá del cubo 8. El rotor tiene un radio denotado como R.

La Fig. 2 muestra una vista esquemática de un álabe 10 de turbina eólica de acuerdo con la presente invención. El álabe 10 de turbina eólica tiene la forma de un álabe de turbina eólica convencional y comprende una región 30 de raíz más cercana al cubo, una región 34 perfilada o aerodinámica más alejada del cubo y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 aerodinámica. El álabe 10 comprende un borde 18 de entrada que enfrenta la dirección de rotación del álabe 10, cuando el álabe se monta sobre el cubo, y un borde 20 de salida que enfrenta la dirección opuesta al borde 18 de entrada.

La región 34 aerodinámica (álabe denominada región perfilada) tiene una forma de álabe ideal o casi ideal con respecto al levantamiento generado, mientras que la región 30 de raíz debido a consideraciones estructurales tienen una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, que por ejemplo hace más fácil y más seguro montar el álabe 10 al cubo. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz puede ser constante a lo largo del área 30 de raíz completa. La región 32 de transición tiene un perfil de transición gradual que cambia gradualmente desde el borde circular o elíptico de la región 30 de raíz al perfil aerodinámico de la región 34 aerodinámica. La longitud de la cuerda de la región 32 de transición típicamente se incrementa con el incremento de la distancia  $r$  desde el cubo. La región 34 aerodinámica tiene un perfil aerodinámico con una cuerda que se extiende entre el borde 18 de entrada y el borde 20 de salida del álabe 10. El ancho de la cuerda disminuye con el incremento de la distancia  $r$  desde el cubo. La forma del álabe en la región de raíz y la región de transición no es óptima con relación a la aerodinámica, sin embargo, necesaria debido a consideraciones estructurales. Se debe notar que las cuerdas de las diferentes secciones del álabe normalmente no descansan en un plano común, ya que el álabe se puede entorchar y/o curvar (es decir predoblar) suministrando así la cuerda o plano de cuerda con un curso entorchado y/o curvado correspondientemente, siendo este más a menudo el caso con el fin de compensar la velocidad local del álabe que es dependiente del radio desde el cubo.

El lado de succión del álabe de la turbina eólica se suministra con una pluralidad de generadores de vórtice ubicados a lo largo de una línea 36 montante que tiene un punto 37A de extremo próximo con un generador 37A' de vórtice próximo más cercano al extremo de raíz y un punto 37B de extremo distante con un generador 37B' de vórtice distante más cercano al extremo de punta. La línea 36 montante es una línea cóncava vista desde el borde 20 de salida del álabe de turbina eólica. Los generadores de vórtice se montan entre una línea 38 de separación esperada y un borde 18 delantero del álabe de turbina eólica. Un primer punto 37C intermedio con un primer generador 37C' de vórtice intermedio divide la línea 36 montante en un primer segmento de línea recta que se extiende desde el punto 37A de extremo próximo al primer punto 37C intermedio y un segundo segmento de línea recta que se extiende desde el primer punto 37C intermedio al punto 37B de extremo distante.

Las Figs. 3 y 4 describen parámetros, que se pueden utilizar para explicar la geometría del álabe de turbina eólica de acuerdo con la invención.

La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 aerodinámico de un álabe típico de una turbina eólica descrita con los varios parámetros, que son típicamente utilizados para definir la forma geométrica de un perfil de ala. El perfil 50 aerodinámico tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión, el cual durante el uso, es decir, durante la rotación del rotor- normalmente se enfrenta hacia el lado del viento (o barlovento y el lado de sotavento o a favor del viento), respectivamente. El perfil de ala 50 tiene una cuerda 60 con una longitud  $c$  de cuerda que se extiende entre el borde 56 de entrada y el borde 58 de salida del álabe. El perfil de ala 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  $t$  del perfil de ala varía a lo largo de la curda 60. La desviación de un perfil simétrico es dada por una línea 62 de convexidad, que es una línea mediana a través de un

## ES 2 640 514 T3

perfil 50 aerodinámico. La línea mediana se puede encontrar al dibujar los círculos inscritos desde el borde 56 de entrada al borde 58 de salida. La línea mediana sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación a distancia desde la cuerda 60 es llamada la convexidad  $f$ . La asimetría álabes se puede definir mediante el uso de parámetros denominado convexidad superior (o convexidad del lado de succión) y convexidad inferior (o convexidad del lado de presión) que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado 54 de succión y el lado 52 de presión, respectivamente.

