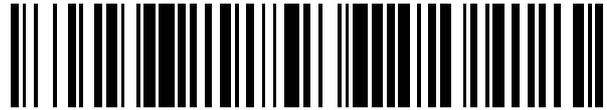


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 482 615**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2011 E 11153354 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014 EP 2484898**

54 Título: **Dispositivo generador de torbellinos con secciones ahusadas para una turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.08.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**JENSEN, LARS ERIK;  
KNUDSEN, HANS TOMMERUP y  
MADSEN, JESPER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 482 615 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

Dispositivo generador de torbellinos con secciones ahusadas para una turbina eólica

5 La presente invención se refiere a un dispositivo generador de torbellinos, para su montaje sobre una pala de turbina eólica que comprende una base que, cuando está montada sobre una parte exterior de la pala de turbina eólica, tiene un lado interno para su acoplamiento sobre una superficie, tal como la parte exterior de la pala de turbina eólica, y un lado externo dirigido en sentido opuesto a la parte exterior de la pala de turbina eólica, estando dotado el dispositivo generador de torbellinos de al menos una primera paleta que sobresale sustancialmente perpendicular a la base del lado externo, en el que la paleta comprende un lado de borde de ataque para disponer más cerca un borde de ataque de la pala de turbina eólica, y un lado de borde de salida para disponer más cerca un borde de salida de la pala de turbina eólica, y en el que la paleta comprende un tramo de borde de ataque ubicado más cerca del lado de borde de ataque de la paleta, que está ahusado hacia el lado de borde de ataque de la paleta. La invención se refiere además a una pala de turbina eólica dotada de tales dispositivos generadores de torbellinos así como a un método para instalar posteriormente tales dispositivos generadores de torbellinos sobre la superficie de una pala de turbina eólica.

15 Normalmente, cuando se instalan dispositivos generadores de torbellinos (VG), tales como bandas de VG, véase el documento WO 2008/113350, sobre una pala de turbina eólica, se fresa o corta de otro modo un rebaje en la pala, en el que se inserta la placa de base de la banda de generadores de torbellinos de modo que la superficie superior de la placa de base está sustancialmente a nivel con la superficie de la pala. Por consiguiente, la placa de base de la banda no sobresale de la superficie de la pala, con lo cual se reduce el riesgo de que la banda se desgarre durante el uso normal de la pala de turbina eólica. También se reduce el riesgo de que la placa de base contribuya a efectos no deseados para el flujo o provoque ruido. Sin embargo, el método de acoplamiento es tedioso y por razones estructurales puede no ser deseable fresar un rebaje en la superficie de la pala. Por consiguiente, en muchos aspectos, es deseable montar la banda de generadores de torbellinos directamente sobre la superficie de la pala de turbina eólica.

25 Tales paletas, por ejemplo, del documento WO 2007/140771, están formadas normalmente con una paleta con forma de triángulo recto con un borde de salida que se extiende perpendicularmente a una base o pie y que tiene además un grosor uniforme. Sin embargo, los dispositivos generadores de torbellinos con paletas de este tipo pueden ser difíciles de fabricar como un elemento unitario.

30 El documento WO2007/140771 describe una solución en la que una banda de generadores de torbellinos se monta directamente sobre la superficie de una pala de turbina eólica, por ejemplo mediante el uso de una película adhesiva. Una zona de unión de la banda de generadores de torbellinos se cubre completa o parcialmente mediante medios de sellado con el fin de impedir que la banda de generadores de torbellinos se desgarre de la pala durante su uso. En el documento, se define una zona de unión como la zona en la que el perímetro de la banda se encuentra con la superficie y en la que se forma un hueco más o menos visible entre la banda y la superficie de pala y los alrededores. Se reconoce que esta solución implica una etapa adicional de sellar el perímetro de la banda de generadores de torbellinos después de que la banda se haya montado sobre la superficie de la pala. Es deseable omitir esta etapa cuando se instalan posteriormente dispositivos generadores de torbellinos en la superficie de la pala de turbina eólica.

40 Es un objetivo de la invención obtener un dispositivo generador de torbellinos y una nueva pala de turbina eólica, que superen o mejoren al menos una de las desventajas de la técnica anterior o que proporcionen una alternativa útil.

45 Según un primer aspecto, la invención proporciona un dispositivo generador de torbellinos, en el que la paleta comprende además un tramo de borde de salida ubicado más cerca del lado de borde de salida de la paleta, que está ahusado hacia el lado de borde de salida de la paleta, y la paleta está ahusada hacia una parte superior de la paleta.

50 Por tanto, resulta evidente que la paleta tiene una parte de borde de salida, en la cual la altura de la paleta disminuye hacia el lado de borde de salida, y que el grosor de la paleta, es decir la distancia entre un primer lado y un segundo lado de la paleta, disminuye hacia un tramo superior de la paleta. De ese modo, es posible fabricar el dispositivo generador de torbellinos por moldeo y garantizar que el dispositivo generador de torbellinos moldeado pueda liberarse del molde sin que se rompan partes del dispositivo generador de torbellinos. Al mismo tiempo, la funcionalidad del dispositivo generador de torbellinos no se ve perjudicada en comparación con los dispositivos generadores de torbellinos convencionales que tienen una paleta de forma triangular con un borde de salida no ahusado y un grosor no ahusado.

Por consiguiente, según una realización ventajosa el dispositivo generador de torbellinos puede estar moldeado.

Según una realización ventajosa, el dispositivo generador de torbellinos está hecho de un metal, tal como aluminio o acero inoxidable, o un material de polímero, tal como TPU, PBT, PET o LDPE, policarbonato (PC), o una combinación de PBT y PC.

5 Según otra realización ventajosa, el tramo de borde de salida forma un ángulo de ahusamiento de borde de salida promedio con una superficie normal a la base en un intervalo entre 1 y 20 grados, o entre 1 y 15 grados, o entre 1 y 10 grados. Ventajosamente, el ángulo de ahusamiento de borde de salida promedio está entre 4 y 8 grados, por ejemplo es de aproximadamente 6 grados. Evidentemente, el tramo de borde de salida también debe formar el mismo ángulo con una superficie normal a la pala de turbina eólica, cuando está montada sobre una superficie de la pala de turbina eólica. Se usa el término "ángulo promedio" debido a que el tramo de borde de salida puede ser ligeramente curvado.

Según una realización, el tramo de borde de salida es sustancialmente recto. Por tanto, toda la parte de borde de salida está ahusada con un ángulo de ahusamiento que forma el ángulo de ahusamiento de borde de salida con una superficie normal.

15 Según otra realización ventajosa, los lados de la paleta forman un ángulo de ahusamiento de grosor de entre 0,5 y 5 grados, o entre 0,5 y 3,5 grados, o entre 0,5 y 2 grados. Por tanto, la paleta está sustancialmente ahusada hacia un tramo superior de la paleta.

Según aún otra realización, el dispositivo generador de torbellinos comprende una segunda paleta. Ventajosamente, la primera paleta y la segunda paleta pueden estar orientadas de modo que forman un ángulo entre sí de 10 a 70 grados, o 15 a 60 grados, o 20 a 50 grados,

20 En aún otra realización ventajosa, la primera paleta y la segunda paleta están inclinadas una hacia la otra, formando cada una un ángulo de inclinación con una superficie normal que está entre 0,5 y 3 grados. Por tanto, la primera paleta y la segunda paleta están ligeramente inclinadas una hacia la otra.

25 Ventajosamente, el tramo de borde de ataque se extiende a lo largo de al menos un 50%, o al menos un 60%, o al menos un 70%, o al menos un 75% de una longitud total de la paleta. El tramo de borde de ataque puede extenderse incluso a lo largo de al menos un 80% o un 85% de la longitud total de la paleta.

Según otra realización ventajosa, la paleta, es decir la primera paleta y/o la segunda paleta, comprende un tramo superior aplanado. La paleta puede tener, por ejemplo, un tramo intermedio, en el que la altura de la paleta es sustancialmente constante. Sin embargo, esta parte también puede ser ligeramente redondeada o similar.

30 La invención proporciona además un dispositivo generador de torbellinos, en el que la base tiene forma de trapecio con un primer extremo y un segundo extremo así como un primer lado y un segundo lado, en el que el primer lado es más largo que el segundo lado, y en el que la primera paleta está dispuesta en, y sustancialmente paralela a, el primer extremo de la base, y la segunda paleta está dispuesta en, y sustancialmente paralela a, el segundo extremo de la base.

35 Por tanto, la invención proporciona un par de generadores de torbellinos de paletas, que se han dispuesto previamente uno con respecto a otro, pero en el que el área de superficie de la base se ha reducido comparado con la técnica anterior, obstruyendo por tanto el flujo libre a través de la pala de turbina eólica lo menos posible.

40 En una realización ventajosa particular, el lado interno de la base está dotado de un rebaje o muesca para obtener un adhesivo. De ese modo, el adhesivo, por ejemplo en forma de una cinta adhesiva, puede insertarse en el rebaje o muesca de modo que las partes circundantes del lado interno de la base protegen el adhesivo una vez que el dispositivo generador de torbellinos está montado sobre la superficie de una pala de turbina eólica, ya que las partes circundantes pueden entrar en contacto con la pala. Por consiguiente, no es necesario sellar posteriormente los bordes de la base de la banda de generadores de torbellinos.

