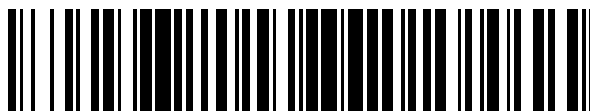


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 999**

51 Int. Cl.:

**F03D 11/00** (2006.01)  
**F03D 1/00** (2006.01)  
**F01D 5/14** (2006.01)  
**F03D 7/02** (2006.01)  
**F03D 7/04** (2006.01)  
**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2012 E 12735912 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015 EP 2739529**

54 Título: **Método para reajustar generadores de vórtice en una pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

**22.07.2011 EP 11175051**

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

**12.01.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MADSEN, JESPER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 555 999 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

Método para reajustar generadores de vórtice en una pala de turbina eólica.

La presente invención se refiere a un método para reajustar generadores de vórtice en una pala de turbina eólica.

Antecedentes de la técnica

5 KIM D H ET AL: "Predicción de cargas de palas inestables de una turbina eólica utilizando RANS y metodologías de transporte de vorticidad" de: CONFERENCIA EUROPEA DE ENERGÍA EÓLICA, 2010-04-20 – 2010-04-23, VARSOVIA, POLONIA, 20 de Abril de 2010 (2010-04-20), páginas 1-10 es visualizar la línea de separación en una pala de turbina eólica con simulaciones numéricas.

10 SAVINO ET AL: "Estudios de visualización de flujo de una turbina eólica", ACTAS: ENERGÍA EÓLICA '85, AGOSTO 27 – 30, 1985, SAN FRANCISCO, CA., 1 de Enero de 1985 (1985-01-01), páginas 559, 564, es identificar la línea de separación por patrones de humo.

15 Los fabricantes de turbinas eólicas realizan esfuerzos constantes para mejorar la eficiencia de sus turbinas eólicas con el fin de maximizar la producción de la energía anual. Además, los fabricantes de turbinas eólicas se interesan en prolongar la vida de sus modelos de turbinas eólicas, ya que lleva mucho tiempo y una gran cantidad de recursos desarrollar un nuevo modelo de turbina eólica. Una manera evidente de mejorar la eficiencia de la turbina eólica, es mejorar la eficiencia de las palas de la turbina eólica, de manera que la turbina eólica pueda generar una salida de potencia elevada a una velocidad dada del viento. Sin embargo, no se pueden reemplazar de manera arbitraria las palas de un modelo de turbina eólica con otras palas más eficientes.

De acuerdo con esto, hay una necesidad de formas para mejorar la eficiencia de las turbinas existentes.

20 Resumen

En consecuencia, es un objeto de la presente invención proporcionar una pala de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas.

25 Se proporciona un método para reajustar los generadores de vórtice en una pala de turbina eólica, la pala de la turbina eólica está montada en un eje de la turbina eólica y se extiende en una dirección longitudinal y tiene un extremo de punta y un extremo de raíz, la pala de turbina eólica comprende 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 extensión de cuerda que se extiende entre, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo incidente, generando sustentación. El método comprende las etapas de determinación de la distribución del depósito en al menos una sección del lado de succión de la pala de turbina eólica y que identifica una línea de separación con base en la distribución del depósito, y el montaje de uno o más paneles de vórtice que incluyen un panel de primer vórtice que comprende al menos un generador de vórtice en el lado de succión de la pala de turbina eólica entre la línea de separación y el borde de ataque de la pala de turbina eólica.

30 En consecuencia, se reconoce que la invención se relaciona con un método de determinación de un área de separación en el lado de succión de la pala observando la turbina eólica después de una cantidad predeterminada de tiempo y observando los depósitos en las palas. La cantidad predeterminada de tiempo puede ser por ejemplo un día. Sin embargo, puede ser también una semana, semanas, meses o incluso años. En consecuencia, se reconoce que el método puede también ser utilizado en turbinas eólicas que han estado en operación por un largo período de tiempo.

35 La línea de separación corresponde a una línea que se extiende en la dirección longitudinal, y la cual identifica la primera posición cordal, como se ve desde el borde de ataque de la pala, donde puede ocurrir la separación del flujo de aire.

40 Los depósitos pueden ser partículas de humo, suciedad, aerosoles, o similares que puedan ser identificados de manera fácil en la superficie de la pala, por ejemplo, por descoloración. También pueden ser partículas especiales que han sido sembradas en el viento contra el viento de la turbina eólica. En consecuencia, se observa que la invención proporciona un método para identificar las áreas de separación del flujo de aire identificando los depósitos de la pala. Esto es alcanzable de manera fácil, ya que los flujos turbulentos o separados son probables que depositen partículas en la superficie de la pala, mientras un flujo adyacente o laminar que se propaga de manera sustancial paralelo a la superficie de la pala, no lo hace. De acuerdo con esto, es también claro que los generadores de vórtice estén dispuestos en un área fuera, pero cerca de, el área identificada que tiene partículas depositadas.

El método de acuerdo con la presente invención permite la disposición de una pala de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas permitiendo de este modo un rendimiento de energía elevado de la turbina eólica con la respectiva pala de turbina eólica.

Breve descripción de los dibujos

- 5 Las anteriores y otras características y ventajas de la presente invención serán evidentes de manera fácil a aquellos con habilidades en la técnica por la siguiente descripción detallada de las realizaciones de ejemplo de las mismas con referencia a los dibujos adyacentes, en los cuales:

La Fig. 1 muestra una turbina eólica,

- 10 La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica reajustada con el método de acuerdo con la invención,

La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil de la superficie sustentadora,

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

La Fig. 5 ilustra una sección transversal de ejemplo de una pala de turbina eólica reajustada con el método de acuerdo con la invención.

- 15 La Fig. 6 ilustra de manera esquemática los generadores de vórtice montados en el lado de succión de una pala de turbina eólica, y

La Fig. 7 es una vista en perspectiva de una parte de un panel de vórtice.

