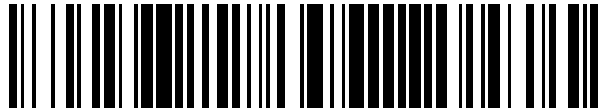


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 837**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.12.2014 PCT/EP2014/078462**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015 WO15091797**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2014 E 14812758 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2019 EP 3084209**

54 Título: **Una pala de aerogenerador que tiene dispositivos aerodinámicos despleables**

30 Prioridad:

**20.12.2013 EP 13198952**

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

**01.06.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ARCE, CARLOS;  
DAHL, MARTIN y  
MADSEN, JESPER**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 763 837 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**

Una pala de aerogenerador que tiene dispositivos aerodinámicos desplegados

**Campo de la invención**

5 La presente invención está relacionada con una pala de aerogenerador que tiene dispositivos aerodinámicos desplegados, y con una placa de borde de salida que tiene dispositivos aerodinámicos desplegados para la conexión al borde de salida de una pala de aerogenerador. A partir del documento DE 10 2012 000 431 A1 se conoce una disposición que implica el despliegue de un dispositivo aerodinámico posicionado cerca del borde de salida.

**Antecedentes de la invención**

10 En un esfuerzo por aumentar la elevación o reducir el arrastre y/o los niveles ruido de las palas de aerogenerador, a menudo se usan dispositivos en el borde de salida de las palas de aerogenerador para ajustar o regular el flujo en la estela de la pala de aerogenerador. Tales dispositivos pueden incluir bordes serrados, cerdas o aletas acústicas. Estos dispositivos funcionan a través de la modificación de las propiedades de flujo, y/o a través de la adsorción de energía del flujo de aire sobre las palas a través de curvatura mecánica de los dispositivos bajo la acción de la viento.

15 Una cuestión con tales dispositivos, sin embargo, es que la curvatura de tales dispositivos durante el funcionamiento del aerogenerador puede dar como resultado la separación de flujo en la región de los dispositivos, debido a un ángulo relativamente alto de ataque en la región de los dispositivos doblados. Tal separación de flujo puede dar como resultado un aumento de efecto de arrastre para la pala de aerogenerador, y/o aumento de ruido operacional de la pala de aerogenerador.

20 Un objeto de la invención es proporcionar una solución para una pala de aerogenerador en donde se impida la separación de flujo sobre dispositivos de borde de salida durante periodos de curvatura de los dispositivos de borde de salida, sin impactar en el funcionamiento normal de la pala de aerogenerador.

**Compendio de la invención**

Por consiguiente, se proporciona una pala de aerogenerador que tiene un perfil aerodinámico con un borde de ataque y un borde de salida y una cuerda que se extiende entre los mismos, la pala comprende además:

25 al menos un miembro flexible que sobresale desde el borde de salida de la pala,  
en donde dicho al menos un miembro flexible se dispone para flexionar bajo la acción de flujo de aire sobre la pala de aerogenerador, y

30 en donde la flexión de dicho al menos un miembro flexible actúa para desplegar al menos un dispositivo aerodinámico, preferiblemente generadores de vórtice, en el borde de salida de la pala de aerogenerador, para impedir la separación de flujo sobre dicho al menos un miembro flexible.

35 El al menos un miembro flexible puede comprender cualquier dispositivo o dispositivos adecuados que se disponen en un borde de salida de pala, por ejemplo para finalidades aerodinámicas y/o de ruido. Por ejemplo, el al menos un miembro flexible puede comprender cualquier combinación de los siguientes: una aleta acústica, bordes serrados, cerdas, etc. Los dispositivos aerodinámicos pueden incluir cualquier dispositivo adecuado para influir en el flujo aerodinámico sobre el al menos un miembro flexible. Por ejemplo, el al menos un dispositivo aerodinámico puede comprender cualquier combinación de los siguientes: micropestañas, microaletas, generadores de vórtice, etc.

Preferiblemente, dicha etapa de desplegar el al menos un dispositivo aerodinámico comprende apalancar o elevar dicho al menos un dispositivo aerodinámico por encima de una superficie de dicha pala de aerogenerador.

40 En una realización preferida, se proporciona una pala de aerogenerador que tiene un perfil aerodinámico con un borde de ataque y un borde de salida y una cuerda que se extiende entre los mismos, la pala comprende además:

una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo que sobresalen desde el borde de salida de la pala,

en donde dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo se disponen para flexionar bajo la acción de flujo de aire sobre la pala de aerogenerador, y

45 en donde la flexión de dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo actúa para desplegar generadores de vórtice en el borde de salida de la pala de aerogenerador, para impedir la separación de flujo sobre dichos dispositivos de modulación de flujo.

50 Durante el funcionamiento de un aerogenerador, dispositivos de borde de salida de una pala de aerogenerador pueden desviarse o doblarse bajo la acción del flujo de viento sobre la pala. Dicha curvatura o desviación puede ser en un grado que los dispositivos de borde de salida se doblan alejándose de la dirección de flujo laminar sobre el perfil aerodinámico de pala. Esto puede dar como resultado la separación de flujo sobre los dispositivos de borde de salida,

lo que puede llevar a aumento de arrastre. Conforme los dispositivos de modulación de flujo, que son preferiblemente generadores de vórtice, se despliegan sobre la curvatura del dispositivo de modulación de flujo, esto permite flujo conectado en la estela de los dispositivos desplegados, impidiendo de ese modo la separación de flujo sobre los dispositivos de borde de salida.

- 5 Se entenderá que el despliegue de dichos generadores de vórtice da como resultado que sobresalgan los generadores de vórtice por encima de la superficie de la pala de aerogenerador, preferiblemente desde una posición rebajada debajo de la superficie de la pala de aerogenerador o desde una posición sustancialmente a ras con la superficie de la pala de aerogenerador. En realizaciones donde los dispositivos de modulación de flujo se proporcionan como parte de una placa o panel que se puede conectar a la superficie de una pala de aerogenerador, se entenderá que el despliegue de dichos generadores de vórtice puede dar como resultado que sobresalgan los generadores de vórtice por encima de la superficie de dicha placa o panel. Los generadores de vórtice se pueden proporcionar como elementos separados que se pueden conectar o montar en una pala de aerogenerador, o que se pueden integrar con la estructura de la propia pala de aerogenerador.

- 15 Preferiblemente, los generadores de vórtice se ubican adyacentes al borde de salida, dentro del 5% de la longitud de cuerda desde el borde de salida.

Proporcionar los generadores de vórtice en proximidad al borde de salida permite maximizar el efecto del flujo conectado en la estela de los generadores de vórtice para los dispositivos de borde de salida.

- 20 Preferiblemente, al menos una zona de dichos generadores de vórtice se forma integralmente con al menos una zona de dichos dispositivos de modulación de flujo, en donde el movimiento de dichos dispositivos de modulación de flujo produce movimiento correspondiente de dichos generadores de vórtice.

- 25 Los dispositivos de modulación de flujo se pueden conectar mecánicamente a generadores de vórtice desplegables, p. ej. usando accionadores puede funcionar para subir dichos generadores de vórtice desde una posición rebajada sobre la pala de aerogenerador a una posición donde los generadores de vórtice impactan en el flujo de aire sobre la pala de aerogenerador. Esto puede ser a través del uso apropiado de sensores de alargamiento o de curvatura, o materiales piezoeléctricos en los dispositivos de modulación de flujo, en donde se puede detectar una curvatura de los dispositivos de modulación de flujo y usarse como entrada a una disposición apropiada de accionador. Adicionalmente o como alternativa, entre dichos dispositivos de modulación de flujo y dichos generadores de vórtice se puede extender un elemento de conexión, p. ej. un alambre, varilla o cable, dispuesto para efectuar un despliegue de dichos generadores de vórtice sobre la curvatura de dichos dispositivos de modulación de flujo.

- 30 En una realización preferida, la pala de aerogenerador comprende una placa o panel de borde de salida para la conexión al borde de salida de la pala de aerogenerador, el panel comprende

una zona de base para la conexión a una superficie de la pala de aerogenerador; y

una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo que sobresalen desde un lado de dicha zona de base, dichos dispositivos de modulación de flujo dispuestos para sobresalir desde el borde de salida de la pala de aerogenerador,

- 35 en donde el panel de borde de salida se forma sustancialmente de un material flexible, y

en donde la flexión de dicho panel de borde de salida actúa para desplegar generadores de vórtice sobre dicha zona de base de dicha placa.

Preferiblemente, dicha etapa de desplegar los generadores de vórtice comprende apalancar o subir dichos generadores de vórtice por encima de una superficie de dicho panel de borde de salida.

- 40 Preferiblemente, dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo se integran al menos parcialmente con dicha zona de base. Preferiblemente, dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo comprende bordes serrados, dichos bordes serrados formados integralmente y que sobresalen desde dicha zona de base.

- 45 En un aspecto, el panel de borde de salida comprende una pluralidad de elementos de refuerzo que se extienden entre dichos dispositivos de modulación de flujo y dichos generadores de vórtice, dichos elementos de refuerzo pueden funcionar para traducir un movimiento de dichos dispositivos de modulación de flujo en un movimiento de dichos generadores de vórtice.

