

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 800 291**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2016** E 18193626 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020** EP 3431753

54 Título: **Panel de borde de salida dentado para una pala de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.12.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HØEG, JESPER;  
ANSHOLM, KIM RASMUSSEN;  
KILDEGAARD, CASPER y  
LEHMANN, KRISTIAN MADSEN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 800 291 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**

Panel de borde de salida dentado para una pala de turbina eólica

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un panel de borde de salida dentado para una pala de turbina eólica, así como a una pala de turbina eólica provista de dicho panel de borde de salida dentado.

**Antecedentes de la invención**

10 La energía eólica es cada vez más popular debido a su producción limpia y respetuosa con el medio ambiente. Las palas del rotor de las turbinas eólicas modernas capturan energía cinética del viento mediante el uso de un diseño sofisticado de palas creado para maximizar la eficiencia. Sin embargo, han surgido quejas debido a la creación de un ruido asociado a la operación de las plantas de energía eólica. Por lo tanto, cada vez son más deseables los dispositivos de reducción de ruido y los diseños de pala asociados.

15 Una de las consideraciones continuas para el diseño de palas de turbinas eólicas es el ruido operativo producido cuando tales palas giran, en particular para instalaciones de turbinas eólicas en tierra. Una parte de dicho ruido se genera a partir del flujo de aire que sale del perfil de una pala de turbina eólica en el borde de salida de la pala, y a menudo se denomina ruido de borde de salida.

Como las palas modernas de las turbinas eólicas se fabrican con longitudes de pala cada vez más largas, el alcance más largo de las palas da como resultado velocidades de viento relativas más altas experimentadas por las palas. En consecuencia, esto puede conducir a niveles relativamente grandes de ruido de borde de salida.

20 Con este fin, las palas modernas de turbina eólica a veces cuentan con un dentado a lo largo de los bordes salida de la pala, en un esfuerzo por reducir el ruido del borde de salida de la pala y/o mejorar la eficiencia de la pala de turbina eólica, como se puede ver en el documento EP1314885. El dentado se proporciona típicamente fijando un panel dentado en el borde de salida de la pala de turbina eólica. Si bien las propiedades de mitigación de ruido de tales diente son ventajosas, persisten varios inconvenientes. A menudo, encontrar la geometría correcta del dentado es un compromiso entre el rendimiento de mitigación de ruido y los requisitos estructurales. Esto puede llevar a la necesidad de regiones de borde de salida gruesas, especialmente cerca de la base del dentado. Las presentes invenciones han encontrado que este grosor aumentado se convierte en una fuente potencial de ruido adicional.

Además, los paneles pueden ser bastante rígidos, lo que puede conducir a mayores fuerzas de desprendimiento y concentraciones de esfuerzos que penetran en la estructura laminada de la pala, en particular en los extremos longitudinales del panel.

30 Hay varias formas de fijar un panel al borde de salida de la pala. El documento US 2011/0142635 A1 describe un panel de extensión de una pala provisto de una porción de montaje en corte para montar el panel de extensión en la pala de tal manera que la extensión de la pala esté sustancialmente al ras con una superficie de la pala. La porción en corte define una muesca configurada para ubicar la extensión de la pala con relación a la pala del rotor. Sin embargo, tal realización implica que la porción en corte debe estar diseñada específicamente para una porción específica de una pala de turbina eólica.

El documento US 2011/0142637 A1 describe una pala con un reductor de ruido dispuesto en el borde de salida de la pala. El reductor de ruido incorporaba una placa base con una pluralidad de dientes que se extienden desde la placa base con una cantidad de aberturas definidas completamente en la placa base en posiciones entre los dientes extendidos.

40 En consecuencia, todavía existe una necesidad de optimizar el diseño de tales dientes o paneles dentados de borde de salida a efectos de maximizar la mitigación del ruido.

Por lo tanto, un objeto de la invención es el de proporcionar una pala de turbina eólica que tenga una configuración mejorada de borde de salida, así como un panel dentado de borde de salida para su disposición en el borde de salida de una pala de turbina eólica.

45 Otro objeto de la invención es el de proporcionar un diseño de pala de turbina eólica que tenga dientes, así como un panel dentado de borde de salida, cuyo diseño proporcione una reducción de ruido mejorada durante el funcionamiento.

**Sumario de la invención**

50 Conforme a la invención, se proporciona un panel dentado para una pala de turbina eólica, en donde el panel está configurado para ser fijado al borde de salida de una pala para formar una pluralidad de dientes en el borde de salida de la pala, en donde el panel dentado comprende:

- una parte de base para fijar el panel al borde de salida de la pala, teniendo la parte de base:

– un primer extremo longitudinal para su disposición más cercana a un extremo de punta de la pala de la turbina eólica,

– un segundo extremo longitudinal para su disposición más cercana a un extremo de raíz de la pala de la turbina eólica,

5 – un primer lado para su disposición más cercana a un borde de ataque de la pala,

– un segundo lado para su disposición más alejada del borde de ataque de la pala,

– una superficie de fijación para la unión a una superficie exterior de la pala de turbina eólica, y

– una superficie exterior enfrentada hacia fuera de la superficie exterior de la pala de turbina eólica, cuando el panel dentado está fijado a la pala de turbina eólica, y

10 – una pluralidad de dientes que se extienden desde el segundo lado de la parte de base, en donde los dientes comprenden una base proximal al segundo lado de la parte de base, y un vértice distal al segundo lado de la parte de base con una línea nocional que se extiende desde un punto medio de la base al vértice.