45 Según una realización ventajosa, una banda o película adhesiva, tal como una banda o cinta adhesiva de doble cara, se dispone dentro del rebaje del lado interno. Esto proporciona una solución particularmente sencilla, en la que el adhesivo puede aplicarse previamente al dispositivo generador de torbellinos.

50 En una realización, la banda o película adhesiva comprende una capa de material compresible, tal como una capa de polímero espumado o células de espuma. De ese modo, la capa o película adhesiva se adapta mejor para ajustarse a la superficie de la pala de turbina eólica. Ventajosamente, la banda o película adhesiva está cubierta por una capa desprendible. De ese modo, la banda o película adhesiva puede protegerse con el fin de mantener la adhesión de la película hasta que la banda esté montada sobre una pala de turbina eólica.

En una realización ventajosa, el adhesivo es de base acrílica. El adhesivo puede ser, por ejemplo, sensible a la

presión, proporcionando de ese modo una solución sencilla cuando se instala el dispositivo generador de torbellinos en la superficie de una pala de turbina eólica, ya que el operario sólo tiene que aplicar presión a la base del dispositivo generador de torbellinos.

5 En otra realización ventajosa, los medios de generación de torbellinos sobresalen del lado externo de la base. Los medios de generación de torbellinos pueden ser, por ejemplo, generadores de torbellinos de paletas, es decir aletas que sobresalen del lado externo.

10 En aún otra realización ventajosa, la base comprende un primer perímetro y el rebaje comprende un segundo perímetro, teniendo el segundo perímetro una separación con respecto al primer perímetro. De ese modo una pequeña pared rodea todo el rebaje, protegiendo por tanto el adhesivo en el rebaje. El primer perímetro puede ser sustancialmente paralelo al segundo perímetro.

15 En una realización ventajosa, una altura de la primera paleta y/o la segunda paleta aumenta desde el segundo lado hacia el primer lado, al menos a lo largo de una parte de dichas paletas. La forma de la primera paleta y/o la segunda paleta puede ser, por ejemplo, sustancialmente triangular o en forma de cuña. Sin embargo, la forma puede desviarse de esta forma teniendo, por ejemplo, una parte superior algo aplanada, y la derivada de la altura puede, por ejemplo, aumentar o disminuir desde el segundo lado hacia el primer lado. Sin embargo, en general, la paleta tendrá una altura mínima en el segundo lado (o de manera equivalente un lado de borde de ataque) y su altura máxima cerca del primer lado (o de manera equivalente un lado de borde de salida) de la base. La(s) paleta(s) puede(n) estar formada(s) de manera solidaria con la base. Alternativamente, la base y las paletas pueden fabricarse como piezas separadas que se acoplan o adhieren posteriormente la una a la otra.

20 Un perímetro o reborde de la base puede ahusarse o redondearse con el fin de obtener una transición gradual a la superficie de la pala de turbina eólica.

En principio, evidentemente, puede añadirse un sellante adicional al reborde de la base. Sin embargo, el rebaje o la muesca elimina esta necesidad.

25 Según un segundo aspecto, la invención proporciona un kit de piezas que comprende dispositivos generadores de torbellinos según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente y que son de diferentes tamaños, por ejemplo de dos o tres tamaños. El kit de piezas puede comprender, por ejemplo, generadores de torbellinos que tienen dos alturas diferentes, teniendo un conjunto de generadores de torbellinos una primera altura y teniendo un segundo conjunto de generadores de torbellinos una segunda altura. La segunda altura puede ser aproximadamente un factor de 1,5 ó 2 de la primera altura. De manera similar, el kit de piezas puede comprender un tercer conjunto de generadores de torbellinos que tiene una tercera altura. La tercera altura puede ser aproximadamente un factor de 3 de la primera altura.

35 En una realización ventajosa, el lado interno de la base es cóncavo entre el primer lado y el segundo lado. Por tanto, el dispositivo generador de torbellinos está adaptado para ajustarse a una superficie curvada, tal como la superficie de una pala de turbina eólica. Evidentemente toda la base, es decir, tanto el lado interno como el lado externo, puede ser curvada, aunque los dos lados no tienen que tener necesariamente la misma curvatura. La curvatura puede establecerse como promedio de la curvatura de las secciones de pala, para las que están previstos los dispositivos de modo que se curvan previamente para ajustarse a un gran número de palas y/o secciones de pala diferentes. La banda o película adhesiva comprende una capa de material compresible que puede usarse para compensar variaciones para un ajuste exacto a la curvatura de la pala.

40 Según un tercer aspecto, la invención proporciona una pala para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo dicho rotor un buje, desde el que la pala se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando está montada en el buje, teniendo la pala una dirección longitudinal con un extremo de punta y un extremo de raíz y una dirección transversal, comprendiendo la pala además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión así como un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre los mismos, generando el contorno perfilado, cuando impacta sobre el mismo un flujo de aire incidente, una sustentación, en la que el contorno perfilado está dividido en una región de raíz, más próxima al buje, que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico, una región de plano aerodinámico, más alejada del buje, que tiene un perfil de generación de sustentación, y opcionalmente una región de transición entre la región de raíz y la región de plano aerodinámico, teniendo la región de transición un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial del perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil de generación de sustentación de la región de plano aerodinámico, y en la que la pala está dotada de un generador de torbellinos según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente, y en la que el lado interno de la base del generador de torbellinos está acoplado a una superficie de la pala de turbina eólica.

55 Por tanto, el lado externo y los medios de generación de torbellinos se extienden o sobresalen de la superficie de la pala de turbina eólica.

Normalmente, un hombro que tiene una anchura de hombro está ubicado en el límite entre la región de transición y la región de plano aerodinámico.

5 Ventajosamente, la base del generador de torbellinos se extiende sustancialmente en la dirección longitudinal de la pala. Alternativamente, la base puede estar en ángulo o ser curvada en relación con la dirección longitudinal o un eje de paso de la pala. Sin embargo, los dispositivos generadores de torbellinos están dispuestos a lo largo de al menos una extensión longitudinal de la pala, por ejemplo a lo largo de al menos un 10%, 15%, 20% ó 25% de la longitud de la pala.

10 Por consiguiente, el generador de torbellinos está dispuesto ventajosamente con el primer extremo de la base más cerca de la raíz y un segundo extremo más cerca de la punta de la pala. Entonces, puede disponerse un segundo dispositivo generador de torbellinos yuxtapuesto al primer extremo del segundo dispositivo generador de torbellinos dirigido sustancialmente hacia el segundo extremo en el primer dispositivo generador de torbellinos.

En una realización ventajosa, el segundo lado de la base está ubicado más cerca del borde de ataque de la pala.

15 Ventajosamente, los generadores de torbellinos están dispuestos en la región de plano aerodinámico de la pala, preferiblemente en el lado de succión de la pala. En otra realización, los generadores de torbellinos están dispuestos en la región de raíz y/o la región de transición. Los generadores de torbellinos también pueden estar dispuestos de modo que se extiendan desde una parte de la región de raíz por encima de la región de transición y hacia una parte de la región de transición.

En una realización, los generadores de torbellinos están dispuestos en una sección exterior de la pala, es decir una sección longitudinal de la pala más cerca de la punta.

20 En otra realización ventajosa, el generador de torbellinos está dispuesto en una posición cordal en un intervalo del 5-85% o 10-75% o 15-60% de la longitud de cuerda, visto desde el borde de ataque de la pala.

25 En aún otra realización, la pala está dividida en una primera sección longitudinal más cerca de la raíz, y una segunda sección longitudinal más cerca de la punta, en la que la primera sección longitudinal comprende generadores de torbellinos que tienen una primera altura, y la segunda sección longitudinal comprende generadores de torbellinos que tienen una segunda altura, y en la que la primera altura es mayor que la segunda altura. Evidentemente, la pala puede tener también una tercera sección longitudinal que comprende generadores de torbellinos que tienen una tercera altura. En general, la altura de los generadores de torbellinos debe disminuir hacia el extremo de punta de la pala, ya que normalmente el grosor relativo y el grosor absoluto de la pala disminuye hacia el extremo de punta. El kit de piezas mencionado anteriormente puede usarse para estas regiones. Según un cuarto aspecto, la invención proporciona una turbina eólica que comprende varias palas, preferiblemente dos o tres, según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente.

Según un quinto aspecto, la invención proporciona un método para instalar posteriormente un dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente en una superficie de una pala de turbina eólica.

35 Según un sexto aspecto, la invención proporciona un método de fabricación de un dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente a través de un proceso de moldeo.

La invención se explica en detalle a continuación con referencia a una realización mostrada en los dibujos, en los que

la figura 1 muestra una vista esquemática de una turbina eólica,

40 la figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica,

la figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil de plano aerodinámico,

la figura 4 muestra una vista esquemática desde arriba de un dispositivo generador de torbellinos según la invención,

la figura 5 muestra una vista esquemática desde abajo del dispositivo generador de torbellinos según la invención,

45 la figura 6 muestra una sección transversal del dispositivo generador de torbellinos según la invención,

la figura 7 muestra otra vista lateral del dispositivo generador de torbellinos según la invención,

las figuras 8a-h muestran diferentes formas de paletas para dispositivos generadores de torbellinos según la invención,

la figura 9 muestra una pala de turbina eólica en la que se instalan posteriormente dispositivos generadores de torbellinos según la invención,

5 la figura 10 muestra una sección de pala de turbina eólica dotada de una película de recubrimiento según la invención,

la figura 11 muestra una vista en perspectiva de una placa de montaje según la invención dotada de dispositivos generadores de torbellinos,

10 la figura 12 muestra la sección de pala de turbina eólica después de haber instalado dispositivos generadores de torbellinos en la superficie de la pala de turbina eólica, y

la figura 13 muestra el uso de franjas de alineación.