- 50 Preferiblemente, dichos elementos de refuerzo comprenden al menos uno de los siguientes: un alambre o varilla incrustado al menos parcialmente o conectado entre un dispositivo de modulación de flujo y un generador de vórtice, y/o una nervadura estructural definida en dicha placa de borde de salida que se extiende entre un dispositivo de modulación de flujo y un generador de vórtice.

Preferiblemente, dicha zona de base comprende un miembro sustancialmente plano que tiene una pluralidad de secciones parcialmente recortadas definidas en dicho miembro plano, dicha pluralidad de secciones parcialmente recortadas perfilan una pluralidad de perfiles planos de generador de vórtice, en donde dicha pluralidad de secciones parcialmente recortadas se disponen para sobresalir por encima de la superficie de la pala de aerogenerador bajo la

acción de la curvatura o flexión del panel de borde de salida o dispositivos de modulación de flujo, para formar generadores de vórtice que dan como resultado la formación de vórtices de estela aguas abajo de los perfiles planos de generador de vórtice que sobresalen.

5 Se entenderá que, si bien los perfiles planos de generador de vórtice se describen como formados por recortes parciales, el panel de borde de salida puede ser formado inicialmente teniendo dicha pluralidad de secciones parcialmente recortadas definidas en el cuerpo de la placa, p. ej. a través de una operación de inicial de moldeo. Como alternativa, las secciones recortadas pueden ser proporcionadas inicialmente como zonas frangibles o rompibles definidas en el cuerpo del panel.

10 Como alternativa, las secciones recortadas se pueden cortar en el cuerpo de un panel tras la producción inicial de un panel en blanco.

En un aspecto, los generadores de vórtice pueden tener un perfil en forma de V o de diente serrado. Como alternativa, los generadores de vórtice pueden formarse para tener un perfil sustancialmente almenado.

15 Preferiblemente, dichos generadores de vórtice comprenden una pareja de paletas de generador de vórtice. Preferiblemente, dichas paletas de generador de vórtice comprenden un cuerpo plano, que tiene un primer lado sustancialmente en línea con una dirección de flujo sobre dicha pala de aerogenerador y un segundo lado dispuesto en un ángulo agudo con la dirección de flujo.

Preferiblemente, el panel de borde de salida comprende al menos un miembro de conexión que se extiende entre al menos una zona de dicha zona de base y al menos una zona de dichas secciones parcialmente recortadas.

Preferiblemente, dicho al menos un miembro de conexión comprende una membrana flexible.

20 Preferiblemente, dicha membrana flexible se dispone para formar un puente aerodinámico entre dicha zona de base y dichas secciones parcialmente recortadas, cuando dichas secciones parcialmente recortadas sobresalen por encima de la superficie de la pala de aerogenerador.

Preferiblemente, dicho al menos un miembro de conexión tiene una longitud definida.

25 Preferiblemente, dicho al menos un miembro de conexión se dispone para limitar la extensión a la que dichas secciones parcialmente recortadas sobresalen por encima de la superficie de la pala de aerogenerador. Conforme el miembro de conexión puede proporcionar un enlace entre los lados de los recortes y la superficie adyacente de la zona de base, se puede impedir que los recortes sean subidos más allá de una distancia definida correspondiente a la longitud máxima de extensión del miembro de conexión.

30 Está claro que el dispositivo aerodinámico puede funcionar ventajosamente entre un estado no desplegado o en estado de reposo y un estado desplegado. También está claro que el al menos un miembro flexible que sobresale desde el borde de salida de la pala se extiende sustancialmente a lo largo de la cuerda de la pala. En una realización, la flexión del miembro flexible hacia un lado de presión o lado contraviento de la pala despliega el dispositivo aerodinámico. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando una parte extrema del miembro flexible flexiona a una posición, donde se dispone en el lado de presión de la cuerda, que actúa para desplegar el dispositivo aerodinámico desde el lado de succión o lado a sotavento de la pala o una parte de base del miembro flexible. En general, está claro que el dispositivo aerodinámico puede ser desplegable con respecto a una parte de base del miembro flexible.

35 Además se proporciona una placa o panel de borde de salida para la conexión al borde de salida de un perfil aerodinámico, preferiblemente una pala de aerogenerador, en donde el panel comprende:

una zona de base para la conexión a una superficie de un perfil aerodinámico; y

40 al menos un miembro flexible que sobresale desde un lado de dicha zona de base, dicho al menos un miembro flexible para ser dispuesto en la estela del perfil aerodinámico,

en donde el panel de borde de salida se forma sustancialmente de un material flexible, y

en donde la flexión de dicho panel de borde de salida actúa para desplegar al menos un dispositivo aerodinámico en dicha zona de base de dicho panel.

45 Preferiblemente, se proporciona un panel de borde de salida para la conexión al borde de salida de un perfil aerodinámico, preferiblemente una pala de aerogenerador, en donde el panel comprende:

una zona de base para la conexión a una superficie de un perfil aerodinámico; y

una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo que sobresalen desde un lado de dicha zona de base, dichos dispositivos de modulación de flujo para ser dispuestos en la estela del perfil aerodinámico,

50 en donde el panel de borde de salida se forma sustancialmente de un material flexible, y

en donde la flexión de dicho panel de borde de salida actúa para desplegar generadores de vórtice sobre dicha zona de base de dicho panel.

5 Se entenderá que el panel de borde de salida como se ha descrito anteriormente se puede instalar posteriormente en una pala de aerogenerador existente, usando cualquier método de conexión adecuado, p. ej. adhesión, empernado, remachado, soldadura, etc. El panel de borde de salida se puede formar de material adecuado, p. ej. plexiglás, fibra de vidrio, fibra de carbono, metales, termoplásticos, termoendurecidos, etc.

Además se proporciona un método para la fabricación de un panel de borde de salida como se ha descrito anteriormente, que comprende las etapas de:

10 proporcionar un panel en blanco que tiene una zona de base y al menos un miembro flexible que sobresale desde un lado de dicha zona de base; y

formar al menos un elemento en dicha zona de base, en donde dicho al menos un elemento se dispone para desplegar por encima de una superficie de dicha zona de base en la curvatura de dicho al menos un miembro flexible.

15 La etapa de formar puede comprender cualquier operación de procesamiento realizada en el panel en blanco para formar dicho al menos un elemento, que puede incluir una cualquiera de las siguientes operaciones: corte, ataque químico, moldeo, punzonado.

Además se proporciona un aerogenerador que comprende al menos una pala de aerogenerador como se ha descrito anteriormente.

20 Si bien la invención se describe en el contexto de dispositivos de modulación de flujo, y en particular bordes serrados, y generadores de vórtice, se entenderá que los principios de la invención descritos en las realizaciones anteriores se pueden aplicar a cualquier configuración de la pala de aerogenerador o el borde de salida placa, p. ej. a través del uso de al menos un miembro flexible, p. ej. una aleta acústica, bordes serrados, cerdas, etc., y/o cualquier dispositivo adecuado para influir en el flujo aerodinámico sobre el al menos un miembro flexible, p. ej. micropestañas, microaletas, generadores de vórtice, etc.

### Descripción de la invención

25 Ahora se describirá una realización de la invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 muestra un aerogenerador;

La figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de aerogenerador según la invención;

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

30 La figura 4 muestra una vista esquemática de la pala de aerogenerador de la figura 2, vista desde arriba y desde el lado;

La figura 5 ilustra una vista en planta superior de una placa de borde de salida según un aspecto de la invención;

La figura 6 ilustra una vista en perspectiva de la placa de borde de salida de la figura 5;

35 La figura 7 muestra vistas laterales de la placa de borde de salida de la figura 5 antes y después de la flexión de la placa;

La figura 8 ilustra una vista en planta superior de un diseño alternativo de la placa de borde de salida según la invención; y

La figura 9 ilustra construcciones alternativas de la placa de borde de salida de la figura 5.

40 Se entenderá que elementos comunes a las diferentes realizaciones de la invención se han provisto de los mismos numerales de referencia en los dibujos. Es más, se entenderá que los dibujos mostrados son representativos, y no están a escala o son ilustrativos de anchuras y longitudes relativas.

45 La figura 1 ilustra un aerogenerador convencional moderno a contraviento 2 según el llamado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un vástago de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un cubo 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el cubo 8, cada una tiene una raíz de pala 16 más cercana al cubo y un punta de pala 14 más alejada del cubo 8. El rotor tiene un radio denotado R.

La figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de aerogenerador 10. La pala de aerogenerador 10 tiene la forma de una pala de aerogenerador convencional y comprende una región de raíz 30 más cerca del cubo, una región perfilada o de perfil aerodinámico 34 más alejada del cubo y una región de transición 32 entre la región de raíz 30 y la región de perfil aerodinámico 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 encarado a la dirección de rotación de

la pala 10, cuando la pala se monta en el cubo, y un borde de salida 20 encarado a la dirección opuesta del borde de ataque 18.