Los perfiles aerodinámicos a menudo se caracterizan por los siguientes parámetros: La longitud  $c$  de cuerda, la convexidad  $f$  máxima, la posición  $d_f$  de la convexidad  $f$  máxima, el grosor  $t$  aerodinámico máximo, que es el diámetro más largo de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de convexidad mediana, la posición  $d_t$  del grosor  $t$  máximo, un radio de nariz (no mostrado). Esos parámetros se definen típicamente como las proporciones de la longitud  $c$  de la cuerda. Así, un grosor  $t/c$  de álabes relativo local es dado como la proporción entre el grosor  $t$  máximo local y la longitud  $c$  de cuerda local. Además, la posición  $d_p$  de la convexidad lateral de presión máxima se puede utilizar como un parámetro de diseño, y por supuesto álabes la posición de la convexidad lateral de succión máxima.

La Fig. 4 muestra otros parámetros geométricos del álabes de turbina eólica. El álabes de turbina eólica tiene una longitud  $L$  de álabes total. Como se muestra en la Fig. 3, el extremo de raíz se ubica en la posición  $r = 0$ , y el extremo de punta ubicado en  $r = L$ . Un hombro 39 del álabes 10 se define como la posición, donde el álabes 10 tiene su longitud de cuerda más larga. El hombro 39 se suministra típicamente en el límite entre la región 32 de transición y la región 34 eólica. El hombro 39 del álabes se ubica en la posición  $r = L_w$ , y tiene un ancho  $W$  de hombro, que iguala la longitud de la cuerda en el hombro 39. El diámetro de la raíz se define como  $D$ . La curvatura del borde de salida del álabes en la región de transición se puede definir mediante dos parámetros, un radio  $r_0$  de curvatura exterior mínima y un radio  $r_i$ , y de curvatura interior mínima, que se definen como el radio de curvatura mínimo del borde de salida, visto desde el exterior (o detrás del borde de salida), y el radio de curvatura mínimo, visto desde el interior (o al frente del borde de salida), respectivamente. Además, el álabes se puede suministrar con un pre doblamiento, que se definió como  $\Delta y$ , que corresponde a la salida de la deflexión del plano desde el eje 22 de inclinación paralelo a la dirección longitudinal del álabes.

La Fig. 5 muestra una sección transversal de un álabes de turbina eólica perpendicular a la dirección longitudinal en la distancia  $d_{pp,1}$  del punto 37A de extremo próximo del extremo de raíz. La posición central del generador 37A' de vórtice próximo define el punto 37A de extremo próximo. El punto 37A de extremo próximo se ubica a una distancia a manera de cuerda de  $d_{pp,2}$  desde el borde de entrada. La distancia de  $d_{pp,2}$  puede estar en el rango de  $0.02c$  a  $0.2c$ , por ejemplo, aproximadamente  $0.10c$  como se ilustró, donde  $c$  es la longitud de la cuerda en la distancia  $d_{pp,1}$  desde el extremo de raíz.

La Fig. 6 muestra generadores 40A, 40B de vórtice de ejemplos montados en la superficie lateral de succión de un álabes de turbina eólica. Los generadores 40A, 40B de vórtice comprenden cada uno una base 42 con una primera paleta 44A y una segunda paleta 44B que se extienden desde la base 42. La base 42 tiene un borde 45 de entrada y una posición 46 central que pueden coincidir con o que definen parcialmente la línea 36 montante. El borde 45 de entrada puede en general ser paralelo a la línea montante y/o el borde 45 de entrada puede ser sustancialmente paralelo al eje de inclinación.

Los valores del parámetro de los generadores VG1, VG2, y VG3 de vórtice de ejemplo y su configuración sobre el lado de succión del álabes de turbina eólica se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros generadores de vórtice

Parámetro	Ref.	Unidad	VG1	VG2	VG3
Altura	$h$	[mm]	10 (5 -15)	20 (15 -25)	30 (25 -35)
Longitud (ancho)	$l$	[mm]	20 (10 -30)	40 (30-50)	60 (50-70)
Longitud (paleta superior)	$b$	[mm]	2.4 (1-4)	4.8 (3-6)	7.5 (6-9)
Espaciamiento	$s$	[mm]	30 (20-40)	60 (40 -80)	90 (70-100)
	$z$	[mm]	50 (30-70)	100 (75 -125)	150 (100-200)



Parámetro	Ref.	Unidad	VG1	VG2	VG3
Ángulo	a	[grado]	6 (3-9)		
	$\beta$	[grado]	18 (10-25)		
	a	[grado]	0.9 (0.5-1.5)		

5 En la Tabla 1, los valores z del parámetro de espaciamiento indicados para los generadores de vórtice vecinos del mismo tipo (VG1, VG2, VG3). Cuando se cambia de VG1 a VG2 en un panel o entre los generadores de vórtice vecinos, la distancia z entre VG1 y VG2 puede estar en el rango de 50 mm a 100 m, por ejemplo, 75 mm. Cuando se cambia de VG2 a VG3 en un panel o entre generadores de vórtice vecinos, la distancia z entre VG2 y VG3 puede estar en el rango de 100 mm a 150 m, por ejemplo 125 mm. Los generadores de vórtice vecinos se pueden rotar alrededor de su posición central en relación el uno con el otro con el fin de facilitar el ángulo de ataque óptimo y el flujo de viento a través del generador de vórtice. La base 42 puede ser plana, curvada sencilla o curvada doble con el fin de facilitar montar sobre el lado de succión del álabe de turbina eólica.