Descripción detallada

- 20 Las figuras son esquemáticas y simplificadas para claridad, y estas muestran de manera simple los detalles los cuales son esenciales para el entendimiento de la invención, a la vez que se han dejado fuera otros detalles. En todo, los mismos numerales de referencia son utilizados para partes idénticas o correspondientes.

- El método comprende identificar una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica. La identificación de una línea de separación o uno o más puntos de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede comprender determinar al menos un parámetro indicativo de propiedades de flujo en uno o más puntos o zonas de medición. Por ejemplo, una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal pueden comprender una diversidad de puntos de medición o puntos de observación  $S_{n,k}$ , donde n es un índice que denota el número de sección transversal y k es un índice que denota el número del punto o de las zonas medidas en la sección transversal n. La identificación de una línea de separación puede estar con base en los valores de al menos un parámetro indicativo de las propiedades de flujo en uno o más puntos o zonas de medición. Los puntos de medición  $S_{n,k}$  están dispuestos a distancias  $d_{meas\_raiz,n}$  del extremo de raíz con una distancia de la cuerda  $d_{meas,n,k}$  del borde de ataque. Por ejemplo, el número n de mediciones de las secciones transversales pueden ser al menos dos, tal como al menos tres, cuatro, cinco, seis o más. Por ejemplo, el número k de los puntos de medición en una sección transversal puede ser al menos dos, tal como al menos tres, cuatro, cinco, seis o más. El número k y/o la distancia  $d_{meas\_raiz,n}$  de los puntos de medición en una sección transversal puede variar para cada sección transversal.
- 25  
30  
35

- Una línea de separación puede ser identificada utilizando un medio de identificación, por ejemplo que incluya un medio químico, por ejemplo, en la forma de pruebas químicas para medir cantidades de depósito en uno o más puntos o zonas de medición. De manera alternativa o en combinación, un medio de identificación puede comprender un medio óptico, tal como una cámara, un montaje de láser con una fuente de láser y un detector, por ejemplo, para identificar o medir las cantidades de depósito por análisis de color y/o analizando una o más propiedades de la luz emitida o reflejada de la superficie del lado de succión de la turbina eólica.
- 40

En el método, el montaje de uno o más paneles de vórtice puede comprender el montaje de uno o más paneles y/o generadores de vórtice a una distancia  $d_{sep}$  de la línea de separación.

- La distancia  $d_{sep}$  puede estar en el rango a partir de 0.1 m a 1.5 m, por ejemplo, en el rango a partir de 0.2 m a 1 m, tal como aproximadamente 0.5 m. Un panel de vórtice comprende uno o más generadores de vórtices. De manera típica, un generador de vórtice comprende uno o un par de paletas sobresalientes de la base. Una diversidad de generadores de vórtice puede tener una base común formando de este modo un panel de vórtice. La distancia  $d_{sep}$  es medida perpendicular a la dirección longitudinal a lo largo de la superficie del lado de succión de la pala de turbina eólica.
- 45

El método se relaciona de manera ventajosa a una turbina eólica dispuesta con las palas de turbina eólica que tienen una longitud de al menos 40 metros, de manera más ventajosa a las palas que tienen una longitud de al menos 50 metros.

5 En el método, el montaje de uno o más paneles de vórtice puede comprender el montaje de uno o más paneles de vórtice a una distancia  $d_{\text{panel}}$  del borde de ataque en el rango de 0.1 m a 5 m dependiendo de la posición de la línea de separación. La distancia  $d_{\text{panel}}$  puede variar en la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, por ejemplo,  $d_{\text{panel}}$  puede estar en función de la distancia desde la raíz.

10 La distancia desde la línea de separación identificada no puede ser muy pequeña, ya que la posición de la línea de separación cambia durante diferentes condiciones de operación. Por otra parte, la distancia desde la línea de separación no puede ser muy grande, ya que el efecto de los generadores de vórtice es reducido cuando aumenta la distancia. Es importante que los generadores de vórtice estén posicionados entre la línea de separación y el borde de ataque con el fin de obtener el efecto óptimo. Además, se desea disponer los generadores de vórtice tan lejos del borde de ataque o tan cerca del borde de salida como sea posible con el fin de reducir o eliminar los efectos de la resistencia.

15 La identificación de una línea de separación o uno o más puntos de separación puede comprender la determinación de la distribución del depósito en al menos una sección del lado de succión de la pala de turbina eólica y la identificación de una línea de separación o uno o más puntos de separación con base en la distribución del depósito. Por ejemplo, la línea de separación puede estar identificada como una línea a lo largo cuya cantidad de depósito sea igual a un primer valor límite. Un punto de separación de una línea de separación, puede estar identificado como un  
20 punto entre un primer punto o zona de medición y un segundo punto de medición, donde la cantidad de depósito en el primer punto de medición está por encima de un primer valor límite y donde la cantidad de depósito en el segundo punto de medición está por debajo del primer valor límite.

25 La distribución del depósito puede ser medida determinando al menos un parámetro indicativo de la cantidad de depósito y/o indicador de línea de separación en una diversidad de puntos o zonas en medición en el lado de succión de la turbina eólica.

Un primer parámetro indicativo de la cantidad de depósito puede ser el espesor del depósito en los puntos o zonas de medición. Un segundo parámetro indicativo de la cantidad de depósito puede ser el color y/o la concentración del color de los puntos o zonas de medición. Otros parámetros pueden incluir el peso, la intensidad de la luz emitida o reflejada desde el punto de medición, etc.

30 La identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede ser realizada cuando la turbina eólica ha sido operada por un período de tiempo, por ejemplo, al menos un día, o hasta que la turbina eólica haya sido operada bajo una diversidad de condiciones de operación. De este modo, la posición de los generadores de vórtice en las palas de turbina eólica se adapta a condiciones de viento específicas en el lugar de la turbina eólica, aumentando de este modo el desempeño de la turbina eólica.