La figura 1 ilustra una turbina eólica a barlovento moderna convencional según el denominado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, teniendo cada una, una raíz 16 de pala más cerca del buje y una punta 14 de pala más alejada del buje 8. El rotor tiene un radio indicado como R.

La figura 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica según la invención. La pala 10 de turbina eólica tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región 30 de raíz más cerca del buje, una región 34 perfilada o de plano aerodinámico más alejada del buje y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 de plano aerodinámico. La pala 10 comprende un borde 18 de ataque dirigido en el sentido de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el buje, y un borde 20 de salida dirigido en el sentido opuesto del borde 18 de ataque.

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

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

Ha de observarse 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, previamente doblada), dotando así al plano de cuerda de un desarrollo correspondientemente torcido y/o curvado, siendo éste el caso con mayor frecuencia con el fin de compensar que la velocidad local de la pala dependa del radio desde el buje.

La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 de plano aerodinámico de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros, que se usan normalmente para definir la forma geométrica de un plano aerodinámico. El perfil 50 de plano aerodinámico tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión, que durante el uso, es decir durante la rotación del rotor, normalmente se dirige hacia el lado de barlovento (o contra el viento) y el lado de sotavento (o a favor del viento), respectivamente. El plano 50 aerodinámico tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde 56 de ataque y un borde 58 de salida de la pala. El plano 50 aerodinámico 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 plano aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación con respecto a un perfil simétrico viene dada por una línea 62 de curvatura, que es una línea media a través del perfil 50 de plano aerodinámico. La línea media puede hallarse dibujando círculos inscritos desde el borde 56 de ataque hasta el borde 58 de salida. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se denomina curvatura  $f$ . La asimetría también puede definirse mediante el uso de parámetros denominados curvatura superior (o curvatura de lado de succión) y curvatura inferior (o curvatura de 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 de plano aerodinámico a menudo se caracterizan por los siguientes parámetros: la longitud de cuerda  $c$ , la curvatura máxima  $f$ , la posición  $d_f$  de la curvatura máxima  $f$ , el grosor de plano aerodinámico máximo  $t$ , que es el

mayor diámetro de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de curvatura media, la posición  $d_t$  del grosor máximo  $t$ , y un radio de borde de ataque (no mostrado). Estos parámetros se definen normalmente como razones con respecto a la longitud de cuerda  $c$ . Por tanto, un grosor de pala relativo local  $t/c$  viene dado como la razón entre el grosor máximo local  $t$  y la longitud de cuerda local  $c$ . Además, puede usarse la posición  $dp$  de la curvatura de lado de presión máxima como parámetro de diseño, y evidentemente también la posición de la curvatura de lado de succión máxima.

Las figuras 4-7 muestran diferentes vistas de un dispositivo 70 generador de torbellinos (VG) según la presente invención, donde las figuras 4 y 5 muestran dos vistas en perspectiva, la figura 6 muestra una sección transversal del dispositivo 70 VG, y la figura 7 muestra una vista lateral vista desde un lado de borde de salida del dispositivo generador de torbellinos.

Tal como se ve en la figura 4, en una realización ventajosa el dispositivo 70 generador de torbellinos está formado como un dispositivo VG de paletas que comprende una base 71 que (cuando está montada sobre una parte exterior de la pala de turbina eólica), tiene un lado 72 interno para su acoplamiento a la parte exterior de la pala de turbina eólica, y un lado 73 externo que está dirigido en sentido opuesto a la parte exterior de la pala de turbina eólica. La base 71 comprende además un primer lado 77 (o lado de borde de salida) y un segundo lado 78 (o lado de borde de ataque), así como un primer extremo 75 y un segundo extremo 76. La base 71 es trapezoidal de modo que el primer lado 77 es paralelo al segundo lado 78 y de modo que una longitud del segundo lado 78 de la base 71 es menor que una longitud del primer lado 77 de la base 71. En una realización ventajosa, el primer extremo 75 y el segundo extremo 76 están orientados de modo que forman un ángulo de ahusamiento mutuo de aproximadamente 38 grados. Ventajosamente la base puede estar formada con un perímetro redondeado como se muestra adicionalmente en la figura 6.

El dispositivo 70 VG comprende un par de paletas que comprende una primera paleta 79 y una segunda paleta 80, también denominadas aletas, que sobresalen del lado 73 externo de la base 71. La primera paleta 79 está orientada hacia y es paralela al primer lado 75 de la base 71, y la segunda paleta 80 está orientada hacia y es paralela al segundo lado 76 de la base 71.

La figura 5 muestra una vista en perspectiva del dispositivo 70 VG, en la que puede verse el lado 72 interno de la base 71. El lado 72 interno de la base 71 está dotado de un rebaje 74 o muesca. El rebaje 74 tiene un perímetro, que es paralelo a un perímetro de la base 71. Por tanto, el perímetro del rebaje 74 es también trapezoidal con lados que son paralelos al primer extremo 75, segundo extremo 76, primer lado 77 y segundo lado 78 de la base. Por tanto, el rebaje 74 está rodeado por una pared 82 circundante. La pared 82 circundante está adaptada para proteger un adhesivo dispuesto dentro del rebaje 74 de modo que el dispositivo 70 VG, cuando está montado sobre la parte exterior de la pala de turbina eólica, no se desgarra de la parte exterior de la pala de turbina eólica.

La figura 6 muestra una sección transversal del dispositivo 70 VG, en la que puede verse la primera paleta 79. El dispositivo VG se representa con una banda 81 o cinta adhesiva dispuesta dentro del rebaje 74. Puede verse que la base 71 está curvada de modo que el lado 72 interno de la base 71 es cóncavo entre el primer lado 77 y el segundo lado 78 de la base 71 y tiene un radio de curvatura  $R$ . El radio de curvatura se elige como promedio de la curvatura de las secciones de pala, para las que está previsto el dispositivo 70 VG particular de modo que se curva previamente para ajustarse a un gran número de palas y/o secciones de pala diferentes. Ventajosamente, la banda 81 adhesiva comprende al menos una capa externa adhesiva para su montaje sobre la parte exterior de la pala de turbina eólica y una capa de material compresible, tal como una capa de polímero espumado o células de espuma. Por tanto, la banda 81 adhesiva está adaptada para compensar variaciones para encajar o ajustarse exactamente con/a la curvatura de la parte exterior de la pala. No es necesario que la curvatura del lado 72 interno de la base 71 y el lado 73 externo de la base 71 sean iguales.

Además, la figura 6 muestra la forma de las paletas. Puede verse que las paletas comprenden un tramo 83 de borde de ataque, en el que una altura de la paleta aumenta desde el segundo lado 78 hacia el primer lado 77 de la base 71, un tramo intermedio o tramo 84 superior, en el que una altura de la paleta es sustancialmente constante, y un tramo 85 de borde de salida, en el que una altura de la paleta disminuye hacia el primer lado 77 de la base 71. En la realización representada, la paleta comprende un tramo 85 de borde de salida sustancialmente recto, es decir de modo que la altura de la paleta desciende de manera lineal a lo largo de este tramo. Por tanto, el tramo 85 de borde de salida está ahusado de modo que la paleta forma un ángulo de ahusamiento de borde de salida  $\alpha$  con una superficie normal a un plano de la base 71 (y la parte exterior de la pala de turbina eólica). El ángulo de ahusamiento de borde de salida  $\alpha$  es ventajosamente de aproximadamente 6 grados.

La figura 7 muestra una vista lateral del dispositivo VG visto desde el primer lado 77 de la base 71. Puede verse que las paletas están ahusadas de modo que los primeros lados 88 y segundos lados 89 de las paletas están ahusados hacia un tramo superior de las paletas con un ángulo de ahusamiento de grosor  $\theta$ . El ángulo de ahusamiento de grosor  $\theta$  puede estar, por ejemplo, entre 1 y 2 grados. Además, la primera paleta 79 y 80 pueden estar inclinadas una hacia la otra de modo que un primer eje 86 de inclinación de la primera paleta 79 y un segundo eje de

inclinación de la segunda paleta 80 forman ambos un ángulo de inclinación  $\phi$  con respecto a una superficie normal que está entre, por ejemplo, 0,5 y 1 grados. Sin embargo, ventajosamente las paletas 79, 80 pueden sobresalir perpendicularmente de la base 71 (y la parte exterior de la pala de turbina eólica).

5 El dispositivo VG está dotado del ángulo de ahusamiento de grosor  $\theta$  y del ángulo de ahusamiento de borde de salida  $\alpha$ , así como del ángulo de inclinación opcional  $\phi$  de modo que el dispositivo 70 VG puede moldearse en una única pieza y aún así liberarse del molde sin que se rompan partes del dispositivo 70 VG. Al mismo tiempo, la función del dispositivo 70 VG no se ve perjudicada en comparación con los dispositivos VG convencionales. En una realización ventajosa, el dispositivo VG está moldeado como un elemento unitario hecho de una combinación de PBT y policarbonato.