10 La Fig. 7 es una vista en perspectiva de un generador de vórtice que comprende una pluralidad de conjuntos de paleta montados sobre una base 42, cada conjunto de paleta comprende una primera paleta 44A y una segunda paleta 44B. Un ángulo de compensación puede ser agregado o sustraído del ángulo  $\beta$  de paleta de las diferentes paletas en la tabla 1 con el fin de adaptar el panel de vórtice para instalación en diferentes ángulos con respecto al eje de inclinación, acomodando de esta manera la dirección prevalente del flujo de entrada.

15 La Fig. 8 ilustra una parte de una paleta de turbina eólica de ejemplo de acuerdo con la invención. La paleta de la turbina eólica comprende una pluralidad de generadores de vórtice montados o dispuestos a lo largo de la línea 36 montante. El punto 37A de extremo próximo de la línea 36 montante se ubica cerca al extremo de raíz a una distancia de  $d_{pp,1} = 0.04 L$  desde el extremo de raíz. El punto 37A de extremo próximo se ubica a una distancia a manera de cuerda  $d_{pp,2} = 0.11 c$  desde el borde de entrada. Una tangente al punto de extremo próximo 37A es sustancialmente paralela al eje de inclinación que corresponde a un ángulo de 0 grados con el eje de inclinación. El punto 37B de extremo distante de la línea 36 montante se ubica en la región aerodinámica a una distancia de  $d_{pp,1} = 0.35 L$  desde el extremo de raíz y una distancia a manera de cuerda  $d_{pp,2} = 0.5c$  desde el borde de entrada. Una tangente al punto de extremo distante de la línea montante forma un ángulo con el eje de inclinación de aproximadamente 8 grados. La línea 36 montante comprende un primer punto 37C intermedio localizado en una distancia  $d_{im1,1} = 0.13 L$  desde el extremo de raíz y una distancia a manera de cuerda  $d_{im1,2} = 0.10c$  desde el borde de entrada. El primer punto 37C intermedio divide la línea montante en un primer segmento 48A de línea recta paralelo con el eje 22 de inclinación y un segundo segmento 48B de línea recta que forma un segundo ángulo  $\alpha_2$  de aproximadamente 8 grados con el eje 22 de inclinación. Un primer conjunto de generadores de vórtice comprende al menos 10 generadores de vórtice, tal como aproximadamente 35 generadores de vórtice, se ubica a lo largo del primer segmento A de línea. Un segundo conjunto de generadores de vórtice que comprende al menos 10 generadores de vórtice se ubica a lo largo del segundo segmento de línea.

La distancia a manera de cuerda desde el borde delantero puede incrementarse para los generadores de vórtice sobre las líneas montantes hacia el extremo de punta. Por ejemplo para un primer generador de vórtice intermedio y un segundo generador de vórtice intermedio sobre la línea montante,  $d_{im1,2} < d_{im2,2}$  donde  $d_{im1,1} < d_{im2,1}$ .

35 La Fig. 9 ilustra una parte de un álabe de turbina eólica de ejemplo de acuerdo con la invención donde la línea montante 36 comprende además un segundo punto 37D intermedio con un segundo generador 37D' de vórtice intermedio en el hombro entre el primer punto 37C intermedio y el punto 37B de extremo distante en la Fig. 8 y un tercer segmento 48C de línea con un tercer ángulo  $\alpha_3$  de aproximadamente 12 grados con el eje 22 de inclinación. El segundo segmento 48B de línea entre el primer punto 37C intermedio y el segundo punto 37D intermedio forman un segundo ángulo  $\alpha_2$  de aproximadamente 4 grados con el eje 22 de inclinación. La distancia  $d_{im2,1}$  es  $0.21 L$  y  $d_{im2,2}$  es de  $0.2c$ .

Se debe notar que además de las realizaciones de ejemplo de la invención mostrada en los dibujos que la acompañan, la invención puede tener una realización en diferentes formas y no se debe considerar como limitada por las realizaciones establecidas aquí. Por el contrario, estas realizaciones se suministran de tal manera que esta divulgación sea total y completa, y lleve completamente el concepto de la invención para aquellos expertos e la técnica.