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

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

Cabe señalar que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, puesto que la pala puede ser retorcida y/o curvada (es decir, predoblada), proporcionando así al plano de cuerda un curso correspondientemente retorcido y/o curvado, este es a menudo el caso a fin de compensar la velocidad local de la pala que es dependiente en el radio desde el cubo.

La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico 50 de una pala típica de un aerogenerador representado con los diversos parámetros, que se usan típicamente para definir la forma geométrica de un perfil aerodinámico. El perfil aerodinámico 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que durante el uso - es decir, durante la rotación del rotor - normalmente se encara hacia el lado contra el viento (o contraviento) y el lado a favor del viento (o sotavento), respectivamente. El perfil aerodinámico 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El perfil aerodinámico 50 tiene un grosor  $t$ , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El grosor  $t$  del perfil aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación desde un perfil simétrico se da por una línea de alabeo 62, que es una línea mediana a través del perfil aerodinámico 50. La línea mediana se puede encontrar dibujando círculos inscritos desde el borde de ataque 56 al borde de salida 58. La línea mediana sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se llama alabeo  $f$ . La asimetría también se puede definir por el uso de parámetros llamados el alabeo superior (o alabeo de lado de succión) y alabeo inferior (o alabeo de lado de presión), que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52, respectivamente.

Los perfiles aerodinámicos se caracterizan a menudo por los siguientes parámetros: la longitud de cuerda  $c$ , el alabeo máximo  $f$ , la posición  $d_f$  del alabeo máximo  $f$ , el grosor máximo de perfil aerodinámico  $t$ , que es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea mediana de alabeo 62, la posición  $d_t$  del grosor máximo  $t$ , y un radio de morro (no se muestra). Estos parámetros se definen típicamente como ratios a la longitud de cuerda  $c$ . Así, un grosor de pala relativo local  $t/c$  se da como la ratio entre el grosor máximo local  $t$  y la longitud de cuerda local  $c$ . Además, la posición  $d_p$  del alabeo máximo de lado de presión se puede usar como parámetro de diseño, y por supuesto también la posición del alabeo máximo de lado de succión.

La figura 4 muestra algunos otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud de pala total  $L$ . Como se muestra en la figura 2, el extremo de raíz se ubica en la posición  $r = 0$ , y el extremo de punta se ubica en  $r = L$ . El hombro 40 de la pala se ubica en una posición  $r = L_w$ , y tiene una anchura de hombro  $W$ , que es igual a la longitud de cuerda en el hombro 40. El diámetro de la raíz se define como  $D$ . Además, la pala se provee de una curvatura previa, que se define como  $\Delta y$ , que corresponde a la desviación fuera de plano desde un eje de paso 22 de la pala.

La pala de aerogenerador 10 generalmente comprende una carcasa hecha de polímero reforzado con fibra, y típicamente se hace como parte de carcasa de lado de presión o de contraviento 24 y una parte de carcasa de lado de succión o de sotavento 26 que se pegan juntos a lo largo de líneas de cohesión 28 que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y el borde de ataque 18 de la pala 10. Las palas de aerogenerador se forman generalmente 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 de aerogenerador modernas a menudo pueden ser de más de 30 o 40 metros de longitud, que tienen diámetros de raíz de pala de varios metros. Las palas de aerogenerador se diseñan generalmente para vidas útiles relativamente largas y para aguantar considerable carga estructural y dinámica.

A fin de reducir el ruido de funcionamiento de borde de salida de las palas de aerogenerador, al menos un miembro, preferiblemente al menos un miembro flexible, se dispone para sobresalir desde al menos una zona del borde de salida 20 de la pala 10. Este tipo de miembro puede comprender una aleta acústica, y/o una serie de bordes serrados, cerdas u otros dispositivos de modulación de flujo que sobresalen. Tales miembros pueden ser incorporados y formados integralmente con la estructura de la pala de aerogenerador 10, o se pueden proporcionar como elemento separado que se pueden conectar a una pala de aerogenerador 10 tras la fabricación inicial o se puede instalar posteriormente en una pala existente.

Con referencia a las figuras 5 y 6, una realización de una placa o panel de borde de salida según una realización de la invención se indica en 70. El panel de borde de salida 70 comprende una zona de base 72 para la conexión a la superficie de una pala de aerogenerador 10, y una serie de bordes serrados 74 que sobresalen desde dicha zona de base 72. Los bordes serrados 74 se extienden desde un extremo de base 74a a un extremo de punta 74b, que se va a disponer en la estela de una pala de aerogenerador 10. Por consiguiente, la zona de base 72 se dispone en el lado de borde de ataque 70a del panel de borde de salida 70, y los bordes serrados 74 se disponen en el lado de borde de salida 70b del panel 70.

Con referencia a la vista lateral ilustrada en la figura 7(a), los bordes serrados 74 pueden sobresalir sustancialmente en el mismo plano que la zona de base 72. Como alternativa, se entenderá que los bordes serrados 74 se disponen para sobresalir con un ángulo con el plano de la zona de base 72, preferiblemente entre aproximadamente 0-25 grados con el plano de la zona de base 72. Preferiblemente, el panel de borde de salida 70 se forma de un material que es flexible suficientemente para doblarse bajo la acción de flujo sobre el panel 70.

En la zona de base 72 del panel 70, se proporciona una serie de elementos que sobresalen 76. En la realización de las figuras 5 y 6, los elementos que sobresalen se forman como recortes parciales 76 definidos por canal pasante proporcionado en la zona de base 72, el canal que perfila una forma parcialmente recortada en la zona de base 72. Los elementos o recortes parciales 76 se disponen generalmente para tener un extremo de base 76a ubicado hacia el lado de borde de salida 70b del panel 70, con un extremo de punta 76b ubicado hacia el lado de borde de ataque 70a del panel 70. El extremo de base 76a de los recortes parciales 76 es preferiblemente integral con la zona de base 72 del panel 70, a lo largo de una línea de curvatura 78. En la realización mostrada en las figuras 5 y 6, los recortes parciales 76 son en forma de saliente en forma de V, que apunta en la dirección del lado de borde de ataque 70a del panel 70.

Los elementos 76 definidos por los recortes parciales se disponen para estar sustancialmente en línea con los bordes serrados salientes 74. En la realización mostrada en las figuras 5 y 6, el extremo de base 76a de los tres elementos 76 se disponen adyacentes al extremo de base 74a de cada borde serrado 74 del panel de borde de salida 70, pero se entenderá que se puede disponer cualquier número de elementos 76 para que estén en línea con cada borde serrado 74 del panel 70, p. ej. cada borde serrado 74 se puede disponer en línea con un único elemento 76.

Los elementos 76 definidos por los recortes parciales se enlazan eficazmente con los bordes serrados salientes 74, de manera que un movimiento de un borde serrado 74 tendrá como resultado un movimiento correspondiente de un elemento enlazado 76. En un primer aspecto, un borde serrado y al menos un elemento se pueden enlazar a través de las propiedades estructurales intrínsecas del panel de borde de salida 70, en donde la curvatura del propio panel de borde de salida 70 resulta en un movimiento de apalancamiento enlazado entre el borde serrado y los elementos. Este tipo de enlazamiento estructural se puede deber a propiedades mecánicas del propio panel, p. ej. en caso de un panel formado usando un material compuesto de fibra, las fibras en este tipo de panel se pueden disponer de manera que la dirección primaria de fibra es sustancialmente transversal a un eje de bisagra de los bordes serrados. Es más, se entenderá que entre un borde serrado y elementos enlazados se puede extender una nervadura de refuerzo o corrugación, para permitir un enlace estructural mejorado entre el borde serrado y los elementos.

Adicionalmente o como alternativa, entre un borde serrado 74 y uno o más elementos 76 se puede disponer un enlazamiento mecánico, p. ej. el uso de un alambre o varilla de conexión incrustado o proporcionado en el panel 70, y que conecta el borde serrado y dichos elementos.

Si bien los elementos 76 de las figuras 5 y 6 se muestran como que tienen el extremo de base 76a ubicado hacia el lado de borde de salida 70b, pero espaciado de este, de la zona de base 72, se entenderá que los elementos 76 se pueden posicionar de manera que el extremo de base 76a esté ubicado hacia el lado de borde de salida 70b, pero espaciado de este, de la zona de base 72, por ejemplo de manera que el extremo de base 76a de los elementos es coincidente con el extremo de base 74a de los bordes serrados 74, definiendo sustancialmente una bisagra o fulcro entre los bordes serrados 74 y los elementos 76.

Se entenderá que el término "recorte" se usa para definir un elemento que se integra parcialmente con el cuerpo de la zona de base por medio de un extremo de base, y que se define por un canal pasante dispuesto en la zona de base alrededor de la periferia del resto del elemento, de manera que el elemento puede ser desviado o doblado respecto al plano de la zona de base 72, a lo largo de una línea de curvatura ubicada en el extremo de base del elemento. En este sentido, el "recorte" se puede formar integralmente con la zona de base como resultado de una operación de moldeo que define los canales circundantes como parte de la operación de moldeo, y/o los recortes se pueden cortar o atacar químicamente en la zona de base 72, p. ej. en una parte en blanco de un panel de borde de salida 70. Adicionalmente, si bien los elementos salientes 76 de la realización de las figuras 5 y 6 se definen en el cuerpo de la zona de base 72, se entenderá que en otras realizaciones de la invención, los elementos salientes 76 se pueden disponer para sobresalir desde el lado de borde de ataque 70a de la zona de base 72 del panel 70.