10 La realización se ha mostrado en el presente documento como un único par de paletas VG sobre una base trapezoidal. Sin embargo, se reconoce que el dispositivo VG incluye varios conceptos inventivos, por ejemplo el uso del rebaje, los ángulos de inclinación y ahusamiento para poder moldear el dispositivo VG, y el uso de una base trapezoidal. Por tanto, se reconoce que pueden contemplarse otras realizaciones que utilicen estos conceptos inventivos.

15 Con respecto al dispositivo VG moldeado, por ejemplo no es necesario que el dispositivo comprenda exactamente un par de paletas VG. En cambio, el dispositivo VG moldeado puede formarse por ejemplo como una banda que comprende una pluralidad de pares de paletas VG, o formarse con sólo una única paleta dispuesta en un pie.

20 Éste también es el caso para el dispositivo VG con el rebaje en el lado interno de la base, donde se reconoce que el dispositivo puede formarse como una banda que comprende una pluralidad de pares de VG. Además, se reconoce que esta idea puede usarse para otros dispositivos de guiado de flujo con partes que sobresalen de un lado externo de la banda/base, tales como deflectores, perfiles de Gurney (*Gurney flaps*) o similares.

25 Además, se reconoce que la paleta puede tener diversas formas. Por tanto, la paleta puede tener, por ejemplo, una forma de triángulo recto como se muestra en la figura 8a, o puede comprender una parte de borde de salida ahusada con una parte superior aplanada como se muestra en la figura 8b o sin una parte superior aplanada en la figura 8c. La paleta puede comprender también una sección intermedia que tiene un ángulo de ahusamiento diferente como se muestra en la figura 8d, o un tramo superior redondeado como se muestra en la figura 8e. La parte de borde de ataque de la paleta puede comprender una parte superior recta como se muestra en las figuras 8a-e, o una parte superior cóncava como se muestra en la figura 8f o una parte superior convexa como se muestra en la figura 8g. La parte de borde de salida también puede ser cóncava o convexa como se muestra en la figura 8h. Asimismo, la forma puede adoptar cualquier combinación de dichas secciones mostradas en las realizaciones de la figura 8.

30 La figura 9 ilustra una turbina 102 eólica que comprende una torre 104, una góndola 106 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 108 y tres palas 110 que se extienden radialmente desde el buje 108. El rotor está detenido en una posición, en la que una de las palas 110 está colocada sustancialmente en vertical con un extremo 114 de punta apuntando hacia el suelo. Además, la pala 110 de turbina eólica está inclinada hacia una posición de descanso. Un operario 185 está trabajando en la pala 110 de turbina eólica y ha descendido por el borde de salida de la pala 110 a través de una plataforma 187 de trabajo y una disposición 186 de elevación. La disposición 186 de elevación comprende cables, que están conectados (no se muestra) cerca de la raíz de la pala 110 de turbina eólica, por ejemplo al buje 108 de la turbina 102 eólica.

40 Según otra realización, el operario puede usar una plataforma elevadora para acceder a la pala. Asimismo, el operario puede descolgarse a lo largo de la pala desde una posición por encima de una zona de aplicación.

A continuación se explica un método y herramientas según la invención para instalar posteriormente los dispositivos 70 VG en la parte exterior de una pala de turbina eólica con referencia a las figuras 10-13.

45 La figura 10 muestra una sección 10' de pala, en la que van a instalarse posteriormente dispositivos 70 VG según la invención. En la realización mostrada, los dispositivos 70 VG van a disponerse cerca de un borde de ataque de la sección 10' de pala.

50 En una primera realización, se usa una película 40 de recubrimiento para alinear y cuidadosamente los dispositivos 70 VG en una posición correcta sobre la sección 10' de pala. La película 40 de recubrimiento comprende varias aberturas 41, una capa 42 desprendible que cubre las aberturas 41, y una película retirable interna. El método para instalar posteriormente comienza con la aplicación por parte de un operario de una película 40 de recubrimiento a la parte exterior de la sección 10' de pala en una zona de aplicación. Tras esto, el operario retira la capa 42 desprendible, exponiendo así las aberturas 41 de la película de recubrimiento. Entonces se prepara la parte exterior de la pala para acoplar los dispositivos 70 VG. Esto puede llevarse a cabo mediante esmerilado, pulido, lijado o similar, y opcionalmente limpiando la sección de pala tras ello. Debido al uso de aberturas 41 correspondientes a

posiciones previstas de los dispositivos 70 VG, es posible preparar sólo las zonas en las que van a disponerse o colocarse los dispositivos 70 VG. De ese modo, el esmerilado, lijado o pulido de la superficie no dañará involuntariamente las zonas circundantes en la superficie externa de la pala. Además, es posible inspeccionar la superficie de la pala antes de adherir los dispositivos de alteración de flujo a la superficie de la pala con el fin de garantizar que los dispositivos 70 VG se dispondrán en la posición correcta.

Tras la preparación de la parte exterior de la sección 10' de pala, se retira la película 43 retirable interna. Por tanto, se garantiza que los dispositivos 70 VG no se adherirán involuntariamente a la película 40 de recubrimiento en lugar de a la superficie externa de la pala de turbina eólica. Además, la parte 44 restante de la película 40 de recubrimiento puede funcionar como marcador para indicar la zona correcta para aplicar una placa 90 de montaje, lo que se muestra en la figura 11.

La placa 90 de montaje está hecha de, por ejemplo, una espuma de célula abierta u otro polímero espumado. Varios dispositivos 70 VG según la invención se insertan en un primer lado 91 de la placa de montaje de tal modo que las paletas de los dispositivos 70 VG se insertan en la placa 90 de montaje y el lado interno de los dispositivos VG quedan expuestos desde el primer lado 91 de la placa 90 de montaje. La placa 90 de montaje puede dotarse de cortes o ranuras 93, o moldearse con orificios para insertar las paletas de los dispositivos 70 VG. Sin embargo, la placa de montaje puede consistir por ejemplo también en dos partes de placa separadas, que se ensamblan para encajar alrededor de las paletas de los dispositivos 70 VG.

La placa 90 de montaje comprende además una capa 92 desprendible, que se retira antes de instalar posteriormente los dispositivos 70 VG en la parte exterior de la sección 10' de pala. Entonces los dispositivos 70 VG se adhieren con el lado interno de los dispositivos 70 VG a la parte exterior de la sección 10' de pala aplicando el primer lado 91 de la placa 90 de montaje sobre la zona de aplicación en la parte exterior de la sección 10' de pala, tras lo cual se retira la placa 90 de montaje, dejando por tanto, como se muestra en la figura 12, los dispositivos 70 VG sobre la parte exterior de la sección 10' de pala debido al uso de las bandas adhesivas en los rebajes de los dispositivos 70 VG. Los dispositivos 70 VG pueden simplemente adherirse a la parte exterior de la sección 10' de pala aplicando presión a la placa 90 de montaje.

Repitiendo las etapas anteriores pueden adherirse dispositivos 70 VG adicionales a la parte exterior de la pala. En una realización ventajosa, los orificios 93 o cortes más externos de la placa de montaje para insertar un dispositivo 70 VG pueden dejarse vacíos como se muestra en la figura 11. De ese modo, estas ranuras 93 pueden insertarse en uno de los dispositivos VG ya instalados posteriormente. Por tanto, puede preestablecerse la separación entre un dispositivo VG más externo ya instalado posteriormente y un dispositivo VG adyacente instalado posteriormente más tarde. Por tanto, se proporciona un método simple de instalación posterior de dispositivos VG adicionales en extensión directa de dispositivos VG ya instalados posteriormente.

En la práctica puede ser difícil aplicar la película 40 de recubrimiento a la parte exterior de la sección 10' de pala, en particular si los dispositivos 70 VG deben instalarse posteriormente *in situ* en una turbina eólica, ya que la película puede ser difícil de controlar debido a ráfagas de viento y similar. Por tanto, según otra realización mostrada en la figura 13, en su lugar puede utilizarse una configuración simple que usa (una) franja(s) 240, 240' de referencia para el montaje. Las franjas 240, 240' de referencia para el montaje pueden alinearse con posiciones predeterminadas en la parte exterior de la pala para quedar a nivel con una zona 245 de aplicación para adherir los dispositivos VG. Las franjas 240, 240' de referencia para el montaje pueden aplicarse a la superficie de la pala mediante el uso de la cinta 248. Entonces los dispositivos 70 VG se adhieren a la parte exterior de la pala de manera similar a la realización descrita anteriormente.

La pala puede comprender una primera sección 250 longitudinal más cerca de la raíz de la pala, una tercera sección 252 longitudinal más cerca de la punta de la pala, y una segunda sección 251 longitudinal intermedia entre la primera sección 250 longitudinal y la tercera sección 252 longitudinal. Las tres secciones 250, 251, 252 longitudinales pueden dotarse de dispositivos VG de diferentes tamaños. En la realización representada en la figura 13, las tres secciones 250, 251, 252 longitudinales se extienden a lo largo de una parte de la sección de raíz de la pala, la región de transición de la pala y una parte más interna de la sección de plano aerodinámico. Sin embargo, se reconoce rápidamente que las secciones longitudinales que comprenden diferentes dispositivos VG pueden ubicarse de manera diferente y que la extensión de las secciones longitudinales variará de un tipo de pala a otro. También es posible usar sólo dos secciones longitudinales y por tanto sólo dos tipos de dispositivos VG. Asimismo, puede ser posible usar cuatro, o incluso cinco secciones longitudinales y un número correspondiente de dispositivos VG diferentes.