Según un primer aspecto, la superficie exterior de la parte de base comprende una superficie corrugada en dirección entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal de tal manera que la superficie exterior  
15 comprende crestas alineadas sustancialmente con los puntos medios de las bases de los dientes y valles alineados sustancialmente entre dientes.

Este diseño permite que sea posible disminuir el grosor del panel y reducir la rigidez longitudinal, lo que a su vez conduce a una disminución de las fuerzas de desescamado y de las concentraciones de esfuerzos en el laminado de la pala, en particular en los extremos longitudinales de los paneles. Las partes delgadas, es decir, los valles, del  
20 panel, dan como resultado una menor fuerza transferida al panel cuando se somete a un esfuerzo de pala, p. ej., por deflexiones de la pala. Las partes gruesas, es decir las crestas, del panel proporcionan una mayor rigidez a los dientes para garantizar que los mismos resistan la carga aerodinámica y eviten el aleteo. Además de esto, se ha encontrado sorprendentemente que el diseño corrugado proporciona una mitigación de ruido más eficiente que los paneles dentados que tienen un espesor uniforme en la dirección longitudinal.

25 Según un segundo aspecto y como se define en la reivindicación 1, los dientes comprenden una forma y están espaciados mutuamente de manera que se forma una hendidura entre dientes adyacentes, en donde cada una de las hendiduras comprende una primera pared lateral en un primer diente adyacente y una segunda pared lateral en un segundo diente adyacente y una superficie de conexión que se extiende entre la primera pared lateral y la segunda pared lateral, en donde la superficie de conexión es sustancialmente plana o aplanada y comprende una primera  
30 superficie redondeada en la primera pared lateral y una segunda superficie redondeada en la segunda pared lateral.

En otras palabras, la hendidura no tiene una sección extrema completamente redondeada o semicircular cerca de la parte de base del panel dentado, sino que comprende una superficie aplanada con porciones redondeadas en las paredes laterales. La parte aplanada puede tener un radio de curvatura (y así formar parte de la trayectoria circular). Sin embargo, el radio de curvatura de la parte aplanada es mayor que el radio de curvatura de la primera superficie  
35 redondeada y de la segunda superficie redonda. Sorprendentemente, se ha encontrado que un diseño de este tipo reduce aún más el esfuerzo entre los dientes en comparación con los paneles dentados convencionales, y por lo tanto reduce el riesgo de daños en el panel dentado, cuando la pala de turbina eólica se curva debido a las fluctuaciones de presión.

40 Está claro que la superficie de conexión está dispuesta proximal al segundo lado de la parte de base y que la primera pared lateral y la segunda pared lateral se extienden en una dirección que se aleja del segundo lado de la parte de base.

Según un tercer aspecto, el panel dentado comprende dos protuberancias de alineamiento discretas que sobresalen de un lado de fijación del panel dentado, estando configuradas las dos muescas de alineamiento discretas para hacer tope con un borde de salida de la pala de turbina eólica y alinear con ello el panel dentado con respecto al  
45 borde de salida de la pala. La mayor fiabilidad en cuanto a colocar el panel dentado de forma correcta asegura menos defectos de ruido debido a desalineamientos, lo que a su vez garantiza un mejor comportamiento global de reducción de ruido.

De este modo, se proporciona un panel dentado que puede ser alineado fácilmente con el borde de salida y que facilitará un montaje más fácil y más rápido de los paneles. El uso de exactamente dos protuberancias de  
50 alineamiento discretas asegura que el panel se ajuste a todas las secciones del borde de salida con independencia de la forma y la curva del borde de salida de la pala.

Según un cuarto aspecto, la descripción proporciona una pala de turbina eólica que tiene un contorno con un perfil que incluye un lado de presión y un lado de succión, y un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que

tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ambos, extendiéndose la pala de turbina eólica en la dirección de envergadura entre un extremo de raíz y un extremo de punta, comprendiendo la pala de turbina eólica al menos un panel dentado de acuerdo con cualquiera de los aspectos anteriores y que se proporciona a lo largo de al menos una porción del borde de salida de la pala.

- 5 El al menos un panel dentado puede ser cualquiera de los paneles según el primero, el segundo o el tercer aspectos o ser una combinación de los mismos. La pala según la invención se define en la reivindicación 15.

A continuación se van a describir varias realizaciones ventajosas. Las realizaciones pueden ser aplicadas a cualquiera de los aspectos primero, segundo, tercero y cuarto de la invención o a combinaciones de los mismos.

- 10 Conforme a una primera realización, la parte de base comprende una línea de espesor máximo que se extiende en una dirección entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal, definiendo la línea de espesor máximo la posición donde el panel dentado tiene, según una vista en sección transversal, un espesor máximo. La línea de espesor máximo puede ser situada con una separación desde el primer lado de la parte de base.

En una realización ventajosa, la parte de base es ahusada desde la línea de espesor máximo hacia el primer lado de la parte de base. Esto proporciona una transición suave a la superficie de la pala.

- 15 La parte de base puede comprender, por ejemplo, una superficie sustancialmente triangular que se extiende desde los valles en el primer lado de la parte de base, y hasta una cresta en la línea de espesor máximo.