35 El método puede comprender aplicar un indicador de línea de separación al lado de succión de la turbina eólica y operar la turbina eólica por un período de tiempo. De manera subsecuente después de operar la turbina eólica por el período de tiempo, la identificación de la línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede basarse en el indicador de la línea de separación o las propiedades del mismo.

40 El indicador de la línea de separación puede ser un revestimiento, pintura o similares que faciliten el depósito del material en la pala de turbina eólica, la distribución del depósito es indicativa de la línea de separación.

El indicador de la línea de separación puede ser un revestimiento, pintura o similares que faciliten la eliminación del indicador de la línea de separación en la pala de turbina eólica durante la operación, la distribución del indicador de la línea de separación es indicativa de la línea de separación. El indicador de la línea de separación puede facilitar ambos, el depósito de material y la eliminación del indicador de la línea de separación durante la operación.

45 El indicador de la línea de separación puede comprender polvo, tal como polvo de grafito. El polvo puede estar suspendido en un líquido tal como un solvente orgánico o mezclas del mismo.

50 La identificación de una línea de separación puede comprender la determinación de la dirección del flujo de viento en una diversidad de puntos o zonas de medición en el lado de succión de la turbina eólica durante la operación y la identificación de una línea de separación con base en las direcciones del flujo de viento. Para este propósito, el indicador de la línea de separación puede comprender uno o más penachos distribuidos a lo largo de la superficie del lado de succión.

- 5 La identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede comprender identificar una línea de separación en una región de transición o al menos una parte de la misma de la pala de turbina eólica. Además, o como una alternativa, la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede comprender identificar una línea de separación en una región de raíz o al menos una parte de la misma de la pala de turbina eólica.
- 10 La identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede comprender la identificación de una línea de separación a una distancia del extremo de la raíz, por ejemplo, en el rango a partir de 3 m a alrededor de 18 m. Una línea de separación puede estar identificada a una distancia desde la raíz en el rango a partir de 0.1 L a 0.4 L, donde L es la longitud de la pala de turbina eólica.
- 15 El método puede comprender sembrar el flujo del lado de succión con partículas, por ejemplo, partículas de colores (rojo, azul, negro, verde, gris u otros colores), para el depósito de las partículas en la superficie del lado de succión. La identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica puede estar con base en la distribución del depósito de partículas en el lado de succión de la pala de turbina eólica.
- La Fig. 1 ilustra una turbina eólica contra el viento moderna convencional de acuerdo con el llamado "concepto Danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje del rotor horizontal de manera sustancial. El rotor incluye un eje 8 y tres palas 10 que se extienden de manera radial desde el eje 8, cada una tiene una raíz 16 de pala cercana al eje y una punta 14 de la pala más lejana del eje 8. El rotor tiene un radio denotado como R.
- 20 La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala 10 de turbina eólica después de ser reajustada de acuerdo con el método. La pala 10 de turbina eólica tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región 30 de raíz cercana al eje, una región 34 perfilada o de superficie sustentadora lejana del eje y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 de superficie sustentadora. La pala 10 comprende un borde 18 de ataque enfrentado a la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el eje, y un borde 20 de salida enfrentado a la dirección opuesta del borde 18 de ataque.
- 25 La región 34 de la superficie sustentadora (también llamada región perfilada) tiene una forma de la pala ideal o casi ideal con respecto a la sustentación generada, a la vez que la región 30 de raíz debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal circular o elíptica de manera sustancial, la cual por ejemplo hace más fácil y seguro el montaje de la pala 10 en el eje. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz puede ser constante a lo largo de toda el área 30 de raíz. La región 32 de transición tiene un perfil transicional que cambia de manera gradual de la forma circular o elíptica de la región 30 de raíz al perfil de la superficie sustentadora de la región 34 de la superficie sustentadora. La longitud de la cuerda de la región 32 de transición aumenta de manera típica con el aumento de la distancia desde la raíz. La región 34 de la superficie sustentadora tiene un perfil de superficie sustentadora 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 la distancia que aumenta desde el eje.
- 30 Un hombro 39 de la pala 10 está definido como la posición, donde la pala 10 tiene su longitud de cuerda más grande. El hombro 39 está dispuesto de manera típica en el límite entre la región 32 de transición y la región 34 de la superficie sustentadora.
- 35 Se debería notar que las cuerdas de las diferentes secciones de la pala normalmente no yacen en un plano común, ya que la pala puede estar girada y/o curvada (por ejemplo, pre-doblada) proporcionando así el plano de cuerda con un curso girado y/o curvado de manera correspondiente, siendo este el caso más frecuente con el fin de compensar para la velocidad local de la pala que está dependiente del radio del eje.
- 40 Uno o más paneles 36 de vórtice comprenden cada uno, uno o más generadores de vórtice que están montados o reajustados en el lado de succión de la pala 10 de turbina eólica entre la línea 38 de separación identificada y el borde 18 de ataque de la pala de turbina eólica. La línea 38 de separación puede estar identificada determinando la distribución de un depósito 37 en al menos una sección del lado de succión de la pala de turbina eólica. Las partículas, tales como partículas de humo, suciedad, aerosoles o similares, se depositarán en la pala a través del tiempo debido al flujo turbulento o separado, haciendo así un área de separación detectable en la pala, por ejemplo, por descoloración de la superficie de la pala.
- 45 Las Figs. 3 y 4 representan parámetros, los cuales son usados para explicar la geometría de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención.
- 50 La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 de la superficie sustentadora de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros, los cuales son usados de manera típica para definir la forma geométrica de una superficie sustentadora. El perfil 50 de la superficie sustentadora tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión, los cuales durante el uso, por ejemplo, durante la rotación del rotor, normalmente

se enfrentan hacia el lado del barlovento (o contra el viento) y el lado del sotavento (o a favor del viento), de manera respectiva. La superficie 50 sustentadora 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. La superficie 50 sustentadora tiene un espesor  $t$ , el cual está definido como la distancia entre el lado 52 de presión y el lado 54 de succión.