En la práctica, ha resultado ser suficiente usar sólo tres tipos diferentes de dispositivos VG para la instalación posterior con el fin de cubrir varias secciones de pala y tipos de pala diferentes, a saber:

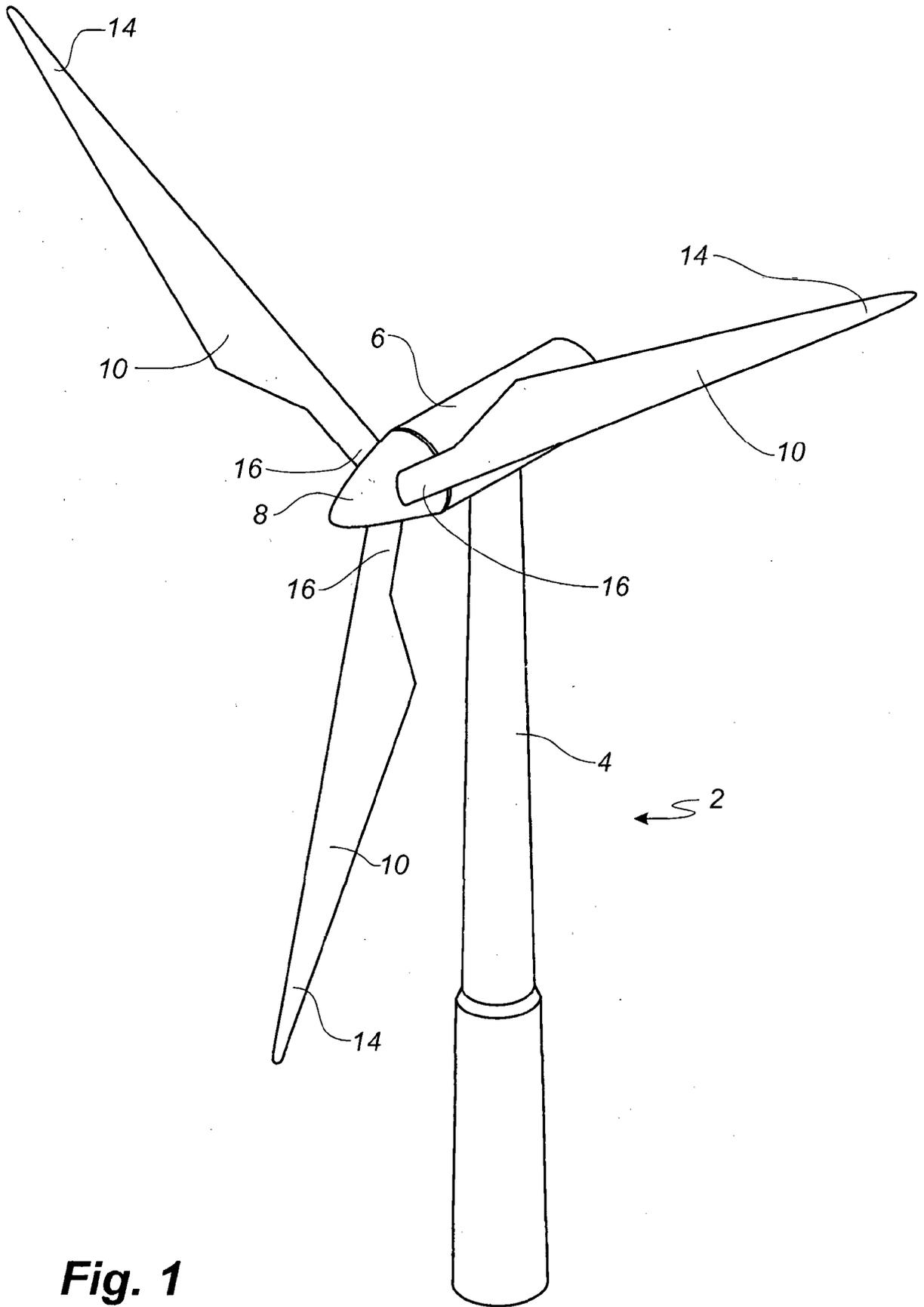
ES 2 482 615 T3

<b>Tipo</b>	<b>Altura total</b>	<b>Altura de la base</b>	<b>Altura del rebaje</b>	<b>R de curvatura</b>
VG 10	10 mm	1,3 mm	0,35 mm	500 mm
VG 20	20 mm	2,0 mm	0,8 mm	1001 mm
VG 30	30 mm	2,0 mm	0,8 mm	1501 mm

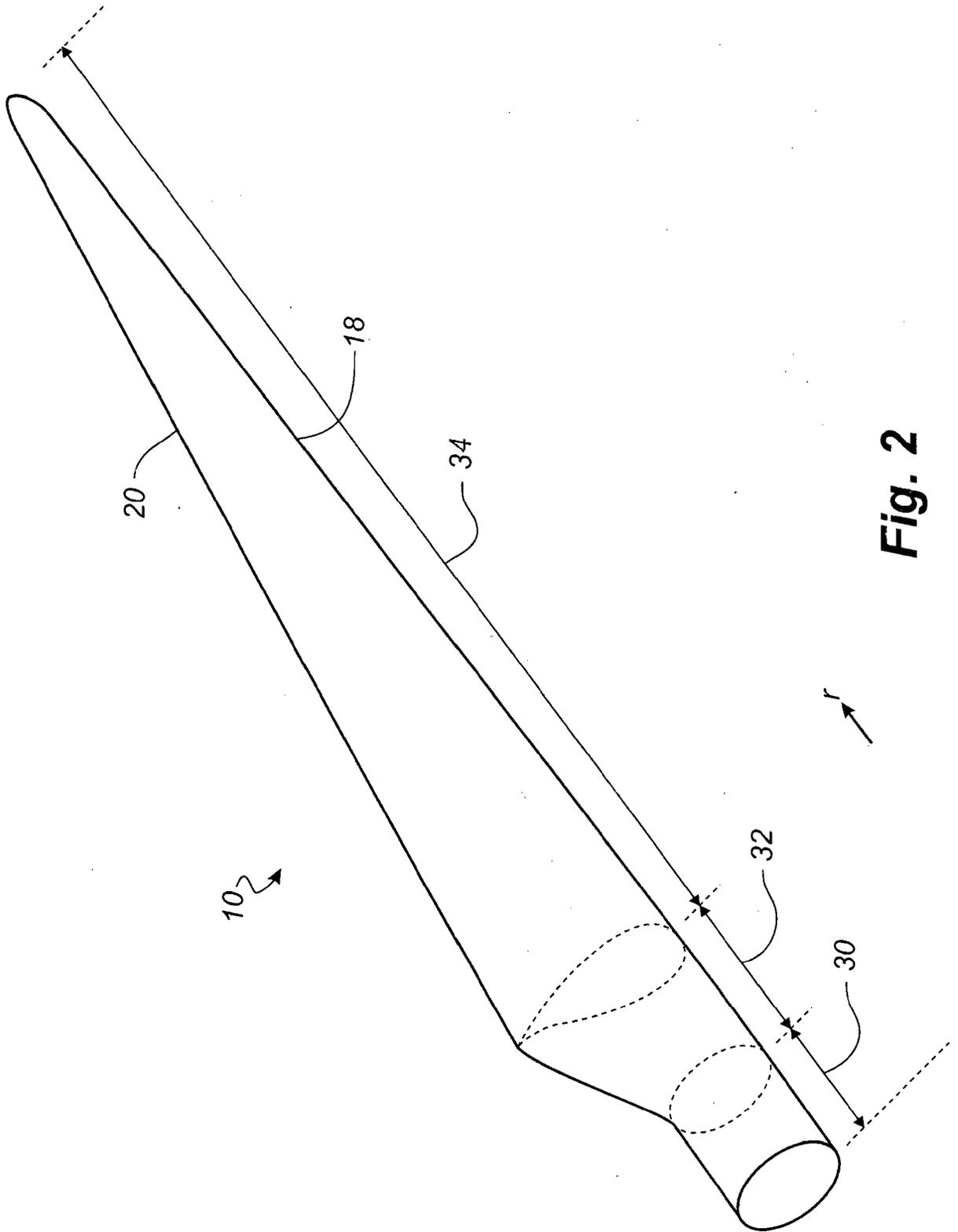
**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (70) generador de torbellinos para su montaje sobre una pala (10) de turbina eólica que comprende:
- una base (71) que, cuando está montada sobre una parte exterior de la pala (10) de turbina eólica, tiene
  - un lado (72) interno para su acoplamiento sobre una superficie, tal como la parte exterior de la pala (10) de turbina eólica, y
  - un lado (73) externo dirigido en sentido opuesto a la parte exterior de la pala (10) de turbina eólica,
  - estando dotado el dispositivo (70) generador de torbellinos de al menos una primera paleta (79, 80) que sobresale sustancialmente perpendicular a la base (71) del lado (73) externo, en el que
  - la paleta (79, 80) comprende un lado (78) de borde de ataque para disponer más cerca un borde de ataque de la pala (10) de turbina eólica, y un lado (77) de borde de salida para disponer más cerca un borde de salida de la pala (10) de turbina eólica, y en el que
  - la paleta (79, 80) comprende un tramo (83) de borde de ataque ubicado más cerca del lado (78) de borde de ataque de la paleta (79, 80), que está ahusado hacia el lado (78) de borde de ataque de la paleta (79, 80), en el que
  - la paleta (79, 80) comprende además un tramo (85) de borde de salida ubicado más cerca del lado (77) de borde de salida de la paleta (79, 80), que está ahusado hacia el lado (77) de borde de salida de la paleta (79, 80), y caracterizado porque
  - la paleta (79, 80) está ahusada en su grosor hacia una parte superior de la paleta (79, 80) en relación con la base.
2. Generador de torbellinos según la reivindicación 1, en el que el dispositivo generador de torbellinos está moldeado.
3. Generador de torbellinos según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el dispositivo generador de torbellinos está hecho de un metal, tal como aluminio o acero inoxidable, o un material de polímero, tal como TPU, PBT, PET o LDPE, policarbonato (PC), o una combinación de PBT y PC.
4. Dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tramo (85) de borde de salida forma un ángulo de ahusamiento de borde de salida promedio ( $\alpha$ ) con una superficie normal a la base en un intervalo entre 1 y 20 grados, o entre 1 y 15 grados, o entre 1 y 10 grados.
5. Dispositivo generador de torbellinos según la reivindicación 4, en el que el ángulo de ahusamiento de borde de salida promedio ( $\alpha$ ) está entre 4 y 8 grados.
6. Dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tramo (85) de borde de salida es sustancialmente recto.
7. Dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los lados (88, 89) de la paleta forman un ángulo de ahusamiento de grosor entre 0,5 y 5 grados, o entre 0,5 y 3,5 grados, o entre 0,5 y 2,5 grados.
8. Dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo generador de torbellinos comprende además una segunda paleta.
9. Dispositivo generador de torbellinos según la reivindicación 8, en el que la primera paleta y la segunda paleta están orientadas de modo que forman un ángulo entre sí de 10 a 70 grados, o 15 a 60 grados, o 20 a 50 grados.
10. Dispositivo generador de torbellinos según las reivindicaciones 8 ó 9, en el que la primera paleta y la segunda paleta están inclinadas una hacia la otra, formando cada una un ángulo de inclinación con una superficie normal que está entre 0,5 y 3 grados.
11. Dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tramo de borde de ataque se extiende a lo largo de al menos un 50%, o al menos un 60%, o al menos un 70%, o al menos un 75% de una longitud total de la paleta.