45 Lista de referencias

- 2 turbina eólica
- 4 torre

## ES 2 640 514 T3

	6	góndola
	8	cubo
	10	álabe
	14	punta de álabe/extremo de punta
5	16	raíz de álabe/extremo de raíz
	18	borde de entrada
	20	borde de salida
	22	eje de inclinación
	30	región de raíz
10	32	región de transición
	34	región aerodinámica
	36	línea montante
	37A	punto de extremo próximo
	37A'	generador de vórtice próximo
15	37B	punto de extremo distante
	37B'	generador de vórtice distante
	37C	primer punto intermedio
	37C'	primer generador de vórtice intermedio
	37D	segundo punto intermedio
20	37D'	segundo generador de vórtice intermedio
	38	línea de separación
	39	hombro
	40A, 40B	generador de vórtice
	42	base
25	44A	primer paleta
	44B	segunda paleta
	45	borde de entrada
	46	posición central
	48A	primer segmento de línea
30	48B	segundo segmento de línea
	48C	tercer segmento de línea

## ES 2 640 514 T3

	50	perfil aerodinámico
	52	lado de presión
	54	lado de succión
	56	borde de entrada
5	58	borde de salida
	60	cuerda
	62	línea de convexidad/línea mediana
	C	longitud de cuerda
	$D_{pp,1}$	distancia desde el punto extremo próximo del extremo de raíz
10	$D_{pp,2}$	distancia a manera de cuerda del punto de extremo próximo desde el borde de entrada
	$D_{dp,1}$	distancia del punto de extremo distante del extremo de raíz
	$D_{dp,2}$	distancia a manera de cuerda del punto de extremo distante desde el borde de entrada
	$D_{im1,1}$	distancia desde el primer punto intermedio del extremo de raíz
	$D_{im1,2}$	distancia a manera de cuerda del primer punto intermedio desde el borde de entrada
15	$D_{im2,1}$	distancia desde el segundo punto intermedio del extremo de raíz
	$D_{im2,2}$	distancia a manera de cuerda del segundo punto intermedio del borde de entrada
	$\alpha_1$	primer ángulo entre el primer segmento de línea y el eje de inclinación
	$\alpha_2$	segundo ángulo entre el segundo segmento de línea y el eje de inclinación
	$\alpha_3$	tercer ángulo entre el tercer segmento de línea y el eje de inclinación
20	$d_t$	posición de grosor máxima
	$d_f$	posición de convexidad máxima
	$d_p$	posición de convexidad lateral de presión máxima
	$d_s$	distancia del hombro
	f	convexidad
25	L	longitud del álabe
	P	salida de potencia
	R	radio local, distancia radial desde la raíz del álabe
	T	grosor
	$v_w$	velocidad del viento
30	$\theta$	torsión, inclinación
	$\Delta y$	predoblado

**REIVINDICACIONES**

1. Un álabe (10) de turbina eólica para un rotor de una turbina (2) eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, el rotor comprende un cubo (8) desde el cual el álabe de turbina eólica se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta al cubo (8), al álabe de turbina eólica se extiende en una dirección (r) longitudinal a lo largo de un eje de inclinación y que tiene un extremo (16) de punta y un extremo (14) de raíz así como álabe una longitud de álabe, el álabe de turbina eólica comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como álabe un borde (18) de entrada y un borde (20) de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre estas, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente genera un levantamiento, en donde el lado de succión del álabe de turbina eólica se suministra con una pluralidad de generadores de vórtice ubicados a lo largo de una línea (36) montante que tiene un punto (37A) de extremo próximo más cercano al extremo de raíz y un punto de extremo distante (37B) más cercano al extremo de punta, caracterizado porque la línea montante es una línea cóncava vista desde el borde de salida del álabe de turbina eólica, en donde el punto de extremo próximo se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0-0.12 L desde el extremo de la raíz y en una posición de cuerda relativa de 2%-20%, y en donde el punto de extremo distante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.2 L a 0.5 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 25%-75%.
2. Un álabe de turbina eólica de acuerdo a la reivindicación 1, en donde la línea montante se extiende a lo largo del 10% a 50% de la longitud del álabe.
3. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el punto de extremo próximo se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0 - 0.10 L, o 0 - 0.08 L, o 0 - 0.06 L desde el extremo de raíz.
4. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el punto de extremo próximo se ubica en una posición de cuerda relativa de 2%-20%, o 3%-15%, o 5-15%, por ejemplo, aproximadamente 10% desde el borde de entrada.
5. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el punto de extremo distante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.25 L a 0.45 L, o 0.3 L a 0.4 L desde el extremo de raíz.
6. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el punto de extremo distante se ubica en una posición de cuerda relativa de 25%-70%, o 30-60%, por ejemplo, aproximadamente 50% del borde de entrada.
7. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde una tangente al punto de extremo próximo de la línea montante forma un ángulo con el eje de inclinación en el rango de 0 a 10 grados, o 0 a 5 grados.
8. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde una tangente al punto de extremo distante de la línea montante forma un ángulo con el eje de inclinación en el rango de 5 grados a 45 grados, o 5 grados a 35 grados, o 5 grados a 25 grados, o 5 grados a 15 grados, tal como 8 grados.
9. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la línea montante comprende al menos un primer punto intermedio que divide la línea montante en un primer segmento de línea recta y un segundo segmento de línea.
10. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el primer punto intermedio se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.05 L a 0.30 L, o 0.08 L a 0.20 L, o 0.10 L a 0.17 L desde el extremo de raíz.
11. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en donde el primer punto intermedio se ubica en una posición de cuerda relativa de 2%-20%, o 3%-15%, o 5-15%, por ejemplo, aproximadamente 10% desde el borde de entrada.
12. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en donde el primer segmento de línea forma un primer ángulo con el eje de inclinación en el rango de 0 a 10 grados.
13. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-12, en donde el segundo segmento de línea es recto y forma un segundo ángulo con el eje de inclinación en el rango de 2 grados a 60 grados o 5 a 45 grados.