5 El espesor  $t$  de la superficie sustentadora varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico está dada por una línea 62 de curvatura, la cual es una línea media a través del perfil 50 de la superficie sustentadora. La línea media puede ser encontrada dibujando círculos inscritos desde el borde 56 de ataque al borde 58 de salida. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o la distancia de la cuerda 60 es llamada la curvatura  $f$ .

10 La asimetría puede también estar definida por el uso de parámetros llamados la curvatura superior (o curvatura del lado de succión) y la curvatura inferior (o curvatura del lado de presión), las cuales están definidas como las distancias desde la cuerda 60 y el lado 54 de succión y el lado 52 de presión, de manera respectiva.

Los perfiles de la superficie sustentadora están caracterizados a menudo por los siguientes parámetros: la longitud de la cuerda  $c$ , la curvatura máxima  $f$ , la posición  $d_f$  de la curvatura  $f$  máxima, el máximo espesor  $t$  de la superficie sustentadora, el cual es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de curvatura media, la posición  $d_t$  del máximo espesor  $t$ , y un radio de punta (no mostrado). Estos parámetros están definidos de manera típica como proporciones a la longitud  $c$  de cuerda. En consecuencia, un espesor  $t/c$  con respecto local de pala está dado como la proporción entre el espesor  $t$  máximo local y la longitud  $c$  de cuerda local. Además, la posición  $d_p$  de la curvatura máxima del lado de presión puede ser utilizada como un parámetro de diseño, y por supuesto también la posición de la curvatura máxima del lado de succión.

La Fig. 4 muestra otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud  $L$  total de la pala. Como se muestra en la Fig. 3, el extremo de la raíz está ubicado en la posición  $r = 0$ , y el extremo de la punta está ubicado en  $r = L$ . El hombro 39 de la pala está ubicado en la posición  $r = L_w$ , y tiene una anchura  $W$  del hombro, la cual iguala la longitud de cuerda en el hombro 39. El diámetro de la raíz está definido como  $D$ . La curvatura del borde de salida de la pala en la región de transición puede estar definida por dos parámetros, que son un radio  $r_o$  de curvatura exterior mínimo y un radio  $r_i$  de curvatura interna mínimo, los cuales están definidos como el radio de curvatura mínimo del borde de salida, visto desde afuera (o detrás del borde de salida), y un radio de curvatura mínimo, visto desde adentro (o al frente del borde de salida), de manera respectiva. Además, la pala está dispuesta con una prebenda, la cual está definida como  $\Delta y$ , la cual corresponde al cabo del plano de deflexión de un eje 22 de cabeceo paralelo a la dirección longitudinal de la pala.

La Fig. 5 muestra una sección transversal de ejemplo de una pala de turbina eólica perpendicular a la dirección longitudinal después de reajustar un panel 36 de vórtice en el lado 54 de succión de la pala de turbina eólica. El panel 36 de vórtice se ha montado entre la línea 38 de separación identificada y el borde 56 de ataque de la pala de turbina eólica a una distancia  $d_{sep}$  de aproximadamente 0.5 m perpendicular a la dirección longitudinal a lo largo de la superficie del lado de succión. La línea de separación o punto de posición para la sección transversal ilustrada ha sido identificada midiendo un parámetro indicativo de las propiedades del flujo, por ejemplo, la cantidad de depósito, en los puntos de medición  $S_{1,1}$  y  $S_{1,2}$ . La distancia  $d_{panel}$  entre el borde 18 de ataque y el panel 36 de vórtice es de aproximadamente 1 m. En general, la distancia  $d_{panel}$  aumenta de manera típica hacia el extremo de la punta. Por ejemplo,  $d_{panel,1}$  para un primer generador de vórtice posicionado a una primera distancia  $d_1$  desde el extremo de raíz puede ser menor que  $d_{panel,2}$  para un segundo generador de vórtice posicionado a una segunda distancia  $d_2$  desde el extremo de la raíz, donde  $d_2 > d_1$ .

La Fig. 6 muestra un primer y un segundo generador de vórtice de ejemplo 40', 40" montado en la superficie del lado de succión de una pala de turbina eólica. Los valores de parámetro de los generadores de vórtices de ejemplo VG1, VG2 y VG3 y su configuración en el lado de succión de la pala de turbina eólica se muestran en la Tabla 1.

45 Tabla 1, Parámetros de generador de vórtice

Parámetro	Ref	Unidad	VG1	VG2	VG3
Altura	h	[mm]	10 (5-15)	20 (15-25)	30 (25-35)
Longitud (anchura)	l	[mm]	20 (10-30)	40 (30-50)	60 (50-70)
Longitud (paleta superior)	b	[mm]	2.4 (1-4)	4.8 (3-6)	7.5 (6-9)

Parámetro	Ref	Unidad	VG1	VG2	VG3
Espaciamiento	s	[mm]	30 (20-40)	60 (40-80)	90 (70-110)
	z	[mm]	50 (30-70)	100 (75-125)	150 (100-200)
Ángulo	a	[grad]	6 (3-9)		
	$\beta$	[grad]	18 (10-25)		
	a	[grad]	0.9 (0.5-1.5)		