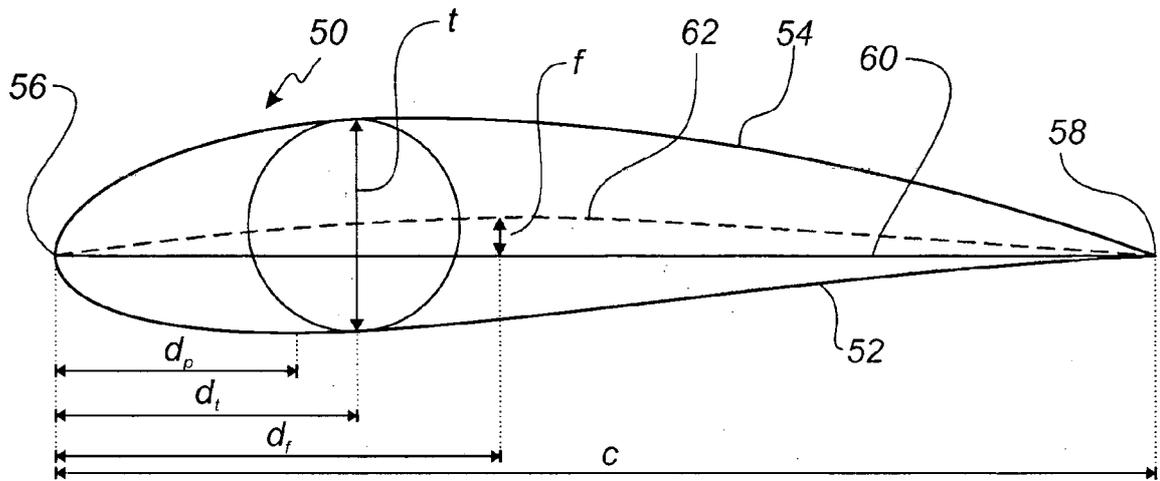
12. Generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la paleta comprende un tramo (84) superior aplanado.
- 5 13. Pala (10) para un rotor de una turbina (2) eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo dicho rotor un buje (8), desde el que la pala (10) se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando está montada en el buje (8), teniendo la pala una dirección longitudinal (r) con un extremo (16) de punta y un extremo (14) de raíz y una dirección transversal, comprendiendo la pala además:
- 10 - un contorno (40, 42, 50) perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión así como un borde (18) de ataque y un borde (20) de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre los mismos, generando el contorno perfilado, cuando impacta sobre el mismo un flujo de aire incidente, una sustentación, en la que el contorno perfilado está dividido en:
- una región (30) de raíz, más próxima al buje, que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico,
- una región (34) de plano aerodinámico, más alejada del buje, que tiene un perfil de generación de sustentación, y opcionalmente
- 15 - una región (32) de transición entre la región (30) de raíz y la región (34) de plano aerodinámico, teniendo la región (32) de transición un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial del perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil de generación de sustentación de la región de plano aerodinámico, y en la que
- la pala está dotada de un generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y en la que el lado interno de la base del generador de torbellinos está acoplado a una superficie de la pala de turbina eólica.
14. Turbina eólica que comprende varias palas, preferiblemente dos o tres, según la reivindicación 13.
- 20 15. Método para instalar posteriormente un dispositivo generador de torbellinos según cualquiera de las reivindicaciones 1-11 en una superficie de una pala de turbina eólica.