En otra realización ventajosa, los dientes, y opcionalmente la parte de base, se ahúsan desde la línea de espesor máximo hacia los vértices de los dientes. Esto proporciona una transición gradual hacia el vértice de los dientes, lo que tiene ventajas tanto en relación con la transición de rigidez como con la mitigación del ruido.

- 20 Las crestas se extienden ventajosamente desde la parte de base de los dientes y a lo largo de la línea nocal de los dientes.

En una realización ventajosa, una relación entre un espesor de la cresta y un espesor del valle es de al menos 3:2 y preferiblemente de al menos 2:1. En otra realización ventajosa, la relación entre un espesor de la cresta y un espesor del valle es como máximo 5:1.

- 25 En otra realización más, la primera pared lateral y la segunda pared lateral comprenden una sección, donde la primera pared lateral y la segunda pared lateral son sustancialmente paralelas.

En una realización, la superficie de conexión tiene una curvatura de radio ( $R_b$ ), que es más grande que los ( $R_1$ ,  $R_2$ ) de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redondeada.  $R_b$  es ventajosamente al menos 5 veces, más ventajosamente al menos 7 veces, e incluso más ventajosamente al menos 10 veces más grande que  $R_1$  y  $R_2$ . Si la superficie de conexión es recta,  $R_b$  se aproxima al infinito.

- 30 En una realización, las dos protuberancias de alineamiento discretas están dispuestas en la superficie de fijación de la parte de base. De este modo, las protuberancias de alineamiento pueden estar dispuestas para que alineen con mucha precisión la parte de fijación del panel dentado con el borde de salida de la pala.

- 35 En otra realización, las dos protuberancias de alineamiento discretas están dispuestas cerca del segundo lado de la parte de base. De este modo, se garantiza que solo los dientes en sí mismos se extiendan desde el borde de salida de la pala.

- 40 En otra realización más, una primera protuberancia discreta está dispuesta cerca del primer extremo longitudinal de la parte de base y una segunda protuberancia discreta está dispuesta cerca del segundo extremo longitudinal de la parte de base. De este modo, se asegura que el panel dentado pueda extenderse a lo largo de, y sustancialmente paralelo a, una gran parte del borde de salida.

En principio, las protuberancias también pueden estar dispuestas en los dientes, preferiblemente cerca de la base de los dientes.

Los paneles dentados pueden estar hechos de un material polimérico, tal como poliuretano o policarbonato, o de un material polimérico reforzado con fibra.

- 45 En una realización ventajosa, los paneles dentados comprenden al menos dos dientes que se extienden desde el segundo lado de la parte de base, más ventajosamente al menos tres, cuatro o cinco dientes.

En una realización ventajosa, los paneles dentados comprenden como máximo 20 dientes que se extienden desde el segundo lado de la parte de base, más ventajosamente como máximo 15, 12 o 10 dientes.

- 50 La invención también proporciona una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo el rotor un cubo, desde el que se extiende la pala de turbina eólica sustancialmente en una dirección radial cuando está montada en el cubo, extendiéndose la pala de turbina eólica en

una dirección longitudinal paralela a un eje longitudinal y teniendo un extremo de punta y un extremo de raíz,

comprendiendo la pala de la turbina eólica un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, generando el contorno perfilado, al ser impactado por un flujo de aire incidente, un ascenso,

- 5 en donde la pala de turbina eólica comprende además al menos un panel dentado de acuerdo con cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente, proporcionado a lo largo de al menos una porción del borde de salida de la pala.

**Descripción detallada de la invención**

10 Las realizaciones de la invención van a ser descritas ahora, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 muestra una turbina eólica;

La Figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica según la invención.

La Figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico de la pala de la Figura 2;

15 La Figura 4 muestra una vista esquemática de la pala de la turbina eólica de la Figura 2, vista desde arriba y desde un lateral;

La Figura 5 muestra varias vistas de un panel dentado según la invención.

Se entenderá que los elementos comunes a las diferentes realizaciones de la invención han sido dotados de los mismos números de referencia en los dibujos.

20 La Figura 1 ilustra una turbina eólica 2 moderna convencional a favor del viento según lo que se conoce como "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 palas 10 que se extienden radialmente desde el cubo 8, teniendo cada una de ellas una raíz 16 de pala más cercana al cubo y una punta 14 de pala más alejada del cubo 8, extendiéndose la pala en la dirección de la envergadura, entre la raíz 16 y el punta 14. El rotor tiene un radio indicado con R.

25 La Figura 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 cubo, una región 34 perfilada o de superficie aerodinámica más alejada del cubo, 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 de ataque 18 orientado hacia la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el cubo, y un borde de salida 20 orientado en la dirección opuesta a la del borde de ataque 18. Se proporciona una serie de dientes en el borde de salida a lo largo de una porción del borde de salida 20 de la pala. En general, el flujo de aire sobre la pala 10 de la turbina eólica se extiende desde el borde de ataque 18 hasta el borde de salida 20 en una dirección generalmente transversal o en el sentido de la cuerda. Si bien los dientes en la Figura 2 se han representado como dispuestos a lo largo de una porción exterior de la pala, se entiende que los dientes pueden estar dispuestos, por ejemplo, más cerca de la raíz de la pala 10, o que pueden estar dispuestos a lo largo de, por ejemplo, toda la región 34 de la superficie aerodinámica de la pala 10.