La figura 7 ilustra una vista lateral del panel 70 de las figuras 5 y 6, que se pueden conectar al borde de salida 20 de una pala de aerogenerador 10 (no se muestra en la figura 7). Con referencia a la figura 7(a), en un estado en reposo, los bordes serrados 74 sobresalen desde la zona de base 72 del panel 70 en su plano normal. En este estado, los elementos o recortes parciales 76 de la zona de base 72 se disponen de manera que los elementos 76 están en

alineamiento y a ras con las superficies adyacentes del panel 70, y no influyen significativamente en la aerodinámica del panel 70.

En la figura 7(b), los bordes serrados 74 del panel 70 están desviados de su posición en reposo un ángulo  $\alpha$ , por ejemplo debido a fuerzas generadas desde flujo de aire sobre una pala de aerogenerador 10. Debido al enlazamiento entre los bordes serrados 74 y los elementos 76, los elementos 76 son apalancados correspondientemente a una posición desplegada en donde los elementos 76 sobresalen por encima del plano de la superficie de la zona de base 72 del panel 70. En la realización mostrada en la figura 7, los elementos 76 son apalancados un ángulo  $\alpha$  correspondiente a la desviación angular de los bordes serrados 74, pero se entenderá que una correspondencia 1:1 entre los ángulos apalancados no es limitativa, y que los elementos 76 puede ser subidos un ángulo mayor o menos que  $\alpha$ .

En un aspecto adicional de la invención, se entenderá que se puede proporcionar una zona de conexión (no se muestra) entre los bordes libres de los elementos 76 y la superficie adyacente de la zona de base 72. Tal zona de conexión puede ser en forma de membrana flexible, que actúa para formar un puente aerodinámico entre la superficie de la zona de base 72 y el elemento saliente 76. Al utilizar un miembro flexible entre la zona de base 72 y los elementos 76, se suavizará la transición entre la superficie general de la pala de aerogenerador 10 y los elementos salientes 76, e impedirá flujo de aire que impacta en el área debajo de los elementos salientes 76.

Adicionalmente o como alternativa, dicha zona de conexión se puede disponer para tener una longitud limitada, en donde se impide subir los elementos 76 por encima de la superficie de la zona de base 72 más allá de dicha longitud.

En una realización alternativa, sobre la placa de borde de salida 70 se puede proporcionar un capa de cobertura (no se muestra), en donde se aplica una hoja relativamente flexible para cubrir al menos una zona de dicha zona de base 72 y dichos elementos 76. La subida o apalancamiento de dichos elementos 76 actuará posteriormente para deformar la capa de cobertura de una manera que defina una forma de generador de vórtice en dicho borde de salida 70.

Conforme los elementos 76 definidos por los recortes parciales se suben por encima de la superficie del panel de borde de salida 70, se llevan adentro del flujo de aire sobre la pala de aerogenerador 10. La forma de los elementos 76 se elige de manera que los elementos salientes 76 actúan como generadores de vórtice en el flujo de aire, creando un vórtice de punta aguas abajo del extremo de punta 76b de los elementos salientes 76. El vórtice de punta actúa para atraer flujo de aire que tiene momento relativamente alto desde fuera de la capa límite que se mueve relativamente lenta hasta el contacto con la superficie de los bordes serrados 74, volviendo a energizar de ese modo la capa límite de flujo de aire a lo largo de los bordes serrados y retrasando la separación de flujo.

Como los generadores de vórtice únicamente son desplegados eficazmente cuando los bordes serrados 74 se desvían en una extensión suficiente para apalancar el elemento saliente 76 adentro del flujo de aire que viene, por consiguiente las propiedades aerodinámicas de la pala de aerogenerador como conjunto no se alteran para condiciones operacionales en donde los bordes serrados no se desvían sustancialmente del estado en reposo, p. ej. para condiciones de viento a baja velocidad, donde la separación de flujo sobre bordes serrados de borde de salida no es un problema significativo. Conforme aumenta la velocidad del flujo de aire sobre la pala de aerogenerador en la medida que se desvían los bordes serrados, los generadores de vórtice son apalancados por encima del nivel de superficie adyacente y se despliegan adentro del flujo de aire. Por consiguiente, los generadores de vórtice tienen un despliegue dinámico basado en el flujo de aire sobre la pala de aerogenerador, puesto que cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es la desviación de borde serrado, y en consecuencia más alto sobresaldrán los elementos 76 por encima de la superficie de la pala y en el flujo de aire que viene.

El panel de borde de salida 70 se dispone para ser conectado al borde de salida 20 de una pala de aerogenerador 10, como parte de una operación inicial de ensamblaje o como instalación posterior en una pala existente. El panel 70 puede ser conectado usando cualquier mecanismo adecuado, p. ej. cohesión con adhesivo, empernado, remachado, soldadura, sobrelaminación, etc. Se entenderá que el panel de borde de salida 70 se conecta a la pala de tal manera que no impida la curvatura de los bordes serrados y/o los elementos salientes. Como alternativa, los bordes serrados y/o los elementos salientes pueden ser incorporados en la estructura de pala durante la fabricación de las carcasas de pala, para permitir generadores de vórtice que son desplegables desde una superficie de la pala, basados en una desviación de un saliente de borde de salida tales como bordes serrados.

Si bien los elementos o recortes parciales 76 de las figuras 5-7 son en forma de punta de flecha o saliente en forma de V, se entenderá que se puede usar cualquier forma adecuada de recorte. Por ejemplo, se pueden usar elementos almenados o cuadrados.

Con referencia a la figura 8, se muestra una realización de la invención, en donde los elementos se proporcionan en forma de parejas de paletas de generador de vórtice 80 definidas en el cuerpo de la zona de base 72 de un panel de borde de salida 71. Las paletas de generador de vórtice 80 comprenden un cuerpo plano conectado o integral con la zona de base 72 del panel 70 a lo largo de un extremo de base 78a, con un extremo de punta 78b de las paletas 80 dispuesto hacia el lado de borde de ataque 70a del panel 70. Las paletas 80 se disponen teniendo un primer lado 82a sustancialmente en línea con una dirección de flujo sobre dicha pala de aerogenerador y un segundo lado 82b dispuesto en un ángulo agudo a la dirección de flujo.



5 Con referencia a la figura 9, en 73 y 75 se muestran dos ejemplos de un panel de borde de salida según realizaciones de la invención. En estas realizaciones, un miembro estructural de refuerzo 84 se extiende entre los elementos 76 y los bordes serrados adyacentes 74, facilitando de ese modo el movimiento enlazado entre los elementos 76 y los bordes serrados asociados 74. El miembro estructural de refuerzo 84 puede comprender cualquier miembro de conexión adecuado, p. ej. un alambre, férula, varilla, etc. que se puede disponer para extenderse entre los elementos 76 y los bordes serrados 74. Preferiblemente, el miembro 84 es relativamente flexible y/o se incorpora en la estructura del panel de borde de salida 70.

10 En la figura 9(a), se configura el panel 73 en donde los miembros 84 se extienden desde puntos de conexión adyacentes a los extremos de punta 76b de los elementos 76 en una dirección en línea con la dirección de flujo sobre la pala de aerogenerador 10, para separar puntos de conexión sobre el cuerpo de los bordes serrados 74. Como se puede ver en la figura 9(a), tales puntos de conexión pueden ser distribuidos en el cuerpo de los bordes serrados 74 a diferentes longitudes a lo largo de los bordes serrados en la dirección del lado de borde de salida 70b. En la figura 9(b), se configura el panel 75 en donde los miembros 84 se extienden desde puntos de conexión adyacentes a los extremos de punta 76b de los elementos 76 a un punto de conexión común del borde serrado adyacente 74, ubicado hacia el extremo de punta 74b de los bordes serrados 74.

15 Por consiguiente, una flexión de los bordes serrados 74 da como resultado una subida correspondiente de los elementos 76, para actuar como generadores de vórtice desplegados desde el panel de borde de salida 70.

20 Si bien las realizaciones anteriores describen sistemas que proporcionan un accionamiento y despliegue pasivos de los elementos 76 como generadores de vórtice, basados en la curvatura de los bordes serrados de borde de salida 74, se entenderá que la invención puede además extenderse al uso de accionadores o materiales piezoeléctricos, que pueden funcionar para desplegar generadores de vórtice en el borde de salida de una pala de aerogenerador basándose en una desviación detectada de los bordes serrados de borde de salida.