14. Un álabe de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el contorno perfilado se divide en:

- una región (30) de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico más cercano al cubo,

- una región (34) aerodinámica que tiene un perfil que genera levantamiento alejado del cubo, y

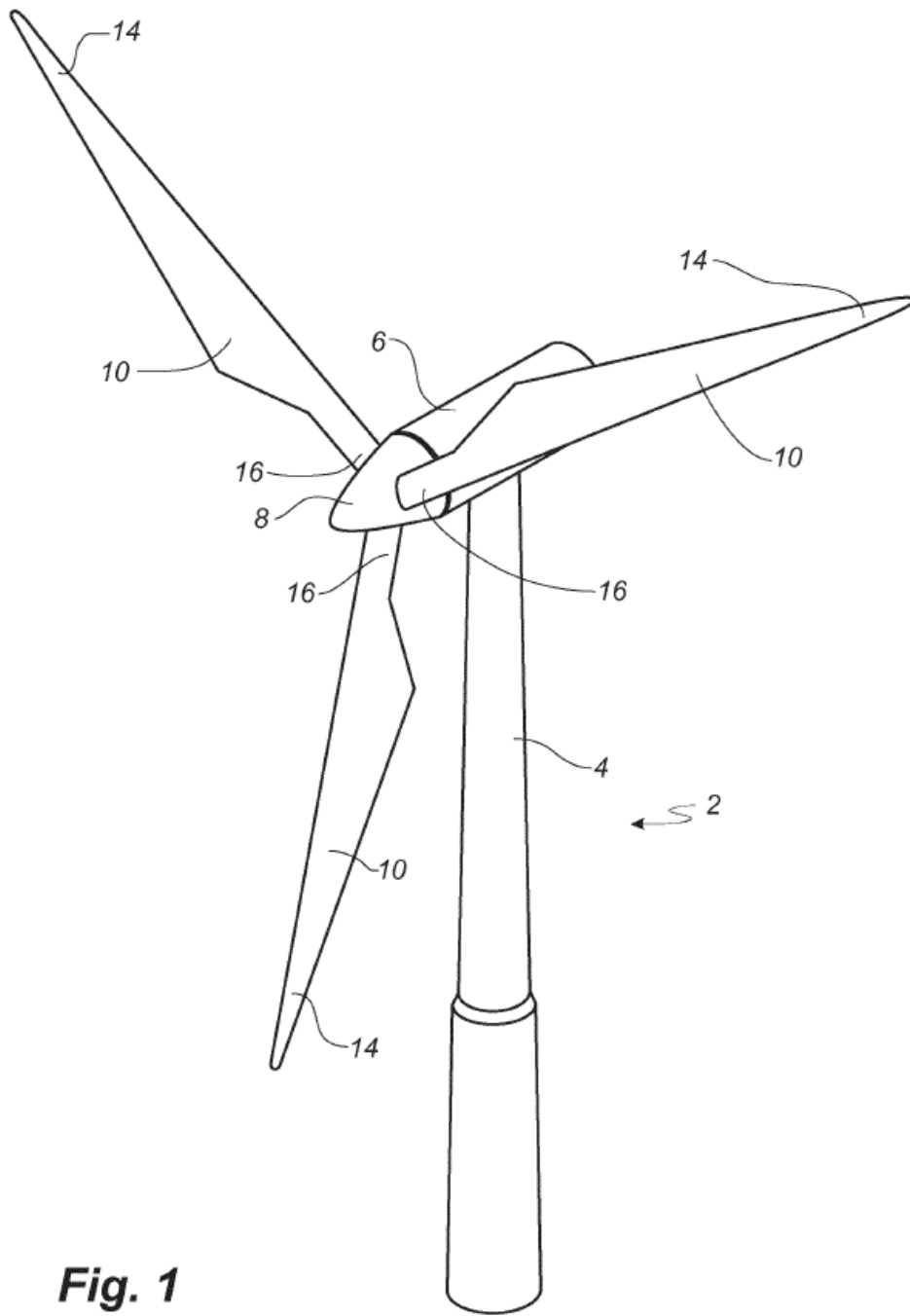
5 -una región (32) de transición entre la región (30) de raíz y la región (34) aerodinámica, la región (32) de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial desde un perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil que genera levantamiento de la región aerodinámica