Según las invenciones, los dientes se proporcionan en forma de paneles 70, 70' dentados que están fijados a una superficie de la pala 10 en el borde de salida 20 de la pala 10. Los paneles 70, 70' dentados pueden comprender que tengan diferentes tamaños. Los dientes cercanos a la punta de la pala 10 pueden, por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, tener dimensiones más pequeñas que los dientes más cercanos a la raíz de la pala 10.

40 La región 34 de superficie aerodinámica (también llamada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de ascenso, mientras que la región 30 de raíz, debido a consideraciones estructurales, tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, lo que hace, por ejemplo, que sea más fácil y más seguro montar la pala 10 en el cubo. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz es típicamente constante a lo largo de toda el área 30 de raíz. La región 32 de transición tiene un perfil 42 de transición que cambia gradualmente desde la forma 40 circular o elíptica de la región 30 de la raíz al perfil 50 de la superficie aerodinámica de la región 45 34 de la superficie aerodinámica. La longitud de cuerda de la región 32 de transición típicamente se incrementa de forma sustancialmente lineal con el aumento de la distancia  $r$  desde el cubo.

La región 34 de superficie aerodinámica tiene un perfil 50 aerodinámico con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. El ancho de la cuerda disminuye al aumentar la distancia  $r$  desde el cubo.

50 Debe tenerse en cuenta que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, ya que la pala puede estar torcida y/o curvada (es decir, pre-doblada), dotando con ello al plano de cuerda con un recorrido correspondiente torcido y/o curvo, siendo este el caso más frecuente para compensar el

hecho de que la velocidad local de la pala sea dependiente del radio desde el cubo.

La Figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 aerodinámico de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros que se usan típicamente para definir la forma geométrica de un perfil aerodinámico. El perfil 50 aerodinámico tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión, los cuales, durante el uso (es decir, durante la rotación del rotor), normalmente se orientan hacia el lado de barlovento (o en contra del viento) y hacia el lado de sotavento (o en la dirección del viento), respectivamente. El perfil 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El perfil 50 aerodinámico tiene un espesor  $t$ , el cual se define como la distancia entre el lado 52 de presión y el lado 54 de succión. El espesor  $t$  del perfil aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico viene dada por una línea 62 de curvatura, que es una línea media a través del perfil 50 aerodinámico. La línea media se puede hallar dibujando círculos inscritos desde el borde de ataque 56 hasta el borde de salida 58. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se conoce como curvatura  $f$ . La asimetría también se puede definir mediante el uso de parámetros denominados curvatura superior (o curvatura del lado de succión) y curvatura inferior (o curvatura del lado de presión), las cuales 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 se caracterizan a menudo por los siguientes parámetros: la longitud  $c$  de la cuerda, la curvatura máxima  $f$ , la posición  $d_f$  de la curvatura máxima  $f$ , el espesor máximo  $t$  de la superficie aerodinámica, que es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de curvatura media, la posición  $d_t$  del espesor máximo  $t$ , y un radio de nariz (que no se ha mostrado). Estos parámetros se definen típicamente como relaciones con respecto a la longitud  $c$  de la cuerda. Por lo tanto, un espesor relativo local de la pala  $t/c$  viene dado como la relación entre el espesor máximo  $t$  local y la longitud  $c$  de la cuerda local. Además, la posición  $d_b$  de la curvatura del lado de máxima presión se puede usar como parámetro de diseño y, por supuesto, también la posición de la curvatura máxima del lado succión.

La Figura 4 muestra algunos otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud total de pala  $L$ . Como se muestra en la Figura 2, el extremo de raíz se encuentra ubicado en la posición  $r = 0$ , y el extremo de la punta está ubicado en  $r = L$ . El escalonamiento 40 de la pala está ubicado en una posición  $r = L_w$ , y tiene un ancho de escalonamiento  $W$ , el cual es igual a la longitud de la cuerda en el escalonamiento 40. El diámetro de la raíz se define como  $D$ . Además, la pala está dotada de un pre-curvado, que se define como  $\Delta y$ , que corresponde a la deflexión de fuera de plano desde un eje de paso 22 de la pala.

La pala 10 de turbina eólica comprende en general una carcasa hecha de polímero reforzado con fibra, y típicamente está hecha como una parte de la carcasa 24 del lado de presión o en contra del viento y una parte de la carcasa 26 del lado de succión o según la dirección del viento, las cuales se pegan entre sí a lo largo de las líneas 28 de vinculación que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y del borde de ataque 18 de la pala 10. Las palas de turbina eólica están generalmente formadas de material plástico reforzado con fibra, p. ej. fibras de vidrio y/o fibras de carbono que se disponen en un molde y se curan con una resina para formar una estructura sólida. Las palas modernas de turbina eólica a menudo pueden tener más de 30 o 40 metros de longitud, con diámetros de raíz de pala de varios metros. Las palas de la turbina eólica están generalmente diseñadas para una vida útil relativamente larga y para aguantar una carga estructural y dinámica considerable.

La Figura 5 muestra varias vistas de un panel 70 dentado según la invención, donde la Figura 5A muestra una vista inferior, la Figura 5B muestra una vista lateral, la Figura 5C muestra una vista superior, la Figura 5D muestra una vista de extremo y la Figura 5E muestra un detalle del panel 70 dentado.

