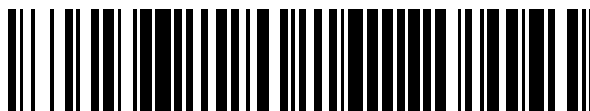


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 027**

51 Int. Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2012 PCT/EP2012/063915**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2013 WO13014015**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2012 E 12735880 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 2739528**

54 Título: **Una disposición de generador de vórtice para una superficie de sustentación**

30 Prioridad:

22.07.2011 EP 11175052
22.07.2011 EP 11175051
21.02.2012 GB 201202894

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.05.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 759 027 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 disposición de generador de vórtice para una superficie de sustentación

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona con una disposición de generadores de vórtice en una superficie de sustentación, en particular sobre una pala de turbina eólica.

Antecedentes de la invención

10 En la aerodinámica de las palas de la turbina eólica, la separación de la capa límite se produce cuando un perfil de superficie de sustentación experimenta un ángulo de ataque relativamente alto, lo que puede causar una separación del flujo de aire unido desde el lado de succión de la superficie de sustentación. Dicha separación de la capa límite da como resultado una reducción en la elevación generada por la superficie de sustentación.

Los generadores de vórtice se usan en las palas de la turbina eólica para inducir vórtices de flujo de aire turbulento a medida que el flujo de aire incidente impacta el perfil aerodinámico de la pala. La creación de estos vórtices actúa para retrasar la separación del flujo de aire adjunto del perfil aerodinámico, mejorando así el rendimiento de la pala para una amplia gama de ángulos de ataque.

15 Un documento de 2006 de Godard et al. [G. Godard y M. Stanislas; Control of a decelerating boundary layer. Part 1: Optimization of passive vortex generators; Aerospace Science and Technology 10 (2006) 181-191] presenta la disposición óptima para una serie de pares de generadores de vórtice en una superficie de sustentación, y se ha tomado como el esquema de disposición estándar definido.

20 Con referencia a la Fig. 4, Godard describe una matriz de pares de generadores de vórtices triangulares o VG 100 para usar en una superficie de sustentación, por ejemplo una pala de turbina eólica. Los pares de VG están dispuestos en el lado de succión de la superficie de sustentación, extendiéndose a lo largo de al menos una porción de la superficie de sustentación en la dirección longitudinal. Cada par de VG comprende un primer generador 102 de vórtice y un segundo generador 104 de vórtice provistos adyacentes entre sí. Los VG 102, 104 individuales tienen un primer extremo 102a, 104a dispuesto hacia un borde delantero de la superficie de sustentación y un segundo extremo 102b, 104b dispuesto hacia un borde posterior de la superficie de sustentación.

Los VGs 102,104 tienen un perfil triangular en ángulo recto, donde un primer tramo de dicho perfil triangular forma la base del VG unido a la superficie de la superficie de sustentación y un segundo tramo de dicho perfil triangular que se proyecta desde la base en dicho segundo extremo del VG. La hipotenusa de dicho perfil se extiende desde el primer extremo del VG en la base hasta el punto distal del segundo extremo del VG.

30 Los VGs 102,104 de cada par 100 están desviados desde la dirección del flujo incidente (indicado por la flecha A) en la superficie de sustentación por un ángulo β , medido desde los primeros extremos respectivos hacia los segundos extremos, de modo que los primeros extremos de los VG adyacentes forman un extremo estrecho y relativamente convergente del par de VG, y que los segundos extremos de los VG adyacentes forman un extremo más amplio y divergente del par de VG.

35 En el estudio de Godard, donde:

1 es la longitud de la base de los VG;

s es la distancia entre los respectivos segundos extremos del primer y segundo VG en un par de VG;

h es la altura del segundo extremo de los VG en un par de VG; y

z es la distancia entre las líneas centrales nominales entre el primer y segundo VG de pares de VG adyacentes,

40 Se encontró que el rendimiento óptimo para una superficie de sustentación que tiene una matriz de pares VG tiene las siguientes condiciones:

$$1/h=2$$

$$s/h = 2.5$$

$$z/h=6$$

45 $\beta = 18$ grados.

La configuración Godard de pares de VG ha sido aceptada como la disposición del estado de la técnica para pares generadores de vórtices en una superficie de sustentación.

Un ejemplo adicional de una disposición de pares de generadores de vórtices se muestra en la publicación "Three dimensional aerodynamics of a simple wing in oscillation including effects of vortex generators" (Tesis doctoral de Jolanta M. Janiszewska, publicada en 2004).

Resumen de la invención

5 Como resultado de la experimentación, sorprendentemente se ha derivado una configuración mejorada de pares de generadores de vórtice para una superficie de sustentación, en particular para una pala de turbina eólica.