- En la Tabla 1, los valores z de parámetro de espaciamiento están indicados para los generadores de vórtice cercanos del mismo tipo (VG1, VG2, VG3). Cuando se cambia de VG1 a VG2 en un panel o entre los generadores de vórtice cercanos, la distancia z entre VG1 y VG2 puede estar en el rango a partir de 50 mm a 100 mm, por ejemplo, 75 mm. Cuando se cambia de VG2 a VG3 en un panel o entre los generadores de vórtice cercanos, la distancia z entre VG2 y VG3 puede estar en el rango a partir de 100 mm a 150 mm, por ejemplo, 125 mm. Los generadores de vórtice cercanos pueden estar rotados en relación el uno con el otro con el fin de facilitar un flujo de viento óptimo a través del generador de vórtice. La base 42 puede ser plana, con una sola curva o con doble curva con el fin de facilitar el montaje en el lado de succión de la pala de turbina eólica.
- 10 La Fig. 7 es una vista en perspectiva de una parte de un panel de vórtice que comprende una diversidad de generadores de vórtice 40', 40", 4''' con paletas 44, 44' montadas en una base 42. Un ángulo de compensación puede estar añadido o sustraído del ángulo  $\beta$  de las diferentes paletas en la Tabla 1 con el fin de adaptar el panel de vórtice para la instalación a diferentes ángulos con respecto a la dirección longitudinal.
- 15 Se debería notar que en adición a las realizaciones de ejemplo de la invención que se muestra en los dibujos acompañantes, la invención puede ser realizada en diferentes formas y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones definidas en este documento. Más bien, estas realizaciones están dispuestas de manera que esta divulgación será a fondo y completa, y transmitirá de manera completa el concepto de la invención a aquellos con habilidades en la técnica.
- Lista de referencias.
- 20 2 turbina eólica  
4 torre  
6 góndola  
8 eje  
10 pala
- 25 14 punta de la pala  
16 raíz de la pala  
18 borde de ataque  
20 borde de salida  
22 eje de cabeceo
- 30 30 región de la raíz  
32 región de transición  
34 región de la superficie sustentadora  
36 panel de vórtice  
37 área de depósitos en la superficie de la pala
- 35 38 línea de separación

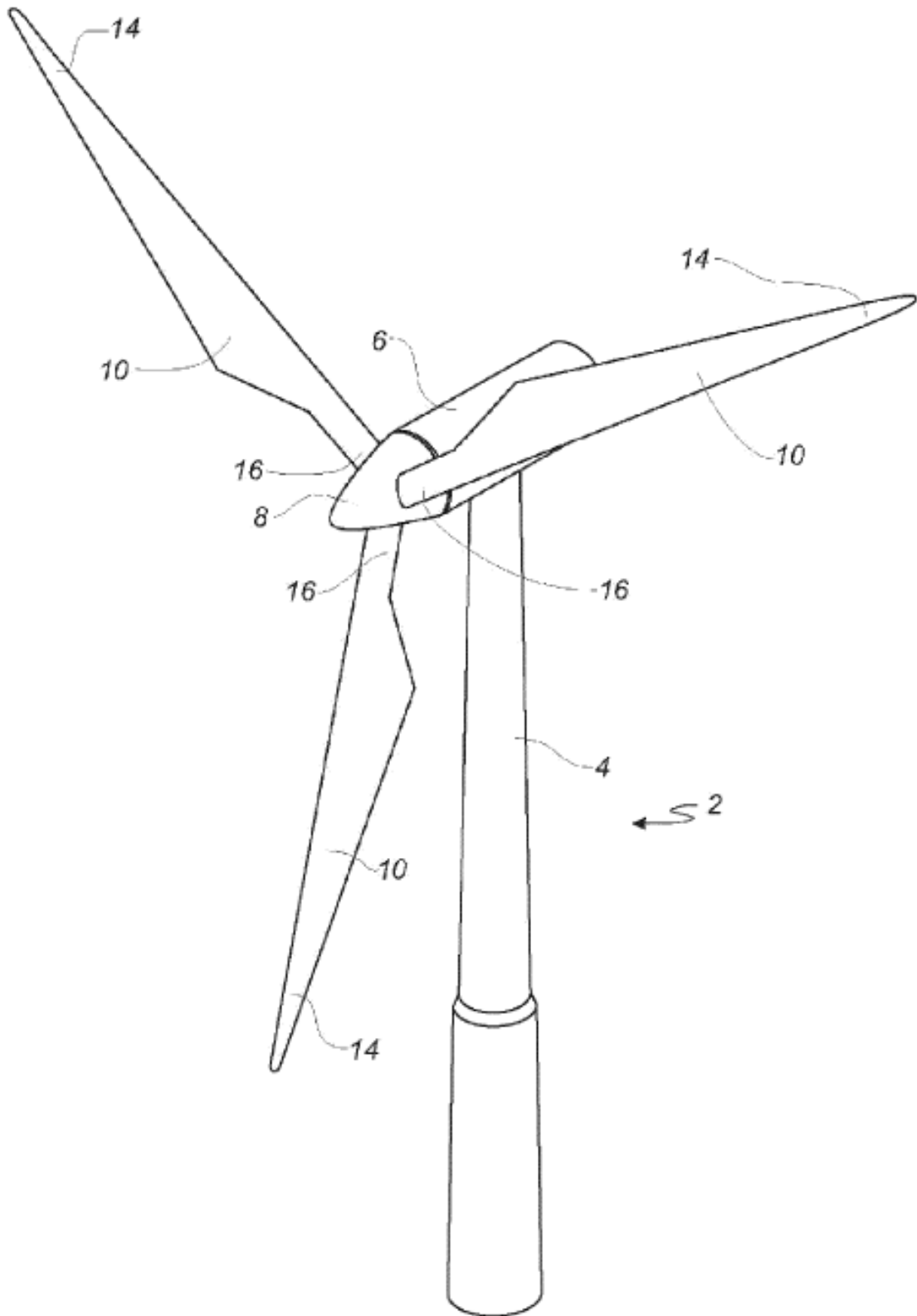
- 39 hombro
- 40 generador de vórtices
- 40' primer generador de vórtices
- 40" segundo generador de vórtices
- 5 40''' tercer generador de vórtices
- 42 base
- 44 primera paleta
- 44' segunda paleta
- 50 perfil de la superficie sustentadora
- 10 52 lado de presión
- 54 lado de succión
- 56 borde de ataque
- 58 borde de salida
- 60 cuerda
- 15 62 línea de curvatura / línea media
- c longitud de cuerda
- $d_{sep}$  distancia del panel de vórtice a la línea de separación o punto a lo largo de la superficie de succión perpendicular a la dirección longitudinal
- 20  $d_{panel}$  distancia de la cuerda del ala del panel de vórtice al borde de ataque perpendicular a la dirección longitudinal
- $d_t$  posición del espesor máximo
- $d_f$  posición de la curvatura máxima
- $d_p$  posición de la curvatura máxima del lado de presión
- $d_s$  distancia del hombro
- 25 f curvatura
- L longitud de la pala
- P potencia de salida
- r radio local, distancia radial desde la raíz de la pala
- t espesor
- 30  $v_w$  velocidad del viento
- $\theta$  torsión, cabeceo
- $\Delta y$  preflexión