25 Si bien en las realizaciones descritas anteriormente, el panel de borde de salida 70 comprende bordes serrados 74, se entenderá que se puede usar cualquier otro dispositivo de borde de salida sin salirse de la invención. Por ejemplo, el panel de borde de salida 70 puede comprender adicionalmente o como alternativa una aleta acústica y/o cerdas. Tales dispositivos de borde de salida se pueden acoplar entonces al elemento o elementos 76 del panel usando cualquiera de los enlaces descritos anteriormente. Es más, si bien las realizaciones preferidas describen el uso de generadores de vórtice desplegados en el borde de salida de una pala de aerogenerador, la invención también puede estar relacionada con el uso de otros dispositivos aerodinámicos, tales como micropestañas, microaletas, etc., que pueden ser desplegados en el borde de salida de una pala de aerogenerador.

30 El uso de tales generadores de vórtice desplegados en el borde de salida de pala da como resultado un mecanismo relativamente simple para impedir la separación de flujo sobre dispositivos de borde de salida tales como bordes serrados, que permite facilidad de factibilidad de fabricación e instalación, y que permite un ajuste dinámico de aerodinámica de pala basado en condiciones de funcionamiento de aerogenerador.

35 La invención no se limita a las realizaciones descritas en esta memoria, y puede ser modificada o adaptada sin salir del alcance de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Una pala de aerogenerador que tiene un perfil aerodinámico con un borde de ataque y un borde de salida y una cuerda que se extiende entre los mismos, la pala caracterizada por:
  - 5 al menos un miembro flexible (74) que sobresale aguas abajo desde el borde de salida de la pala, en donde dicho al menos un miembro flexible se dispone para flexionar bajo acción de flujo de aire sobre el miembro flexible (74), y
    - en donde la flexión de dicho al menos un miembro flexible (74) actúa para desplegar al menos un dispositivo aerodinámico (76), en el borde de salida (20) de la pala de aerogenerador, para impedir la separación de flujo sobre dicho al menos un miembro flexible (74).
  2. La pala de aerogenerador de la reivindicación 1, en donde:
    - 10 el miembro flexible (74) comprende una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo que sobresalen desde el borde de salida de la pala,
      - en donde dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo se disponen para flexionar bajo la acción de flujo de aire sobre la pala de aerogenerador, y
      - 15 en donde la flexión de dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo actúa para desplegar generadores de vórtice (76) en el borde de salida de la pala de aerogenerador, para impedir la separación de flujo sobre dichos dispositivos de modulación de flujo.
    3. La pala de aerogenerador de la reivindicación 2, en donde dichos generadores de vórtice se ubican adyacentes al borde de salida, dentro del 5% de la longitud de cuerda desde el borde de salida.
    4. La pala de aerogenerador de la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en donde al menos una zona de dichos generadores de vórtice se forma integralmente con al menos una zona de la dichos dispositivos de modulación de flujo, en donde el movimiento de dichos dispositivos de modulación de flujo produce movimiento correspondiente de dichos generadores de vórtice.
    5. La pala de aerogenerador de cualquier reivindicación anterior, en donde la pala de aerogenerador comprende un panel de borde de salida para la conexión al borde de salida de la pala de aerogenerador, el panel comprende:
      - 25 una zona de base para la conexión a una superficie de la pala de aerogenerador; y
        - una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo que sobresalen desde un lado de dicha zona de base, dichos dispositivos de modulación de flujo dispuestos para sobresalir desde el borde de salida de la pala de aerogenerador,
        - en donde el panel de borde de salida se forma sustancialmente de un material flexible, y
        - 30 en donde la flexión de dicho panel de borde de salida actúa para desplegar generadores de vórtice sobre dicha zona de base de dicha placa.
      6. La pala de aerogenerador de la reivindicación 5, en donde dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo se integran al menos parcialmente con dicha zona de base.
      7. La pala de aerogenerador de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en donde el panel de borde de salida comprende una pluralidad de elementos de refuerzo que se extienden entre dichos dispositivos de modulación de flujo y dichos generadores de vórtice, dichos elementos de refuerzo pueden funcionar para traducir un movimiento de dichos dispositivos de modulación de flujo en un movimiento de dichos generadores de vórtice.
      8. La pala de aerogenerador de la reivindicación 7, en donde dichos elementos de refuerzo comprender al menos uno de los siguientes: un alambre o varilla incrustado al menos parcialmente o conectado entre un dispositivo de modulación de flujo y un generador de vórtice, y/o una nervadura estructural definida en dicha placa de borde de salida que se extiende entre un dispositivo de modulación de flujo y un generador de vórtice.
      9. La pala de aerogenerador de una cualquiera de las reivindicaciones 5-8, en donde dicha zona de base comprende un miembro sustancialmente plano que tiene una pluralidad de elementos definidos en dicho miembro plano, dicha pluralidad de elementos perfilan una pluralidad de perfiles planos de generador de vórtice, en donde dicha pluralidad de elementos se disponen para sobresalir por encima de la superficie de la pala de aerogenerador bajo la acción de la curvatura o flexión de los dispositivos de modulación de flujo de manera que dicha pluralidad de perfiles planos de generador de vórtice forma generadores de vórtice que sobresalen por encima del plano de la superficie del miembro plano, para formar vórtices de estela aguas abajo de los generadores de vórtice salientes.
      10. La pala de aerogenerador de cualquier reivindicación anterior, en donde los perfiles planos de generador de vórtice tienen un perfil en forma de V o de diente serrado.
      - 50 11. La pala de aerogenerador de cualquier reivindicación anterior, en donde dichos perfiles planos de generador

de vórtice comprenden una pareja de paletas de generador de vórtice, en donde dichas paletas de generador de vórtice comprenden un cuerpo plano, que tiene un primer lado sustancialmente en línea con una dirección de flujo sobre dicha pala de aerogenerador y un segundo lado dispuesto en un ángulo agudo con la dirección de flujo.

5 12. La pala de aerogenerador de cualquier reivindicación anterior, en donde la pala de aerogenerador comprende una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo que sobresale desde el borde de salida de la pala, en donde dicha pluralidad de dispositivos de modulación de flujo comprenden bordes serrados.

13. Un panel de borde de salida (70) para la conexión al borde de salida (20) de un perfil aerodinámico, en donde el panel comprende:

una zona de base (72) para la conexión a una superficie de un perfil aerodinámico; y

10 al menos un miembro flexible (74) que sobresale desde un lado de dicha zona de base, dicho al menos un miembro flexible para ser dispuesto en la estela del perfil aerodinámico,

en donde el panel de borde de salida se forma sustancialmente de un material flexible, y

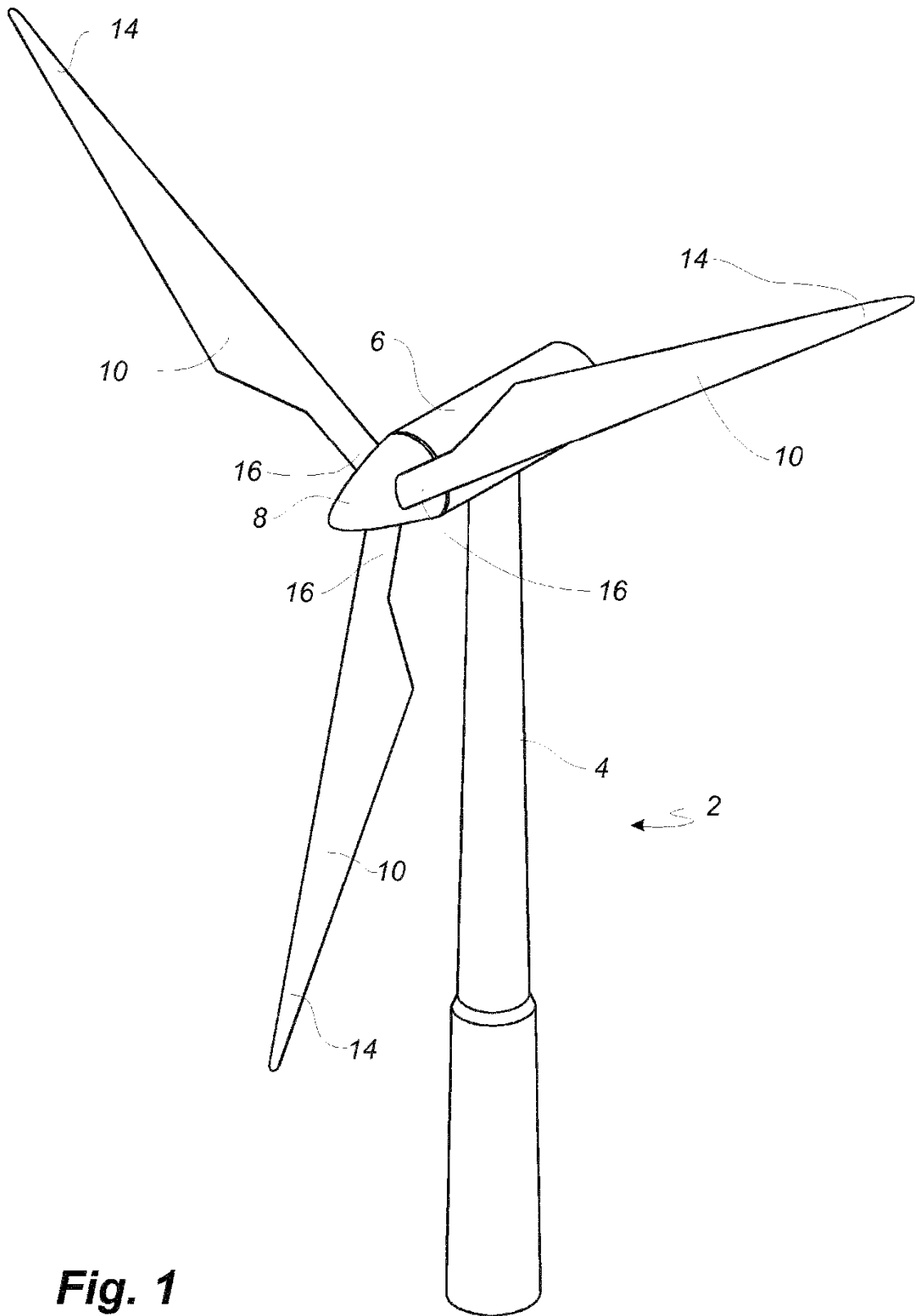
caracterizado por que

15 la flexión de dicho panel de borde de salida (70) actúa para desplegar al menos un dispositivo aerodinámico (76) en dicha zona de base de dicho panel.