Por consiguiente, se proporciona una disposición de generadores de vórtice (VG) para usar en un perfil de superficie de sustentación, preferiblemente en una pala de turbina eólica, donde dicho perfil de superficie de sustentación tiene un borde delantero y un borde posterior, dichos VG se proporcionan como una matriz de pares de VG, donde dichos VG comprenden paletas de VG sustancialmente triangulares que se proyectan desde una superficie de dicho perfil de superficie de sustentación, donde cada uno de dichos pares comprende un primer VG y un segundo VG, en el que dichos VG comprenden:

un primer extremo provisto hacia dicho borde delantero;

un segundo extremo provisto hacia dicho borde trasero;

15 una base que se extiende entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo adyacente a la superficie del perfil de la superficie de sustentación; y

una punta provista en un extremo distal de dicha paleta de VG triangular,

en la que dichos VG están desviados en relación con una dirección de flujo principal del perfil de la superficie de sustentación, y en la que

20 l es la longitud de la base de los VG;

s es la distancia entre los respectivos segundos extremos del primer y segundo VG en un par de VG;

h es la altura desde dicha superficie hasta dicha punta de un VG en un par de VG;

z es la distancia entre las líneas centrales nominales definidas entre el primer y el segundo VG de pares de VG adyacentes en la matriz; y

25 β es el ángulo de inclinación de los VG con respecto a la dirección de flujo principal del perfil de la superficie de sustentación, caracterizado porque:

l / h es entre 1-5, preferiblemente aproximadamente 2;

s / h está entre 4-15, preferiblemente entre 6-10, lo más preferiblemente aproximadamente 7;

z / h está entre 7-20, preferiblemente entre 8-15, lo más preferiblemente aproximadamente 10; y

30 β está entre 6-16 grados, preferiblemente entre 9-13 grados, lo más preferiblemente aproximadamente 12 grados.

Al disponer los generadores de vórtice de acuerdo con estos intervalos, hubo una mejora sorprendente en el rendimiento de la superficie de sustentación en comparación con la técnica anterior. Si bien se encontró que la variación de valores y relaciones individuales aumentaba el arrastre generado por los generadores de vórtice con respecto a la técnica anterior, se encontró un efecto sorprendente para estos intervalos, en la que la disposición del generador de vórtice propuesta redujo el arrastre y aumentó la elevación cuando se comparó con el sistema de la técnica anterior.

35 Preferiblemente, dichos VG comprenden paletas de VG de triángulo rectángulo, en el que la hipotenusa de dichas paletas de VG de triángulo rectángulo se extiende desde la base en dicho primer extremo hasta la punta distal en dicho segundo extremo.

40 Preferiblemente, los VG de dichos pares de VG están en ángulo con respecto a la dirección del flujo sobre la superficie de sustentación. Preferiblemente, los VG de dichos pares de VG se proporcionan en una disposición convergente en el primer extremo de un par de VG.

Preferiblemente, los primeros extremos de los VG adyacentes forman un extremo estrecho y relativamente convergente del par de VG, y que los segundos extremos de los VG adyacentes forman un extremo más ancho y divergente del par de VG.

45 Preferiblemente, el ángulo β se mide desde los primeros extremos respectivos hacia los segundos extremos.

Se proporciona además una pala de turbina eólica que tiene una disposición de generadores de vórtice como se describe anteriormente, y una turbina eólica que tiene al menos una de dichas palas de turbina eólica.

5 En otro aspecto, se proporciona un método para instalar o adaptar generadores de vórtice en una pala de turbina eólica, estando montada la pala de turbina eólica en un centro de turbina eólica y extendiéndose en una dirección longitudinal y teniendo un extremo de punta y un extremo de raíz, donde la pala de la turbina eólica comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde delantero y un borde posterior con un cordón que tiene una longitud de cordón que se extiende entre el contorno perfilado, cuando se ve afectado por un flujo de aire incidente, generando una elevación. El método comprende identificar una línea de separación o uno o más puntos de separación en el lado de succión de la pala de la turbina eólica, y montar uno o más paneles de vórtice que incluyen un primer panel de vórtice que comprende al menos un generador de vórtice en el lado de succión de la pala de la turbina eólica entre la línea de separación y el borde delantero de la pala de la turbina eólica.

10 El método de acuerdo con la presente invención permite la provisión de una pala de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas, permitiendo así un mayor rendimiento de energía de la turbina eólica con la pala de turbina eólica respectiva.

15 La identificación de una línea de separación o uno o más puntos de separación en el lado de succión de la pala de la turbina eólica puede comprender determinar al menos un parámetro indicativo de las propiedades de flujo en uno o más puntos o zonas de medición.

20 Preferiblemente, el montaje de uno o más paneles de vórtice comprende el montaje de uno o más paneles de vórtice a una distancia de la línea de separación en el intervalo de 0.1 m a 1.5 m, por ejemplo en el intervalo de 0.2 m a 1 m, tal como aproximadamente 0.5 m.

Preferiblemente, identificar una línea de separación comprende determinar la distribución del depósito en al menos una sección del lado de succión de la pala de la turbina eólica e identificar una línea de separación con base en la distribución del depósito.

25 Preferiblemente, la distribución del depósito se mide determinando al menos un parámetro indicativo de la cantidad de depósito en una pluralidad de puntos o zonas de medición en el lado de succión de la turbina eólica.

Preferiblemente, un primer parámetro indicativo de la cantidad de depósito es el espesor del depósito en los puntos o zonas de medición.