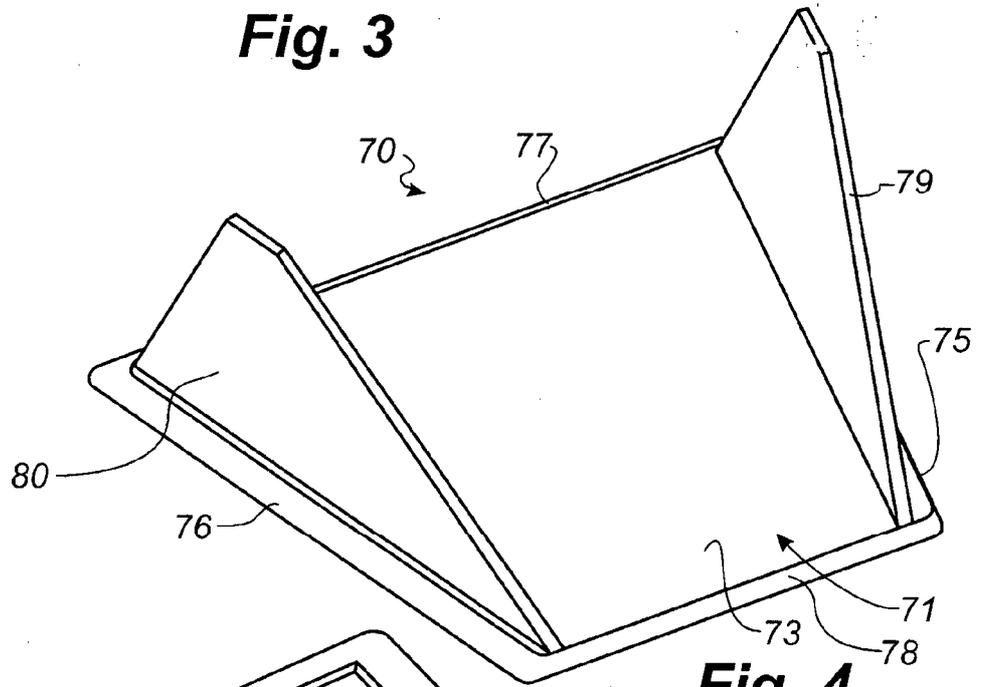
**Fig. 1**



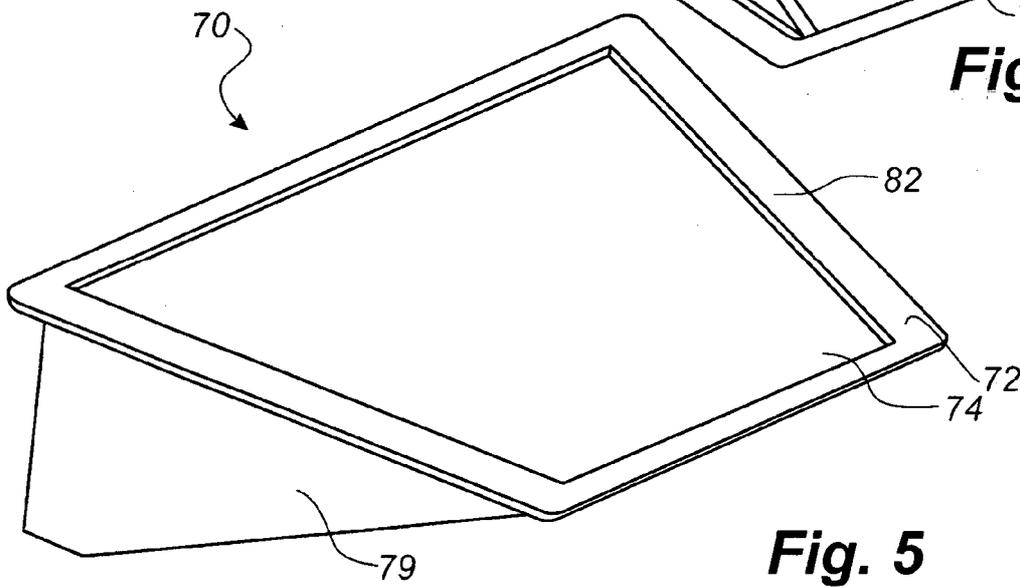
**Fig. 2**



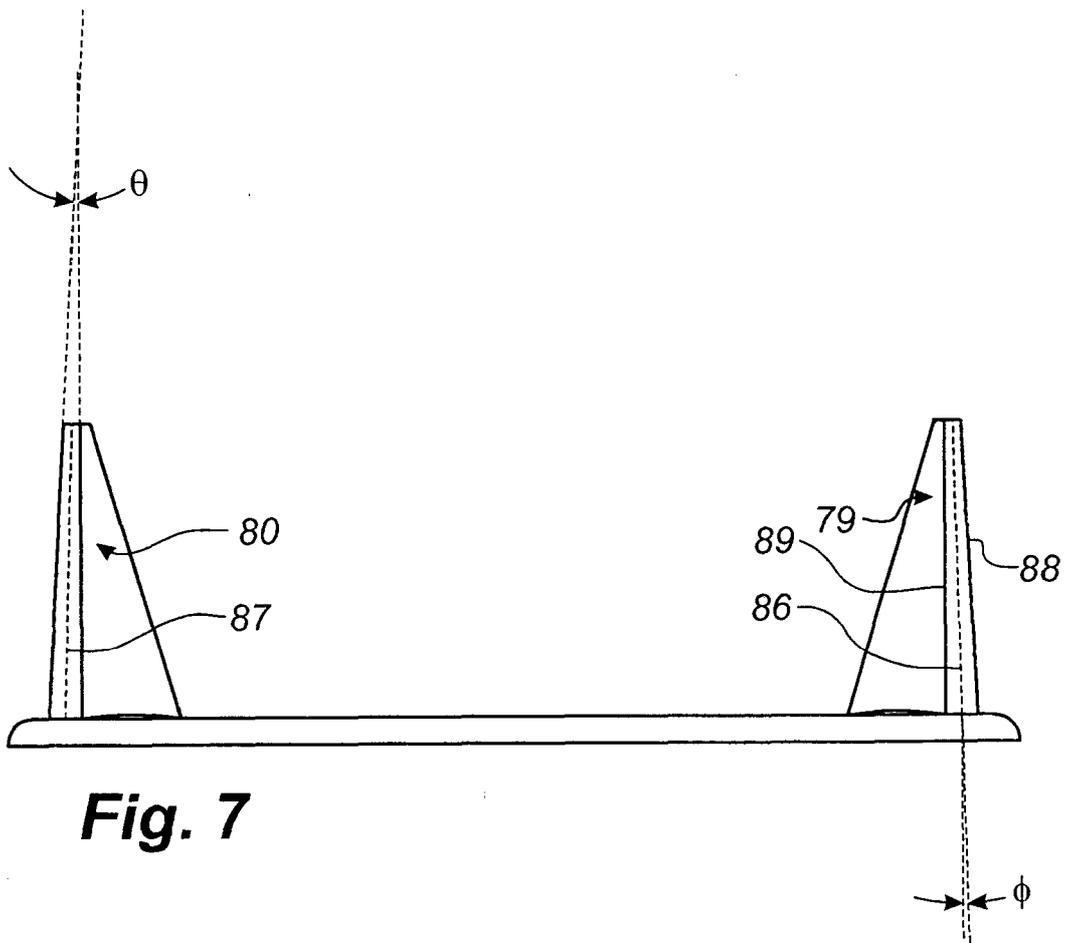
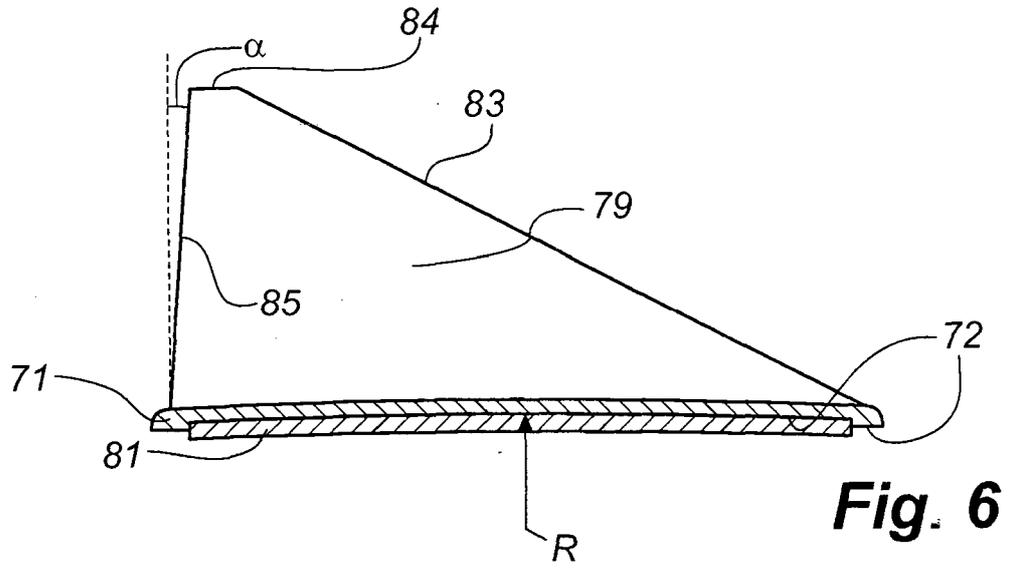
**Fig. 3**

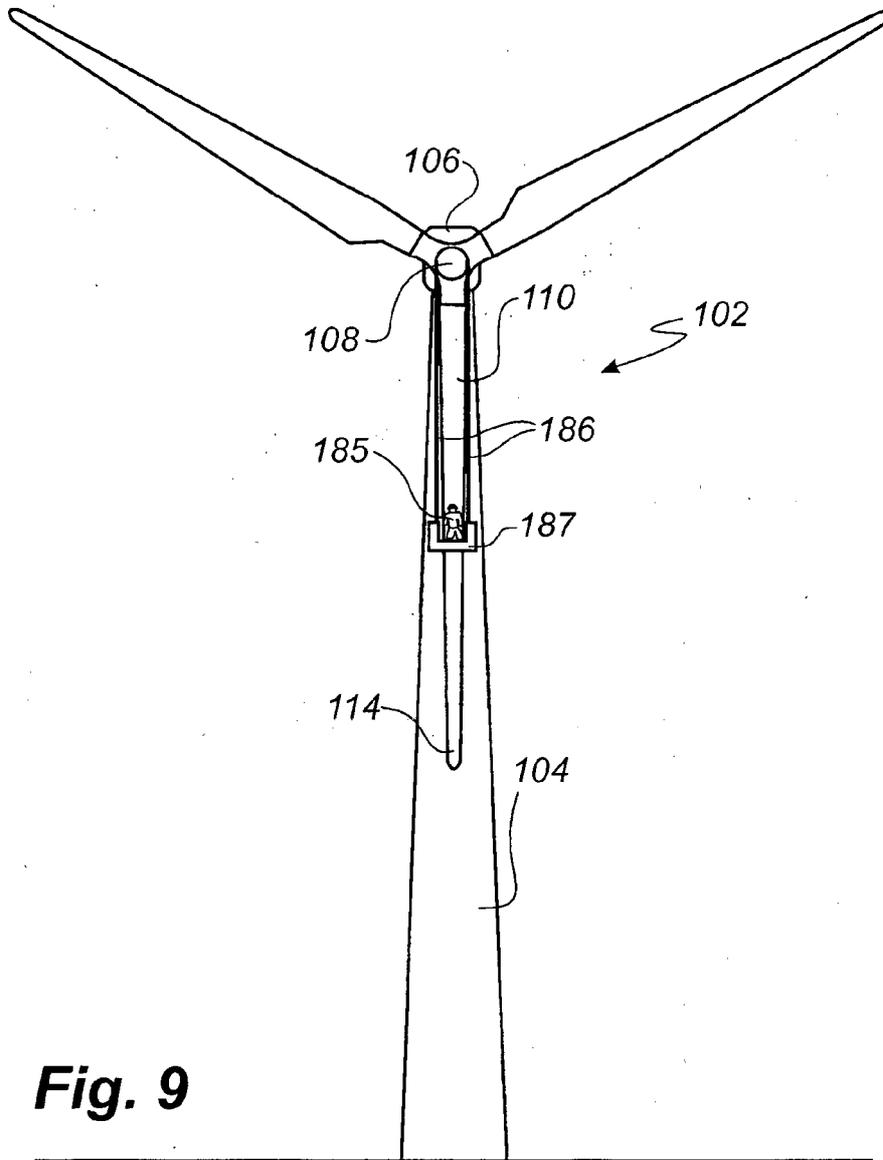
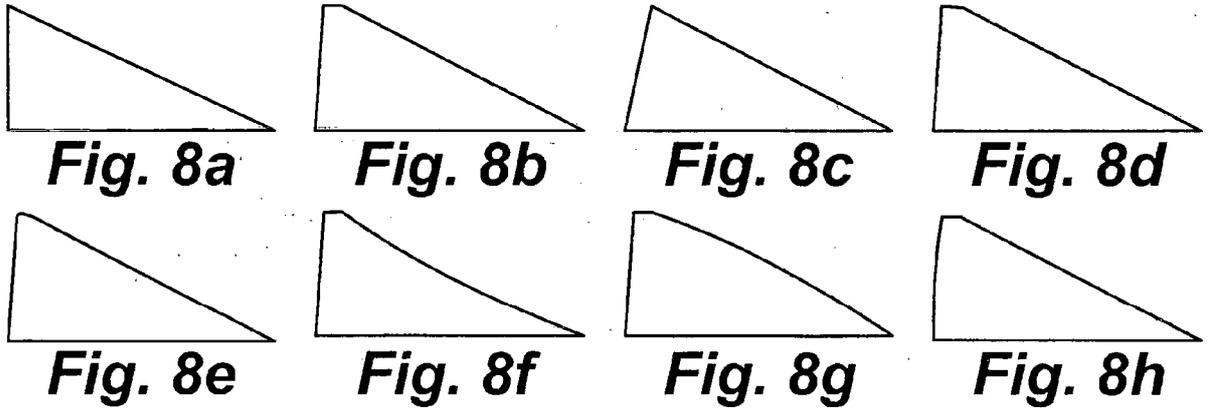