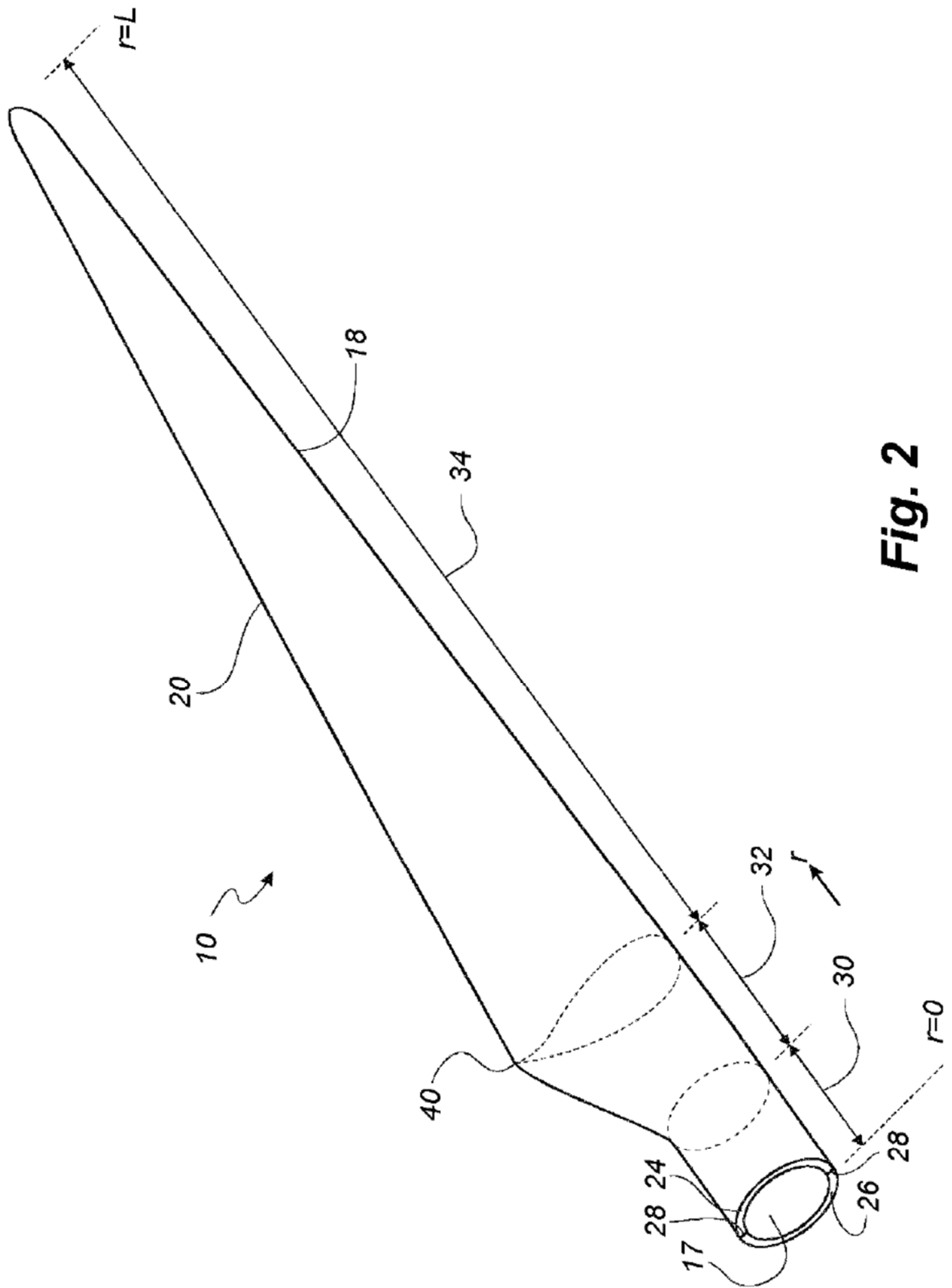
14. La placa de borde de salida de la reivindicación 13, en donde:

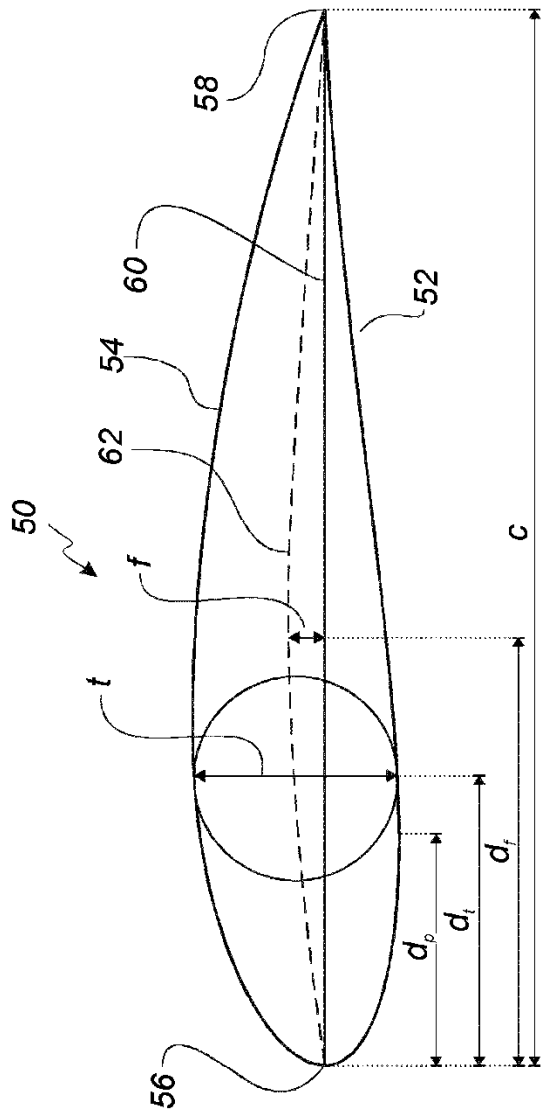
el miembro flexible comprende una pluralidad de dispositivos de modulación de flujo (74), preferiblemente bordes serrados, que sobresalen desde un lado de dicha zona de base, dichos dispositivos de modulación de flujo para ser dispuestos en la estela del perfil aerodinámico.

20 15. Un aerogenerador que comprende al menos una pala de aerogenerador según una cualquiera de las reivindicaciones 1-12.