en donde la línea montante se extiende a lo largo de sustancialmente la región de transición completa del álabe.

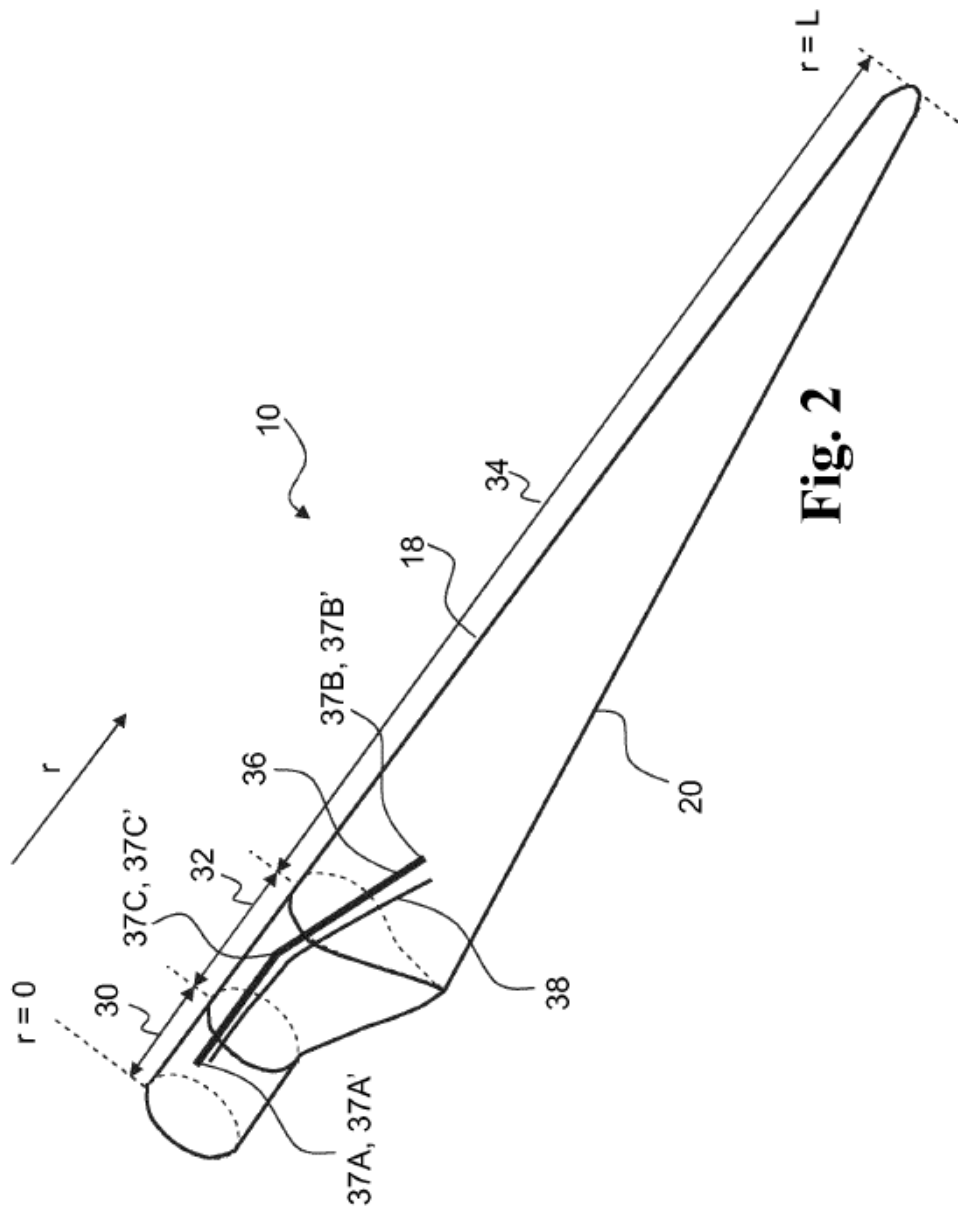
10 15. El método para retroajustar un álabe de turbina eólica que se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje de inclinación y que tiene un extremo de punta y un extremo de raíz así como álabe una longitud de álabe, el álabe de turbina eólica comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión así como álabe un borde de entrada y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre estas, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente genera un levantamiento, el método comprende montar una pluralidad de generadores de vórtice a lo largo de una línea montante que tiene un punto de extremo próximo más cercano al extremo de raíz y un punto de extremo distante más cercano al extremo de punta, caracterizado, porque la línea montante es una línea cóncava vista desde el borde de salida del álabe de turbina eólica, en donde el punto de extremo próximo se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0 - 0.12 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 2%-20%, y en donde el punto de extremo distante se ubica en un intervalo de longitud de álabe de 0.2 L a 0.5 L desde el extremo de raíz y en una posición de cuerda relativa de 25%-75%.