El panel 70 dentado (también denominado panel de borde de salida dentado) está configurado para ser fijado al borde de salida 20 de la pala 10 para formar una pluralidad de dientes 71 en, y que se proyectan desde, el borde de salida de la pala. El panel 70 dentado comprende una parte de base para fijar el panel al borde de salida de la pala. La parte de base 72 tiene un primer extremo 73 longitudinal para su disposición más cercana a un extremo de punta de la pala de turbina eólica, un segundo extremo 74 longitudinal para su disposición más cercana a un extremo de raíz de la pala de turbina eólica, un primer lado 75 para su disposición más cercana a un borde de ataque de la pala, un segundo lado 76 para su disposición más alejada del borde de ataque de la pala, una superficie 77 de fijación para la fijación a una superficie exterior de la pala 10 de la turbina eólica, y una superficie 78 exterior orientada hacia fuera de la superficie exterior de la pala 10 de turbina eólica, cuando el panel 70 dentado está unido a la pala 10 de turbina eólica.

El panel 70 dentado comprende además una pluralidad de dientes 71 que se extienden desde el segundo lado 76 de la parte de base 72. Los dientes 71 comprenden, cada uno de ellos, una base 79 proximal al segundo lado 76 de la parte de base, y un vértice 80 distal al segundo lado 76 de la parte de base 72 con una línea notional 81 que se extiende desde un punto medio de la base 79 hasta el vértice 80.

Según un primer aspecto, la superficie 78 exterior de la parte de base puede comprender una superficie corrugada en la dirección entre el primer extremo 73 longitudinal y el segundo extremo 74 longitudinal de tal modo que la superficie exterior comprende crestas 82 alineadas sustancialmente con los puntos medios de las bases 80 de los dientes 71, y valles 83 alineados sustancialmente entre los dientes 71.

Este diseño corrugado hace que sea posible reducir el espesor del panel 71 y reducir la rigidez longitudinal, lo que a su vez conduce a una disminución de las fuerzas de decapado y de las concentraciones de tensión que se producen en el laminado de la pala, en particular en los extremos 73, 74 longitudinales de los paneles 70. Las partes delgadas, es decir, los valles 83 del panel 70, dan como resultado una menor fuerza transferida al panel cuando se someten a un esfuerzo de pala, p. ej., por deflexiones de la pala. Las partes gruesas, es decir, las crestas 82, del panel 70 proporcionan una mayor rigidez a los dientes 71 para garantizar que éstos resistan la carga aerodinámica y eviten el aleteo. Además de esto, se ha encontrado sorprendentemente que el diseño corrugado proporciona una mitigación de ruido más eficiente que los paneles dentados que tienen un espesor uniforme en dirección longitudinal.

La superficie corrugada puede ser, por ejemplo, triangular o con forma de diente de sierra, p. ej., con valles y crestas redondeados. La superficie corrugada también puede ser sustancialmente sinusoidal.

La parte de base 72 del panel 70 dentado puede comprender además una línea 84 de espesor máximo que se extiende entre el primer extremo 75 longitudinal y el segundo extremo 76 longitudinal, en donde la línea 84 de espesor máximo define la posición, donde el panel dentado visto en sección transversal tiene un espesor máximo. La línea de espesor máximo puede estar posicionada de modo que guarda una separación desde el primer lado 75 de la parte de base 72, y la parte de base 72 puede ser además ahusada desde la línea 84 de espesor máximo hacia el primer lado 75 de la parte de base 72, p. ej., como se muestra en la vista lateral en la Figura 5D. De este modo, se puede lograr una transición suave a la superficie de la pala de turbina eólica.

La parte de base 72 puede comprender, como se ha indicado en la Figura 5C, partes de superficie sustancialmente triangulares que se extienden desde los valles 82 en el primer lado 75 de la parte de base 72 y hasta una cresta 83 en la línea 84 de espesor máximo.

Los dientes 71 (y opcionalmente la parte de base 72) pueden ser, como se ha indicado en la vista lateral en la Figura 5D, ahusados desde la línea 84 de espesor máximo hacia los vértices 80 de los dientes 71.

Las crestas pueden extenderse, como se muestra en la Figura 5C, desde la parte de base 76 de los dientes 71 y a lo largo de la línea notional 82 de los dientes 71.

Como se muestra en la Figura 5B, el espesor de las crestas se define en  $t_c$  y el espesor de los valles se define como  $t_v$ . La relación entre  $t_c$  y  $t_v$  (por ejemplo, en la línea 84 de espesor máximo) puede ser de al menos 3:2 y ventajosamente de al menos 2:1. Los dientes 71 pueden tener ventajosamente además bordes 95 redondeados.

Conforme a un segundo aspecto, los dientes 71 pueden comprender una forma y estar espaciados mutuamente de modo que se forme una hendidura 85 entre dientes 71 adyacentes. La Figura 5E muestra un detalle de dicha hendidura 85. Cada una de las hendiduras 85 comprende una primera pared 86 lateral en un primer diente adyacente y una segunda pared 87 lateral en un segundo diente adyacente y además una superficie 88 de conexión que se extiende entre la primera pared 86 lateral y la segunda pared 87 lateral. La superficie 88 de conexión es sustancialmente plana o aplanada y comprende una primera superficie 89 redondeada en la primera pared 86 lateral y una segunda superficie 90 redondeada en la segunda pared 87 lateral. En otras palabras, la hendidura no tiene una sección extrema completamente redondeada o semicircular cerca de la parte de base del panel dentado, sino que comprende una superficie aplanada con porciones redondeadas en las paredes laterales. La parte aplanada puede tener un radio de curvatura (y por lo tanto formar parte de la trayectoria circular). Sin embargo, el radio de curvatura de la parte aplanada es mayor que el radio de curvatura de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redonda. Sorprendentemente, se ha encontrado que un diseño de este tipo reduce aún más la tensión entre los dientes en comparación con los paneles dentados convencionales, y por lo tanto reduce el riesgo de daños en el panel dentado, cuando la pala de turbina eólica se curva debido a las fluctuaciones de la presión.