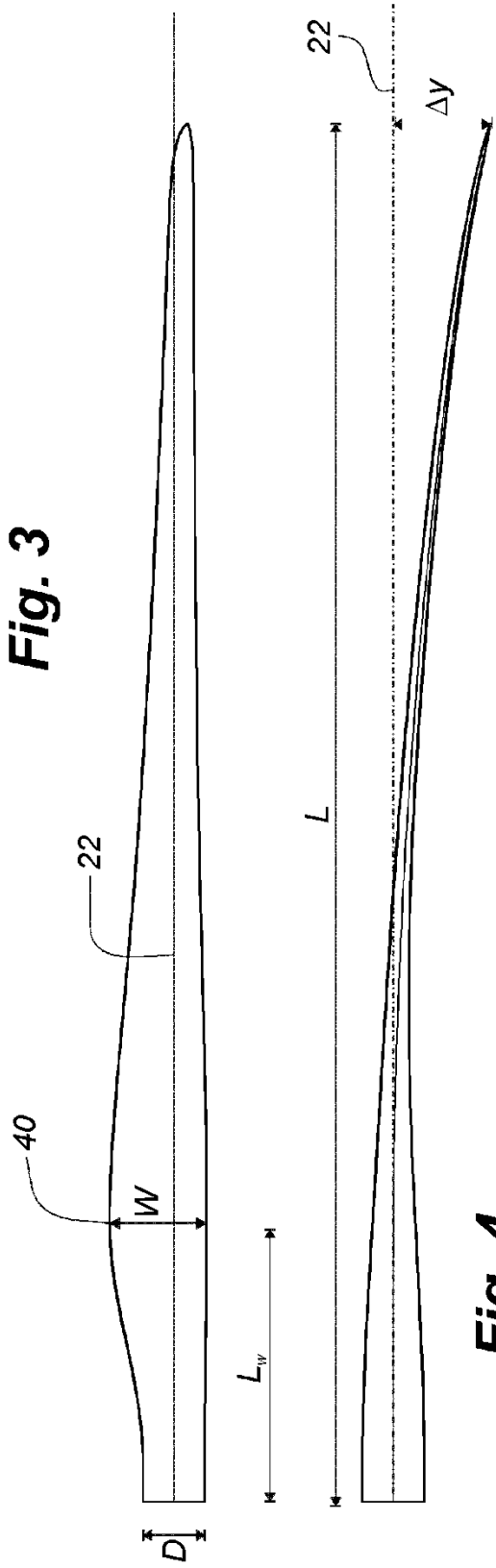


**Fig. 1**

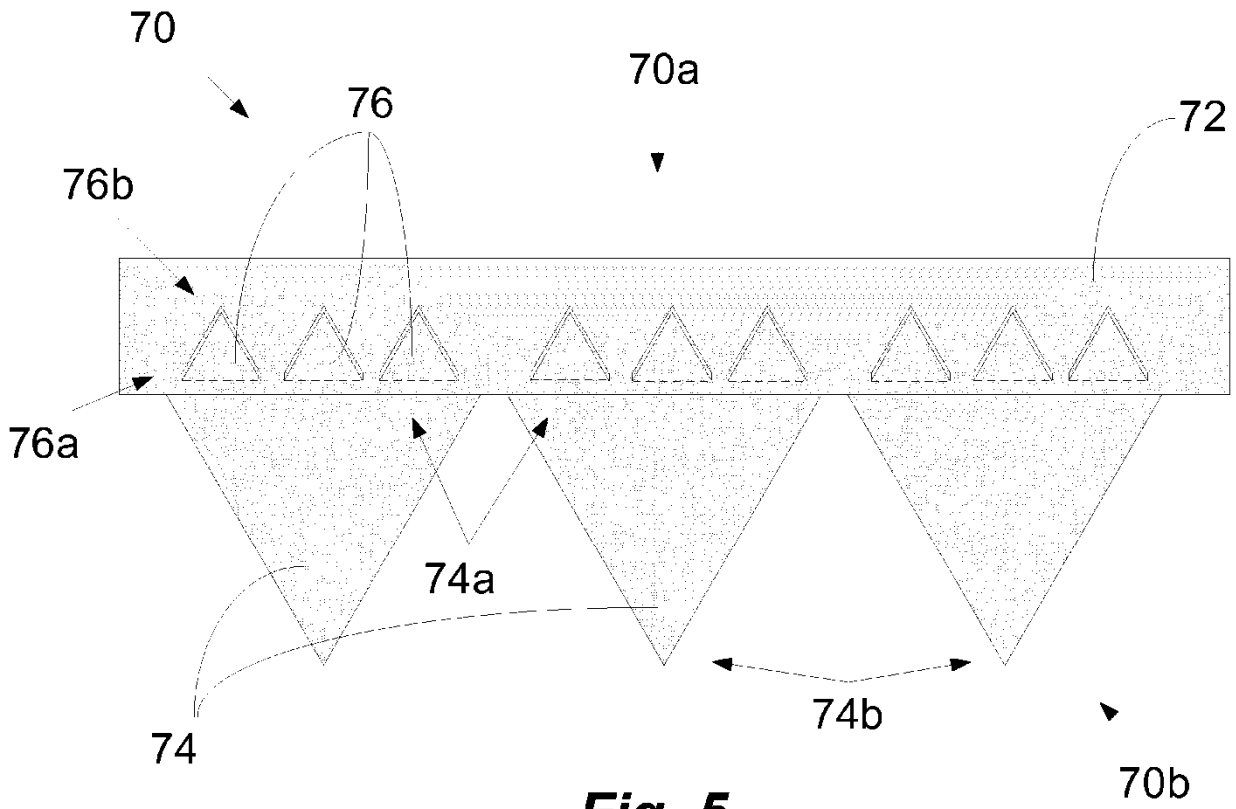




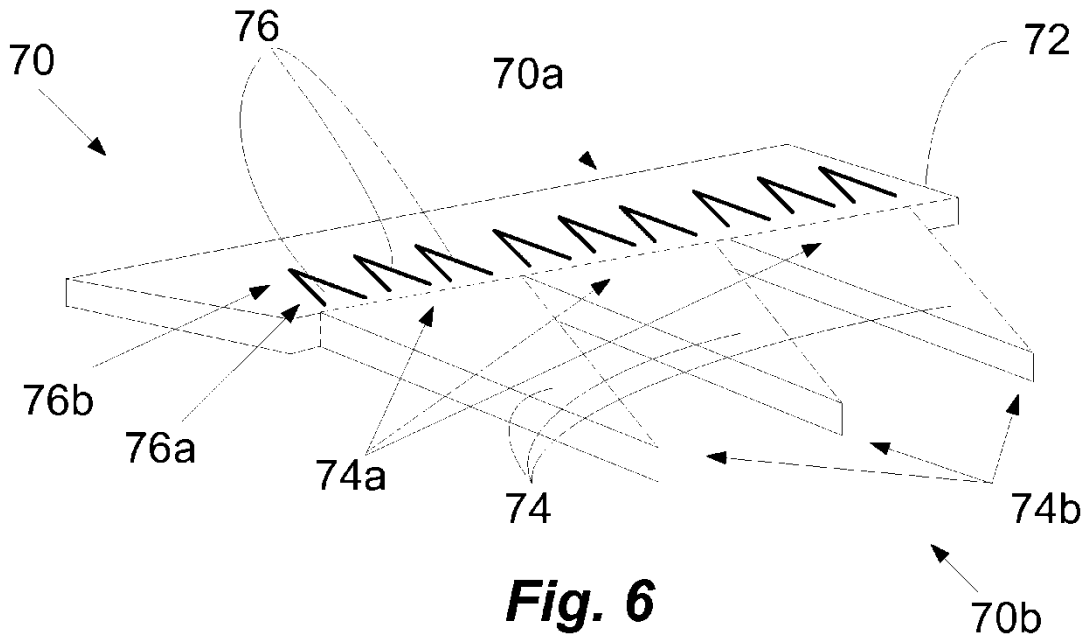
**Fig. 3**



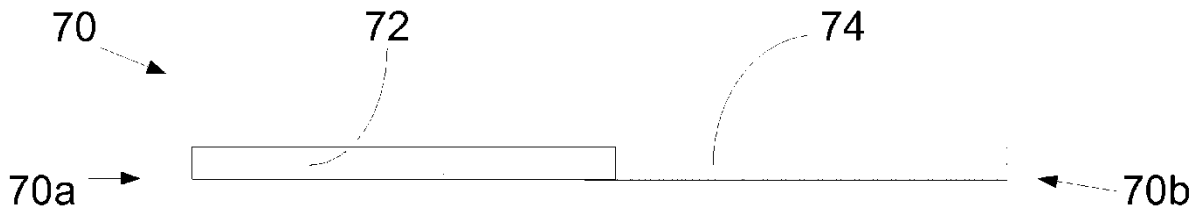
**Fig. 4**



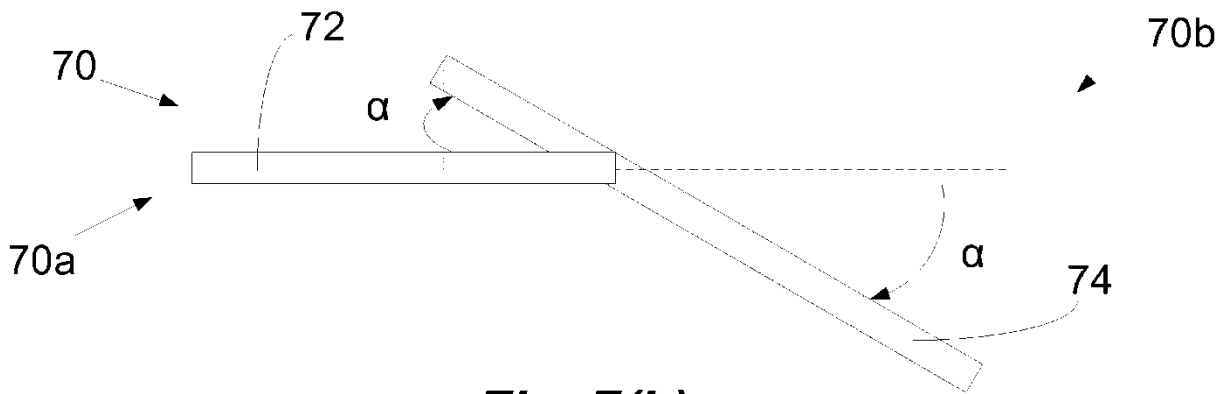