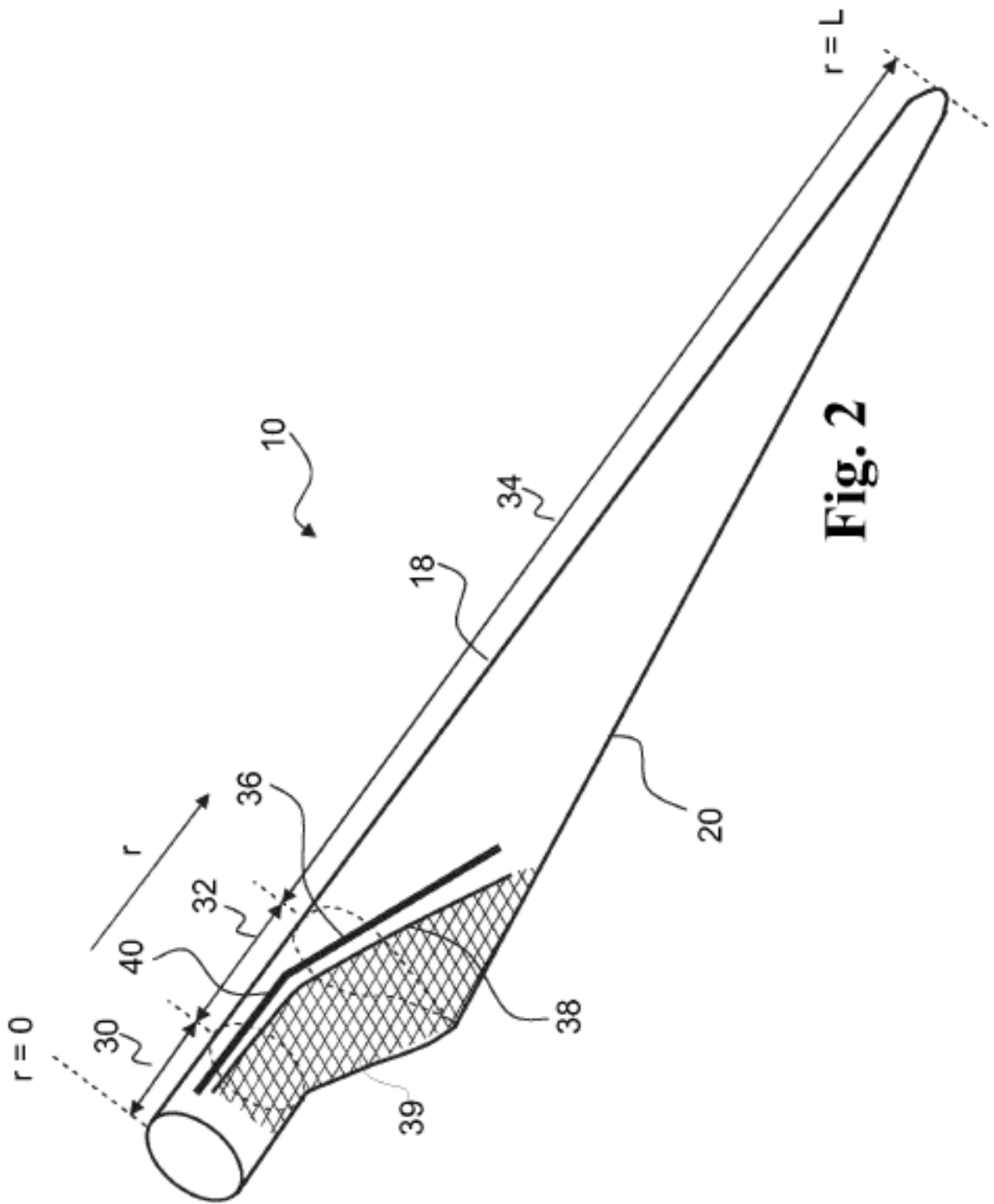
**REIVINDICACIONES**

1. Un método para reajustar generadores de vórtice adaptados en una pala de turbina eólica, estando la pala de turbina eólica montada en un eje de la turbina eólica y extendiéndose en una dirección longitudinal y teniendo un extremo de punta y un extremo de raíz, comprendiendo además la pala de turbina eólica un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre, el contorno perfilado, cuando es impactado por un flujo de aire incidente, generando sustentación, comprendiendo el método
- 5
- la determinación de la distribución del depósito en al menos una sección del lado de succión de la pala de turbina eólica y la identificación de la línea de separación con base en la distribución del depósito, y
  - el montaje de uno o más paneles de vórtice que incluye un primer panel de vórtice que comprende al menos un generador de vórtice en el lado de succión de la pala de turbina eólica entre la línea de separación y el borde de ataque de la pala de turbina eólica.
- 10
- 15
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la distribución del depósito es medida determinando al menos un parámetro indicativo de la cantidad de depósito en una diversidad de puntos o zonas de medición en el lado de succión de la turbina eólica.
- 20
3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde un primer parámetro indicativo de la cantidad de depósito es el espesor del depósito en los puntos o zonas de medición.
- 25
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-3, en donde un segundo parámetro indicativo de la cantidad de depósito es el color de los puntos o zonas de medición.
- 30
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el montaje de uno o más paneles de vórtice comprende el montaje de uno o más paneles de vórtice a una distancia desde la línea de separación en el rango a partir de 0.1 m a 1.5 m, por ejemplo, en el rango a partir de 0.2 m a 1 m, o en el rango a partir de 0.25 m a 0.75 m, tal como aproximadamente 0.5 m.
- 35
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde una longitud de la pala de turbina eólica es de al menos 40 metros, de manera ventajosa al menos 50 metros.