15

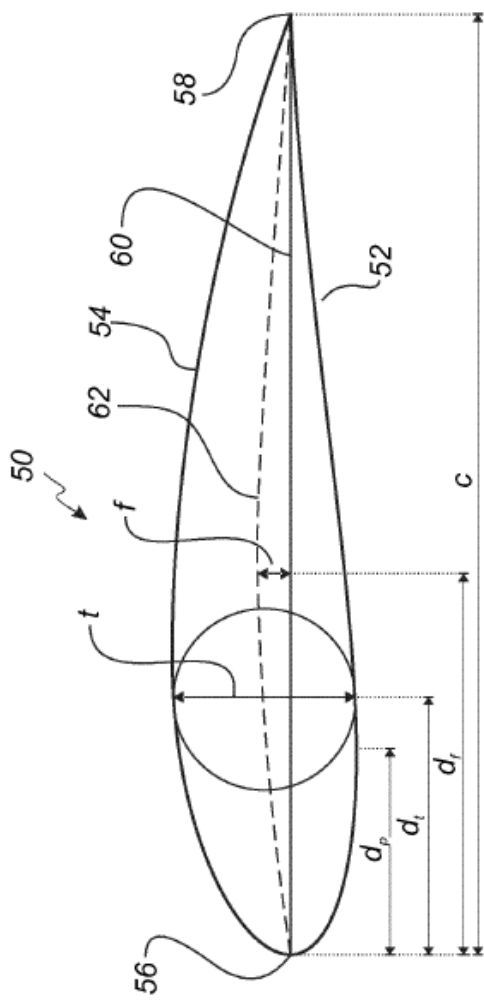
20



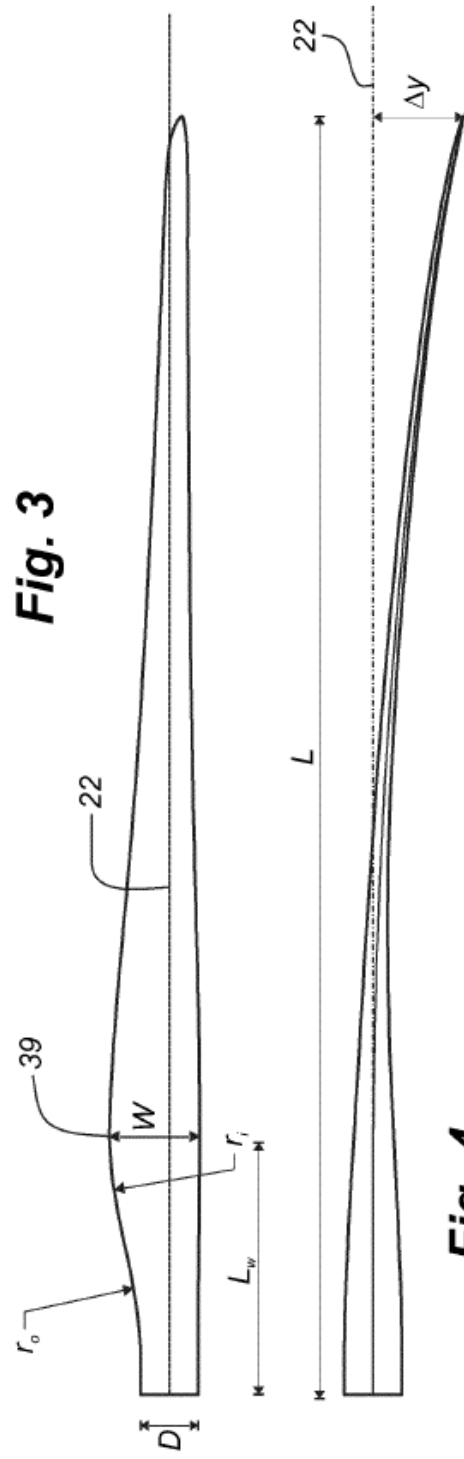
**Fig. 1**



**Fig. 2**



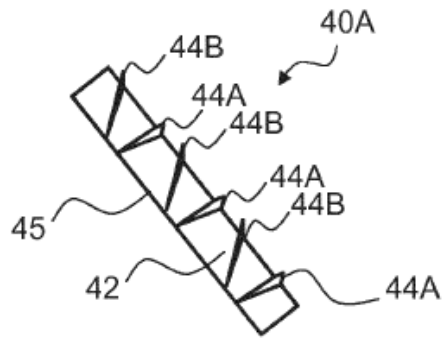