En una realización, la superficie 88 de conexión tiene una curvatura de radio ( $R_b$ ), la cual es más grande que la de los  $R_1$ ,  $R_2$  de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redondeada.  $R_b$  es ventajosamente al menos 10 veces más grande que  $R_1$  y  $R_2$ .

De acuerdo con un tercer aspecto, el panel 70 dentado puede estar provisto de dos protuberancias 91, 92 de alineamiento discretas que sobresalen desde un lado 72 de fijación del panel 70 dentado. Las dos muescas de alineamiento discretas pueden estar configuradas para hacer tope contra el borde de salida 20 de la pala 10 de turbina eólica y alinear así el panel 70 dentado con respecto al borde de salida 20 de la pala 10. Las dos protuberancias 91, 92 de alineamiento discretas pueden estar dispuestas cerca del segundo lado 76 de la parte de base 70. Las protuberancias de alineamiento discretas están ventajosamente dispuestas cerca del primer extremo 73 longitudinal de la parte de base 72 y del segundo extremo 74 longitudinal de la parte de base 72, respectivamente.

Los dientes 71 del panel 70 dentado pueden estar dispuestos formando un ángulo con respecto a la parte de base 72 del panel dentado, de tal modo que la parte de base 72 y los dientes 71 formen un ángulo  $\alpha$ . El ángulo  $\alpha$  puede ser cero grados, en cuyo caso el panel 70 dentado es recto.

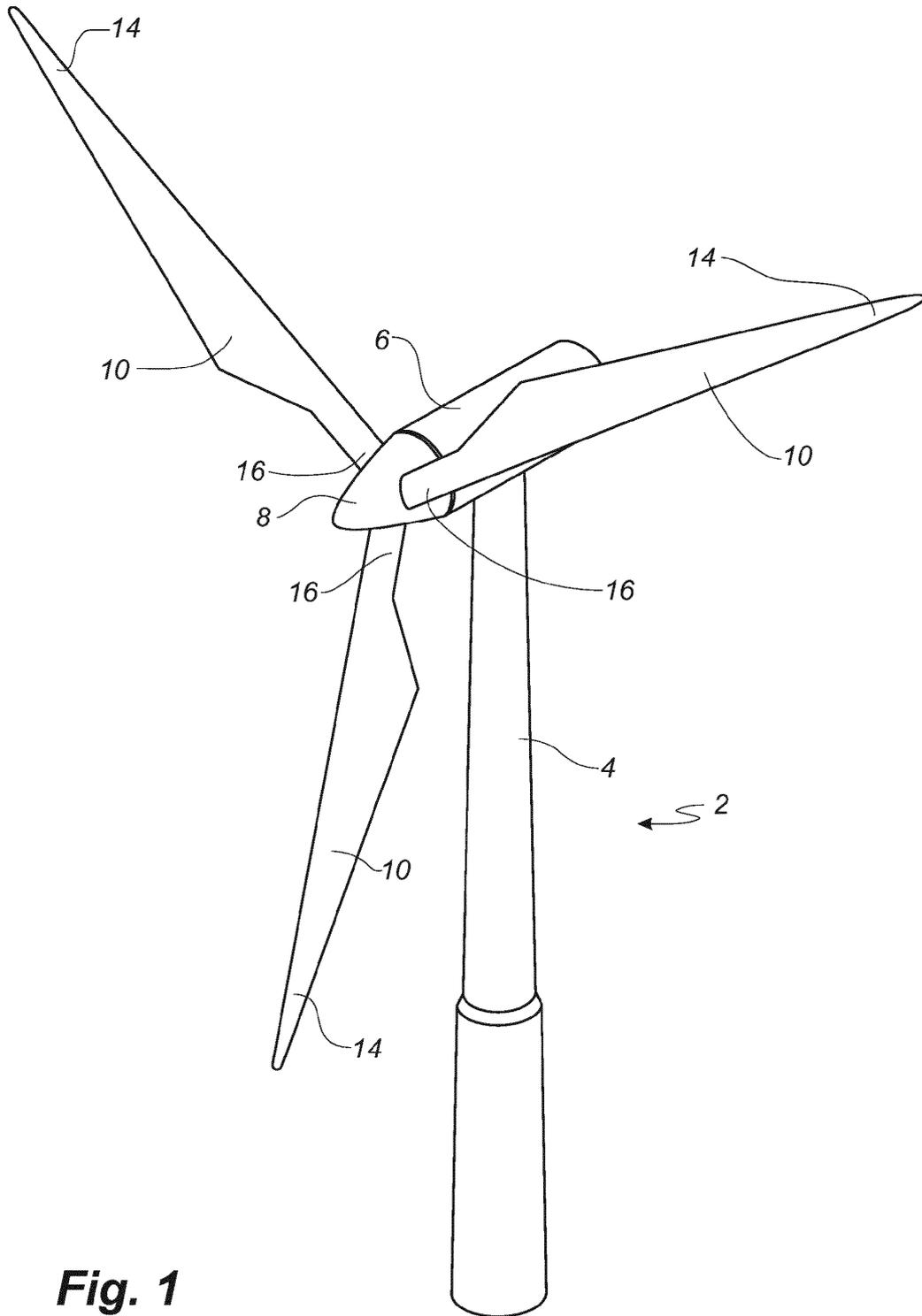
Para paneles dentados en ángulo, el ángulo  $\alpha$  puede estar entre 2 y 15 grados, típicamente en torno a 5 o 10 grados.