- 40
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica se lleva a cabo cuando la turbina eólica ha sido operada durante al menos un día.
- 45
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el método comprende
- la aplicación de un indicador de línea de separación al lado de succión de la turbina eólica,
  - la operación de la turbina eólica durante un período de tiempo, y
  - en donde la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica esté se basa en el indicador de la línea de separación durante o después de la operación de la turbina eólica.
- 50
9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde un indicador de la línea de separación es un depósito facilitador del recubrimiento de material o la eliminación del revestimiento durante la operación.
- 55
10. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en donde el indicador de la línea de separación comprende pintura sensible a la presión.
11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en donde el indicador de la línea de separación comprende polvo.
12. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en donde un indicador de la línea de separación comprende uno o más penachos.

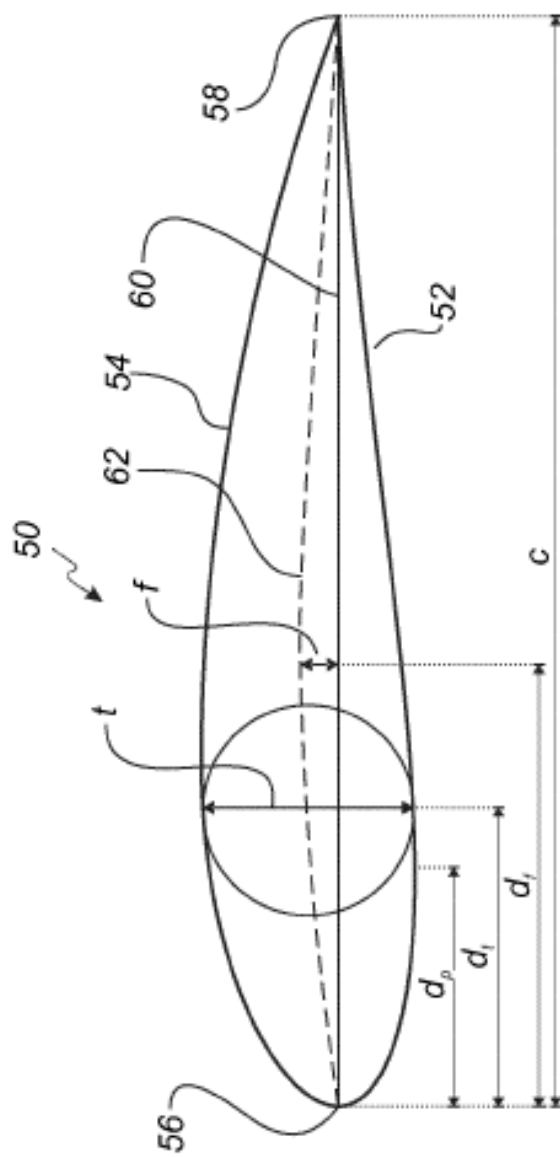
13. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica comprende la identificación de una línea de separación a una distancia desde el extremo de raíz en el rango a partir de 0.1 L a 0.4 L.
- 5 14. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la identificación de una línea de separación comprende la determinación de la dirección del flujo de viento en una diversidad de puntos o zonas de medición en el lado de succión de la turbina eólica durante la operación y la identificación de una línea de separación con base en las direcciones del flujo de viento.
- 10 15. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende la alimentación del flujo del lado de succión con partículas para el depósito de las partículas en la superficie del lado de succión y en donde la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de turbina eólica se basa en la distribución de las partículas del depósito en el lado de succión de la pala de turbina eólica.