**Fig. 3**



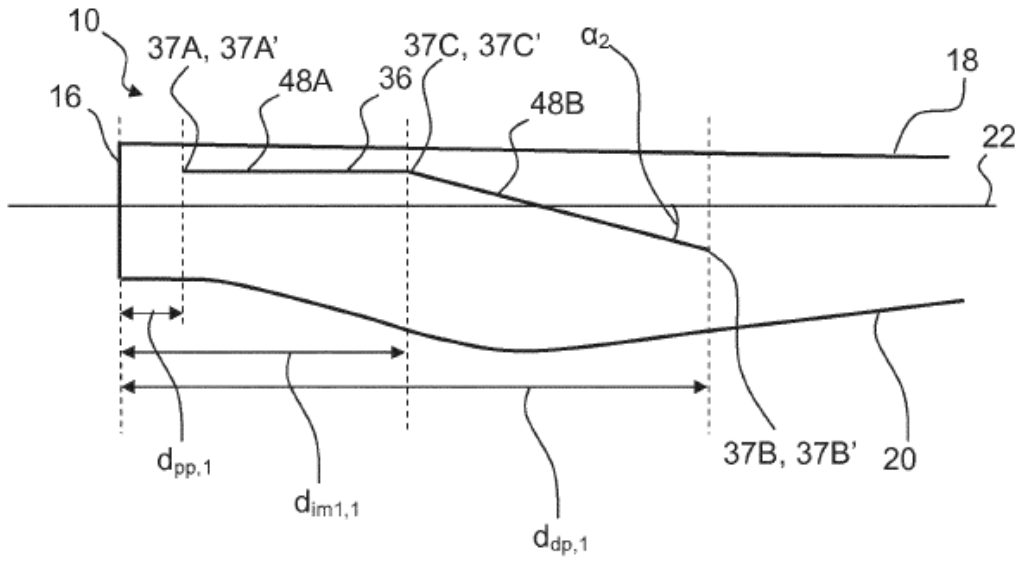
**Fig. 4**



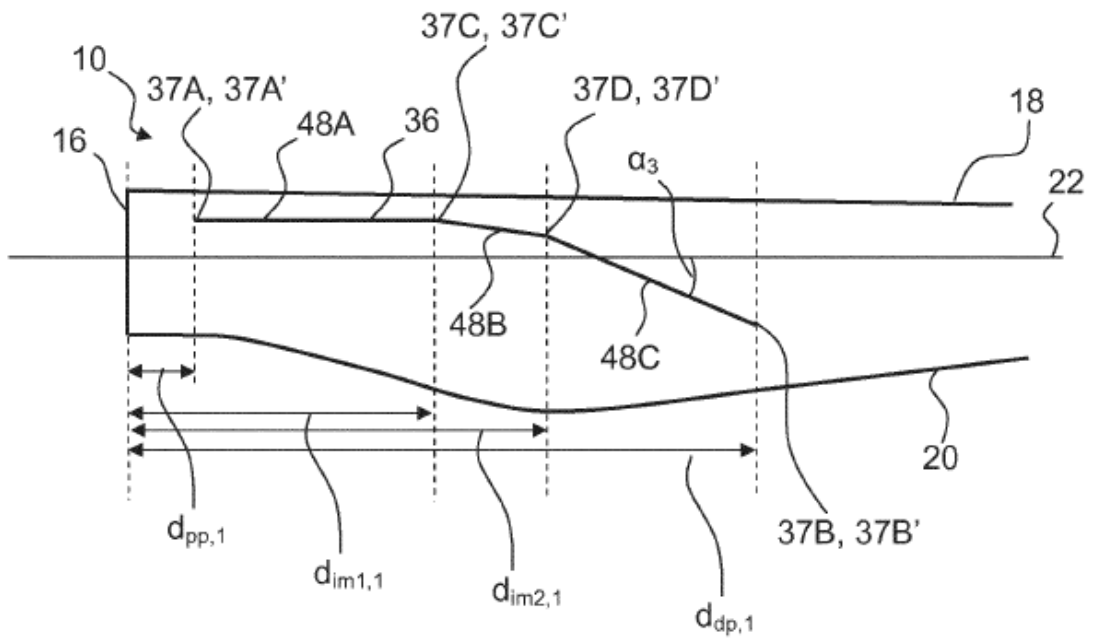




**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**