**Fig. 5**



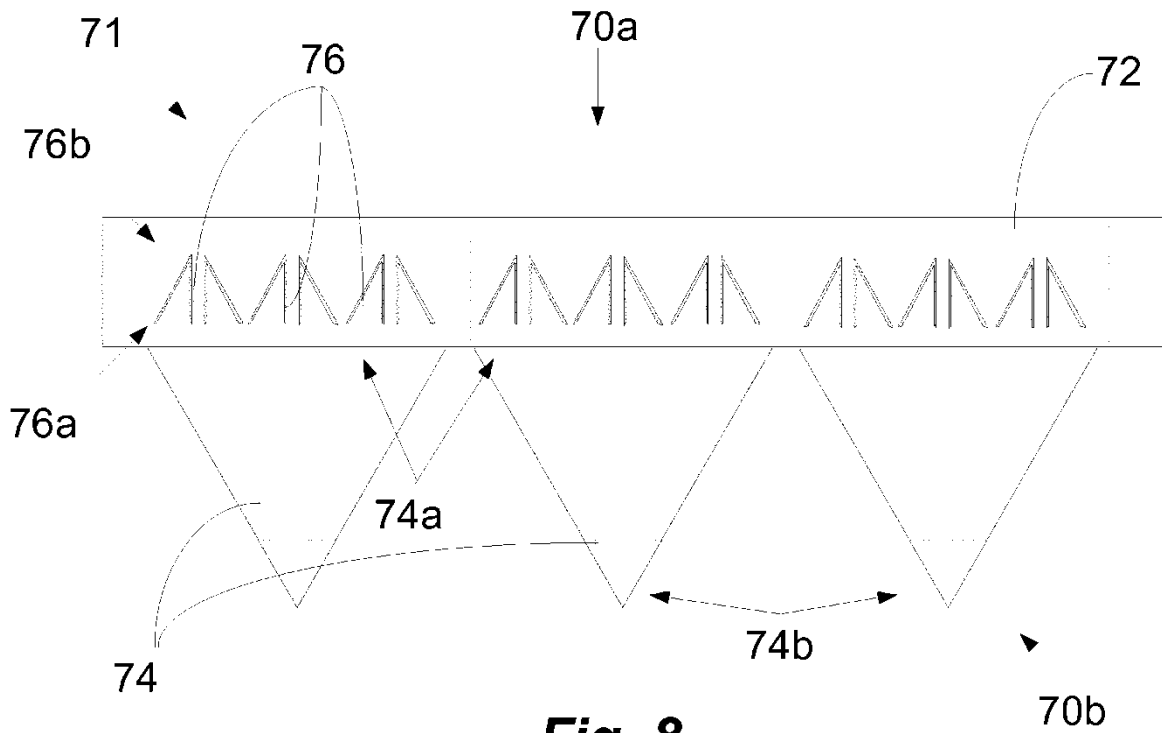
**Fig. 6**



**Fig. 7(a)**

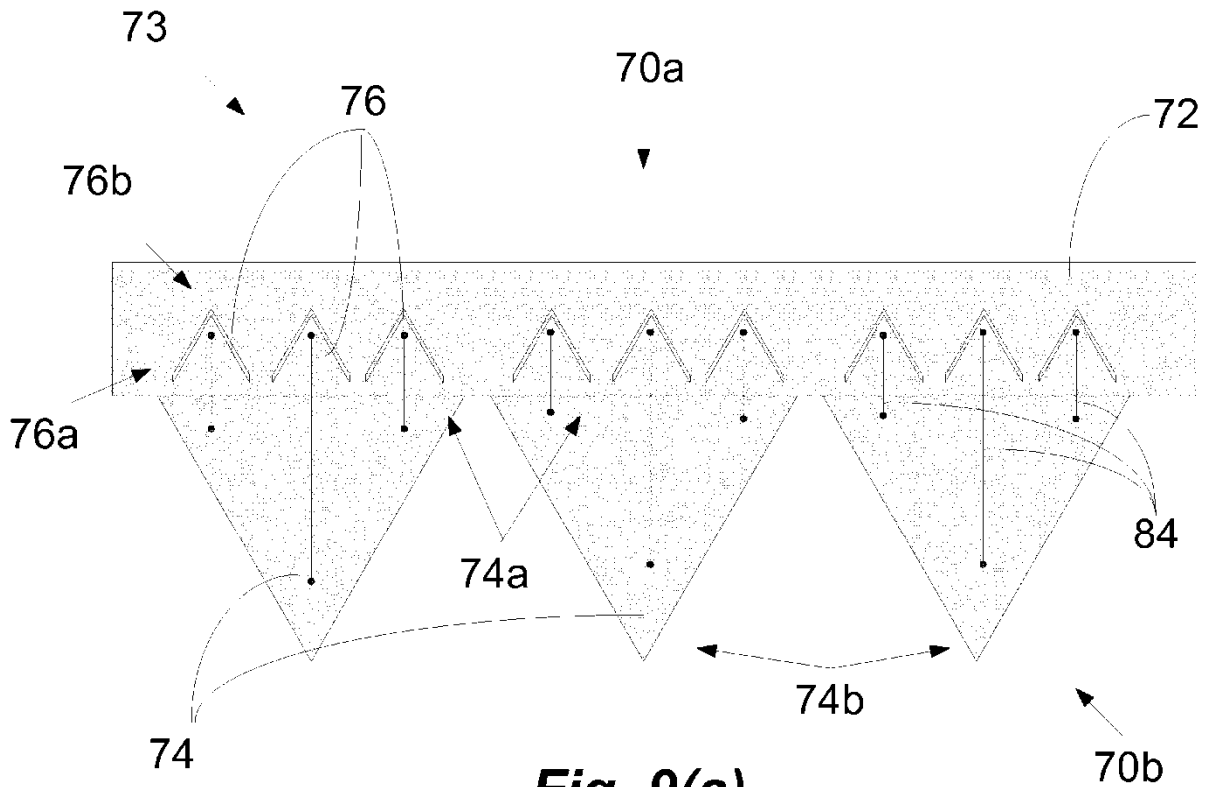


**Fig. 7(b)**

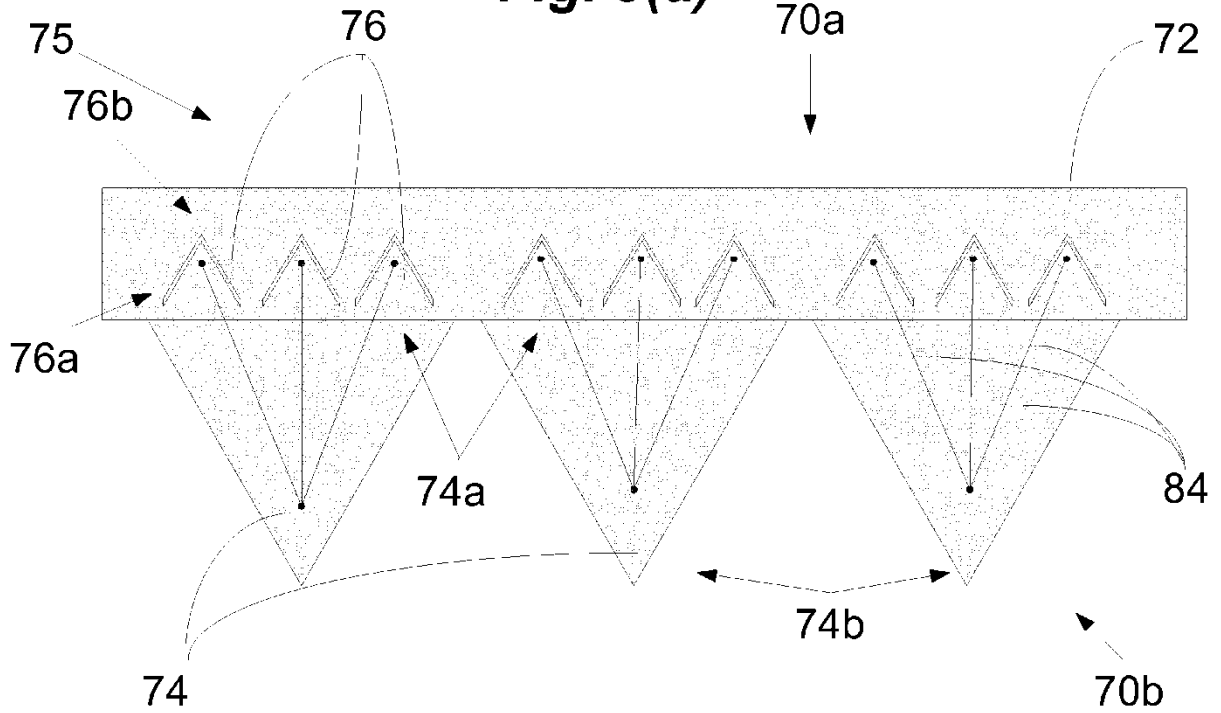


**Fig. 8**





**Fig. 9(a)**



**Fig. 9(b)**