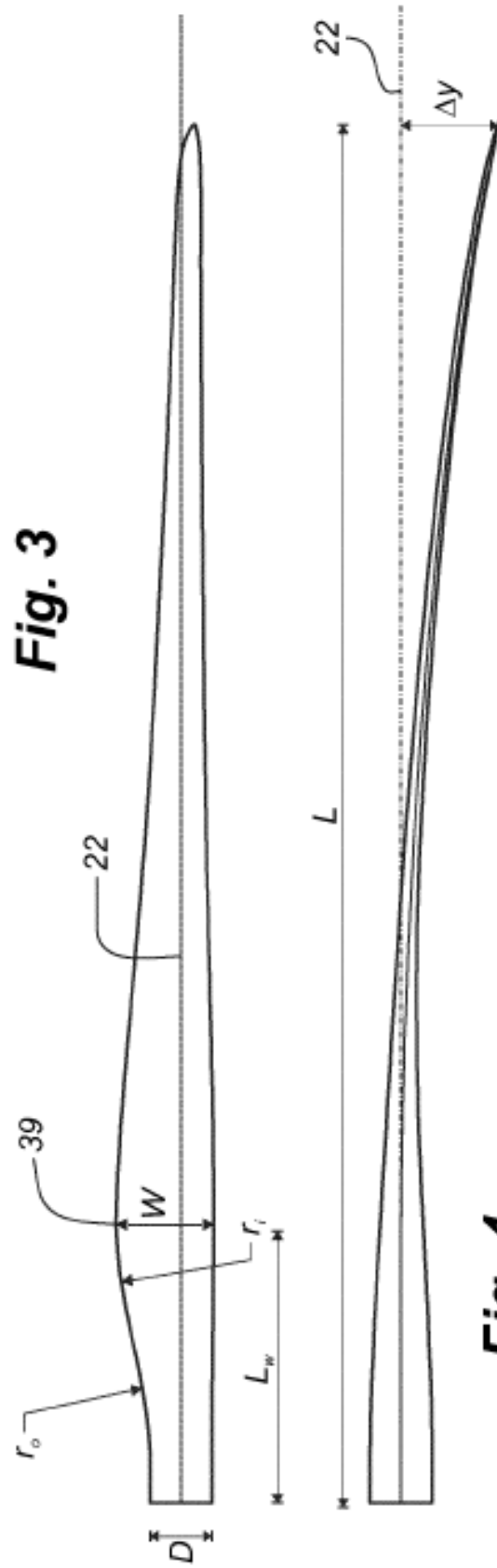
**Fig. 1**



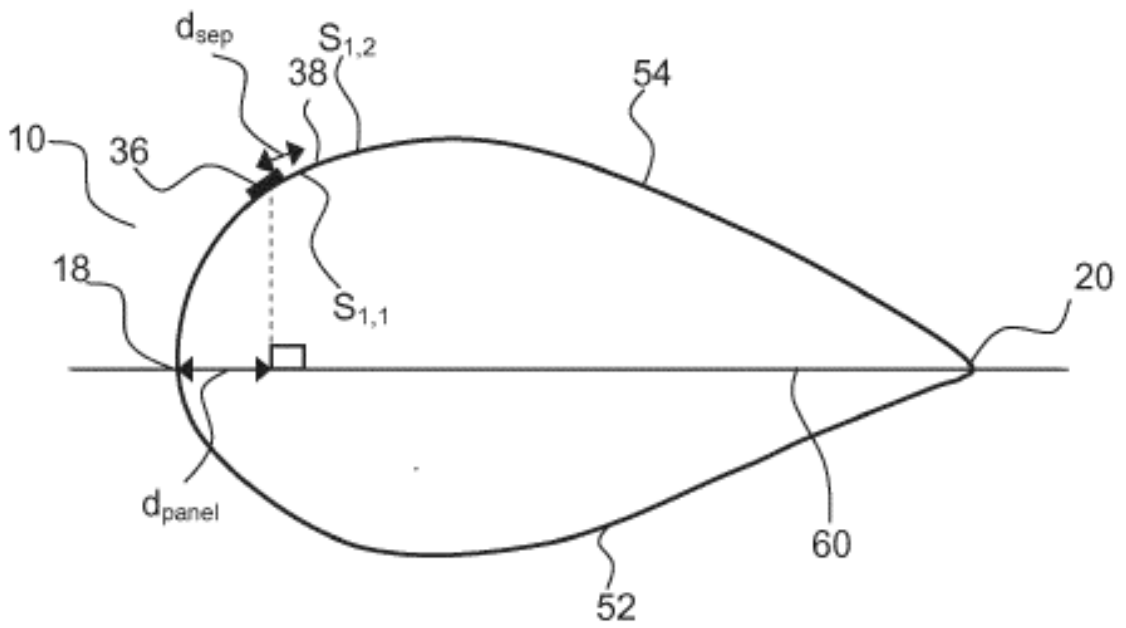
**Fig. 2**



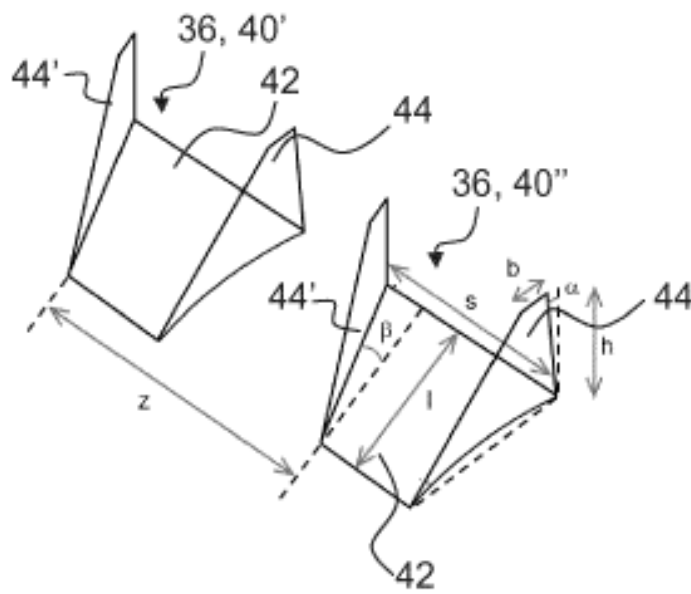
**Fig. 3**



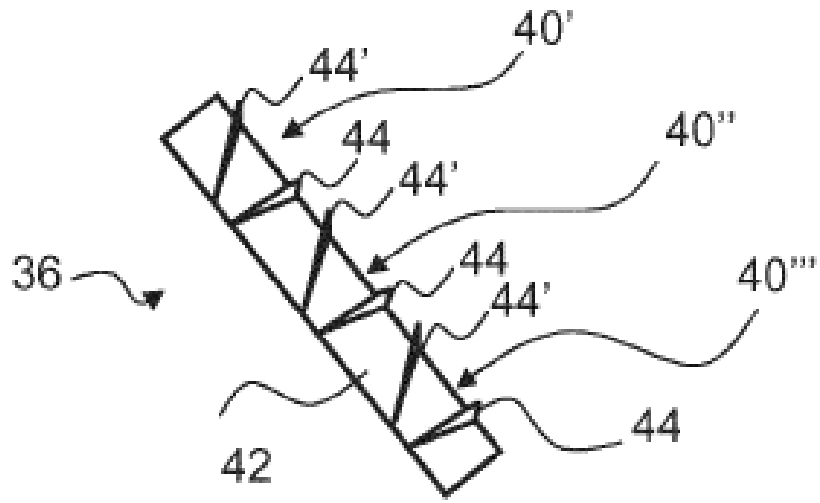
**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**