La invención no se limita a las realizaciones descritas en el presente documento, y puede ser modificada o adaptada sin apartarse del alcance de la presente invención, la cual está definida por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

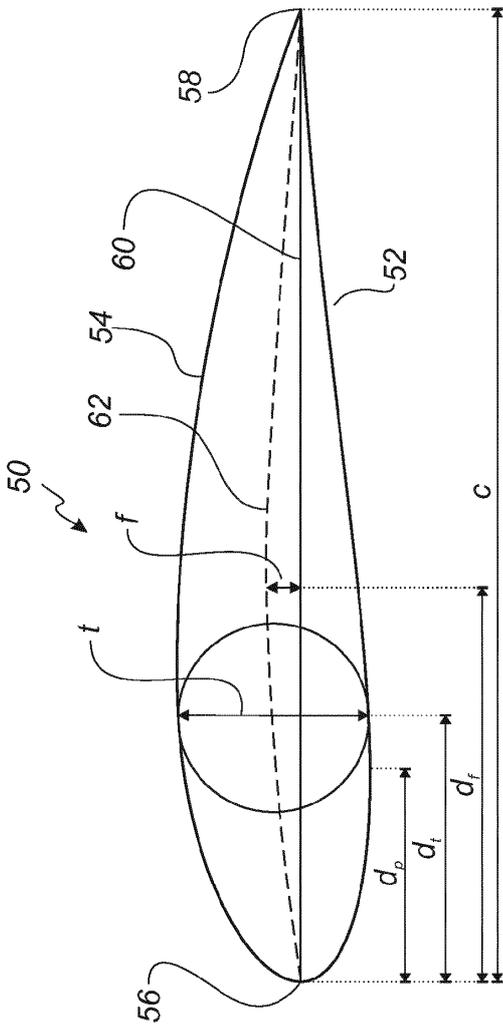
1. Un panel (70) dentado para una pala de turbina eólica, en donde el panel (70) está configurado para ser fijado al borde de salida de una pala para formar una pluralidad de dientes (71) en el borde de salida de la pala, en donde el panel dentado comprende:
- 5 - una parte de base (72) para fijar el panel (70) al borde de salida de la pala, teniendo la parte de base (72):
- un primer extremo (73) longitudinal para su disposición más cercana al extremo de punta de la pala de la turbina eólica,
  - un segundo extremo (74) longitudinal para su disposición más cercana al extremo de raíz de la pala de la turbina eólica,
- 10 - un primer lado (75) para su disposición más cercana a un borde de ataque de la pala,
- un segundo lado (76) para su disposición más alejada del borde de ataque de la pala,
  - una superficie (77) de fijación para su sujeción a una superficie exterior de la pala de turbina eólica, y
  - una superficie (78) exterior orientada hacia fuera de la superficie exterior de la pala de la turbina eólica, cuando el panel (70) dentado está fijado a la pala de turbina eólica, y
- 15 - una pluralidad de dientes (71) que se extienden desde el segundo lado (76) de la parte de base (72), en donde los dientes (71) comprenden una base (79) proximal al segundo lado (76) de la parte de base, y un vértice (80) distal al segundo lado (76) de la parte de base (72) con una línea (81) nocional que se extiende desde un punto medio de la base (79) hasta el vértice (80), en donde:
- 20 los dientes comprenden una forma y están espaciados mutuamente de modo que se forma una hendidura entre dientes adyacentes, en donde cada una de las hendiduras (85) comprende una primera pared (86) lateral en un primer diente adyacente y una segunda pared (87) lateral en un segundo diente adyacente, caracterizado por una superficie (88) de conexión que se extiende entre la primera pared (86) lateral y la segunda pared (87) lateral, en donde la superficie (88) de conexión es sustancialmente plana o aplanada y comprende una primera superficie (89) redondeada en la primera pared (86) lateral y una segunda superficie (90) redondeada en la segunda pared (87) lateral.
- 25
2. Un panel (70) dentado según la reivindicación 1, en donde la primera pared lateral y la segunda pared lateral comprenden una sección, donde la primera pared lateral y la segunda pared lateral son sustancialmente paralelas.
3. Un panel (70) dentado según la reivindicación 1 o 2, en donde la superficie de conexión tiene una curvatura de radio ( $R_b$ ), que es más grande que los ( $R_1$ ,  $R_2$ ) de la primera superficie redondeada y la segunda superficie redondeada.
- 30
4. Un panel (70) dentado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la superficie (78) exterior de la parte de base comprende una superficie corrugada en la dirección de entre el primer extremo (73) longitudinal y el segundo extremo (74) longitudinal de modo que la superficie exterior comprende crestas (82) alineadas sustancialmente con los puntos medios de las bases (80) de los dientes (71), y valles (83) alineados sustancialmente entre los dientes (71).
- 35
5. Un panel (70) dentado según la reivindicación 4, en donde la parte de base (72) comprende una línea (84) de espesor máximo que se extiende en una dirección entre el primer extremo (75) longitudinal y el segundo extremo (76) longitudinal, definiendo la línea (84) de espesor máximo la posición donde el panel dentado tiene, según una vista en sección transversal, un espesor máximo.
- 40
6. Un panel (70) dentado según la reivindicación 5, en donde la línea de espesor máximo está posicionada con una separación desde el primer lado (75) de la parte de base (72).
7. Un panel (70) dentado según la reivindicación 6, en donde la parte de base (72) es ahusada desde la línea de espesor máximo hacia el primer lado (75) de la parte de base (72).
- 45
8. Un panel dentado según la reivindicación 6 o 7, en donde la parte de base comprende una superficie sustancialmente triangular que se extiende desde los valles en el primer lado (75) de la parte de base y hasta una cresta en la línea de espesor máximo.
9. Un panel (70) dentado según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en donde los dientes y opcionalmente la parte de base (72) están ahusados desde la línea de espesor máximo hacia los vértices (80) de los dientes (71).
- 50
10. Un panel (70) dentado según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 9, en donde las crestas se extienden desde la parte de base (72) de los dientes (71) y a lo largo de la línea nocional (82) de los dientes.