**Fig. 4**

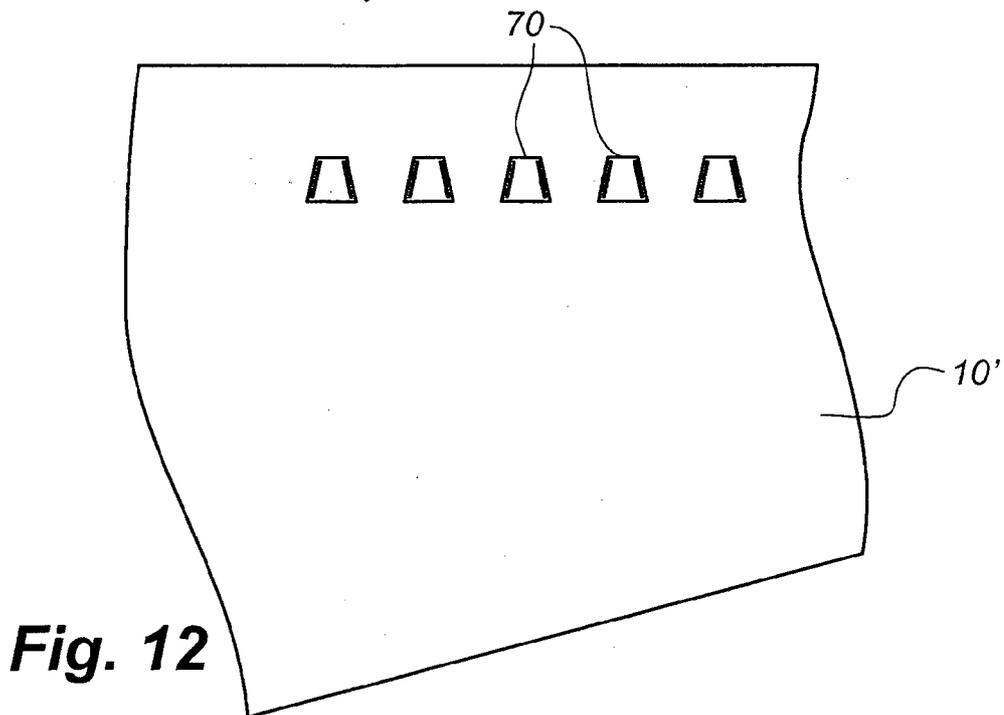
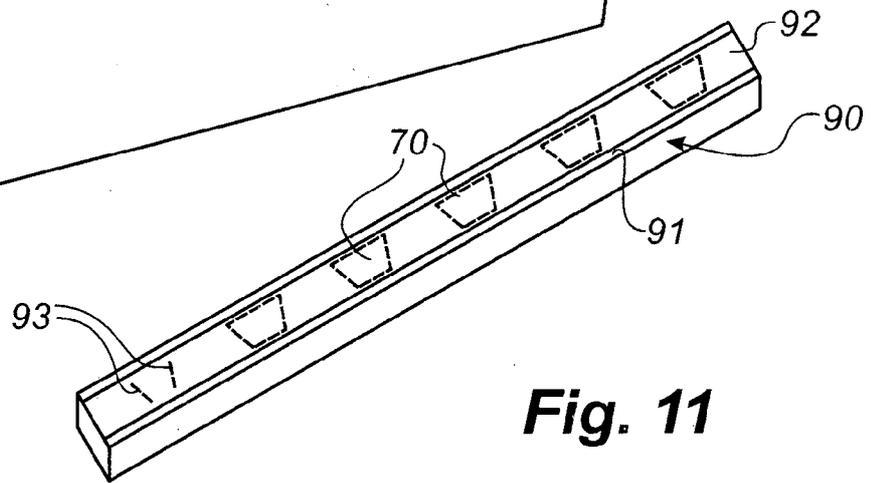
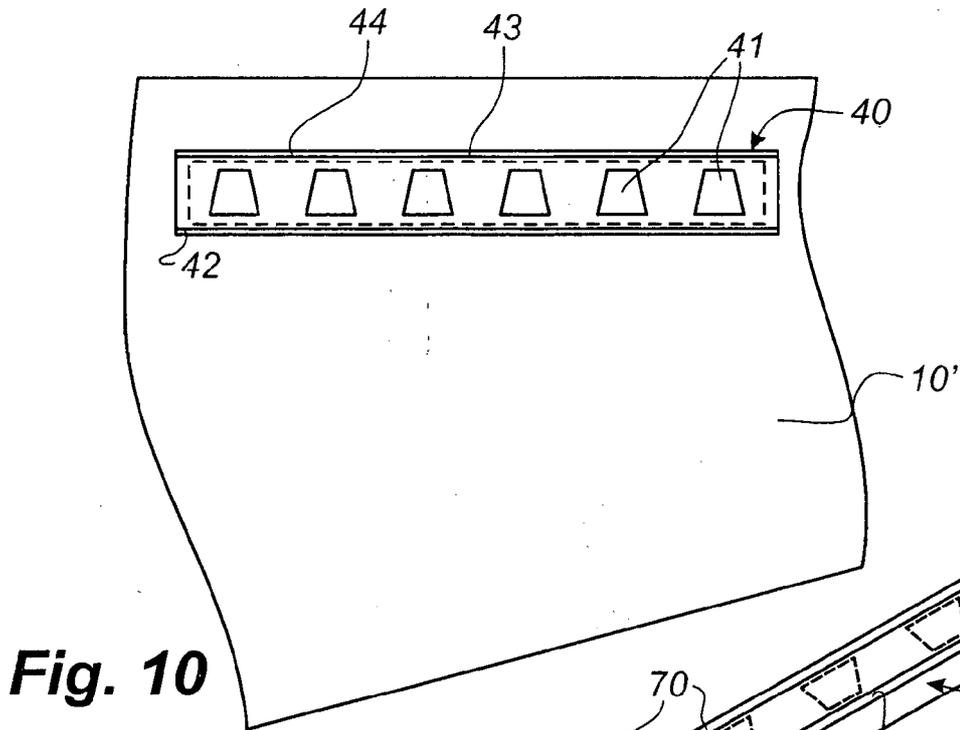


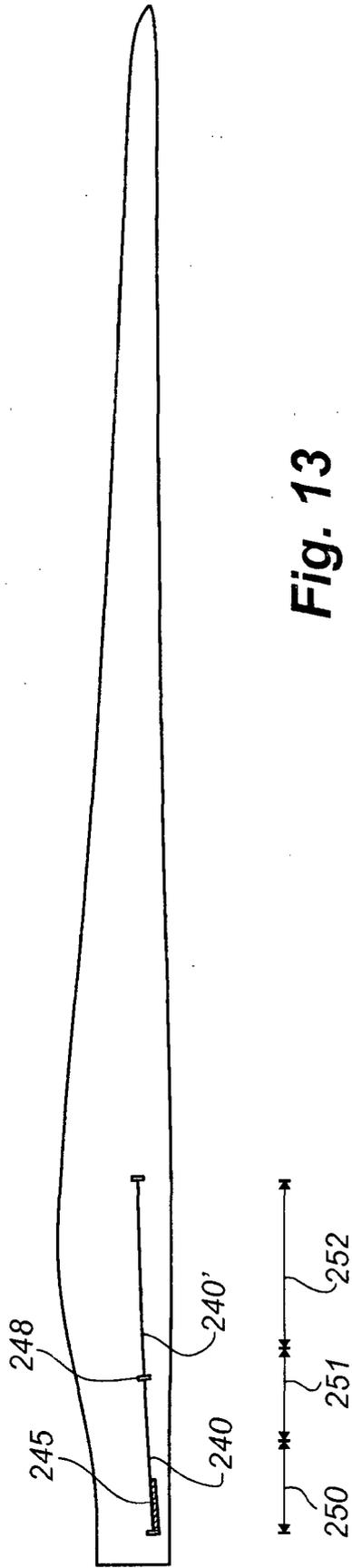
**Fig. 5**





**Fig. 9**





**Fig. 13**