11. Un panel (70) dentado según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 10, en donde una relación entre un espesor de la cresta y un espesor del valle es al menos de 2:1.
12. Un panel (70) dentado según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 11, en donde la relación entre un espesor de la cresta y un espesor del valle es como máximo de 5:1.
- 5 13. Un panel (70) dentado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el panel (70) dentado comprende dos protuberancias (91, 92) de alineamiento discretas que sobresalen desde un lado de fijación del panel (70) dentado, estando las dos protuberancias (91, 92) de alineamiento discretas configuradas para hacer tope contra un borde de salida de la pala de la turbina eólica y alinear con ello el panel (70) dentado con respecto al borde de salida de la pala.
- 10 14. Un panel (70) dentado según la reivindicación 13, en donde una primera protuberancia discreta está dispuesta cerca del primer extremo longitudinal de la parte de base y una segunda protuberancia discreta está dispuesta cerca del segundo extremo longitudinal de la parte de base.
- 15 15. Una pala (10) de turbina eólica que tiene un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, y un borde de ataque (18) y un borde de salida (20) con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, extendiéndose la pala (10) de turbina eólica en la dirección de la envergadura entre un extremo de raíz y un extremo de punta, comprendiendo la pala de turbina eólica al menos un panel dentado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores y proporcionado a lo largo de al menos una porción del borde de salida (20) de la pala (10).

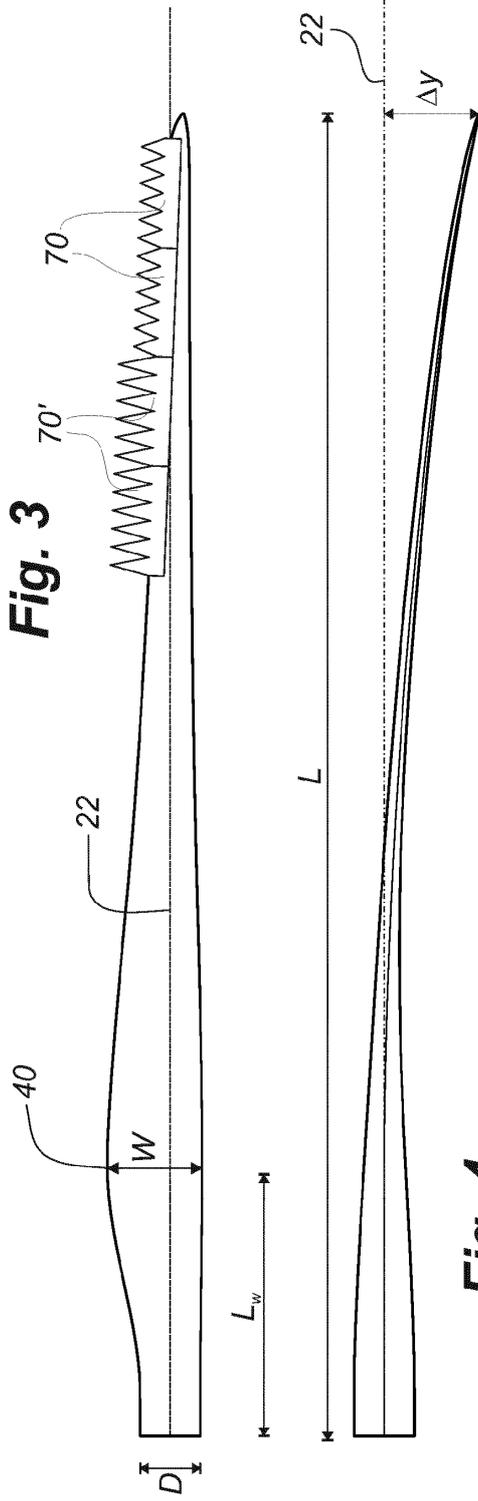


**Fig. 1**





**Fig. 3**



**Fig. 4**