30 Preferiblemente, un segundo parámetro indicativo de la cantidad de depósito es el color de los puntos o zonas de medición.

Preferiblemente, la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de la turbina eólica se realiza cuando la turbina eólica ha estado funcionando durante al menos un día.

Preferiblemente, el método comprende:

aplicar un indicador de línea de separación al lado de succión de la turbina eólica,

35 operar la turbina eólica por un período de tiempo, y

en el que la identificación de una línea de separación en el lado de succión de la pala de la turbina eólica se basa en el indicador de la línea de separación durante o después de la operación de la turbina eólica.

Preferiblemente, el indicador de línea de separación es un recubrimiento que facilita el depósito de material o la eliminación del recubrimiento durante la operación.

40 Preferiblemente, el indicador de línea de separación comprende pintura sensible a la presión. Adicionalmente o alternativamente, el indicador de línea de separación comprende polvo.

Preferiblemente, el indicador de línea de separación comprende uno o más penachos.

45 Preferiblemente, identificar una línea de separación en el lado de succión de la pala de la turbina eólica comprende identificar una línea de separación a una distancia del extremo de la raíz en el intervalo de 0.1 L a 0.4 L, donde L es la longitud longitudinal de la pala.

Preferiblemente, identificar una línea de separación comprende determinar la dirección del flujo del viento en una pluralidad de puntos o zonas de medición en el lado de succión de la turbina eólica durante la operación e identificar una línea de separación con base en las direcciones del flujo del viento.

50 Preferiblemente, el método comprende alimentar el flujo del lado de succión con partículas para depositar las partículas en la superficie del lado de succión y en el que identificar una línea de separación en el lado de succión de la pala de

la turbina eólica se basa en la distribución del depósito de partículas en el lado de succión de la pala de la turbina eólica.

5 En otro aspecto, se proporciona una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo el rotor un centro desde el cual la pala de la turbina eólica se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el centro, donde la pala de la turbina eólica se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje de paso y tiene un extremo de punta y un extremo de raíz, así como una longitud de pala, donde la pala de la turbina eólica comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde delantero y un borde posterior con un cordón que tiene una longitud de cordón que se extiende entre ellos, el contorno perfilado, cuando se ve afectado por un flujo de aire incidente que genera una elevación, en el que el lado de succión de la pala de la turbina eólica está provisto con un pluralidad de generadores de vórtices colocados a lo largo de una línea de montaje que tiene un punto de extremo proximal más cercano al extremo raíz y un punto de extremo distal más cercano al extremo de punta. La línea de montaje puede ser una línea cóncava vista desde el borde posterior de la pala de la turbina eólica.

15 La pala de la turbina eólica de acuerdo con la presente invención permite una configuración de generador de vórtice, donde los generadores de vórtice están dispuestos cerca del área de separación de flujo posible o esperada en el lado de succión de una pala de turbina eólica correspondiente sin los generadores de vórtice, donde la separación del flujo es causada por el perfil aerodinámico de la región de raíz y la región de transición. En consecuencia, la pala de la turbina eólica proporciona un perfil de separación mejorado al mover la separación hacia el borde posterior o incluso evitar la separación en el lado de succión de la pala de la turbina eólica. Al mismo tiempo, se minimiza el arrastre inducido por los generadores de vórtice que sobresalen de la superficie del lado de succión.

20 A medida que la posición de la línea de separación cambia durante diferentes condiciones de operación, y el efecto de los generadores de vórtice se reduce con el aumento de la distancia. Se desea que los generadores de vórtice se coloquen entre la línea de separación esperada y el borde delantero para obtener el efecto óptimo. Además, puede desearse disponer los generadores de vórtice lo más lejos posible del borde delantero o lo más cerca posible del borde posterior con el fin de reducir o eliminar los efectos de arrastre. Los generadores de vórtice generalmente están dispuestos entre la línea de separación esperada y el borde delantero de la pala de la turbina eólica.

25 Una línea de montaje cóncava debe entenderse como una línea, que cuando se proyecta en un plano cordal de las palas es cóncava, o de manera equivalente, la línea de montaje puede ser cóncava desde el borde posterior en una vista superior del lado de succión de la pala. También se entiende que la pluralidad de generadores de vórtice comprende un generador de vórtice proximal ubicado en el punto de extremo proximal y un generador de vórtice distal ubicado en el punto de extremo distal, así como al menos un generador de vórtice intermedio entre el generador de vórtice proximal y el generador vórtice distal. Los generadores de vórtices intermedios pueden ubicarse en los puntos intermedios de la línea de montaje. En una realización, los segmentos de línea de la línea de montaje, es decir, una parte de la línea de montaje pueden ser cóncavos.

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

35 La línea de montaje puede seguir la posición central de los generadores de vórtice o, alternativamente, el borde delantero de los generadores de vórtice. La línea de montaje o segmentos de línea de la misma pueden seguir o coincidir sustancialmente con una línea que define la ruta más corta entre dos puntos, por ejemplo entre dos puntos intermedios o entre un punto de extremo y un punto intermedio de la línea de montaje, a lo largo de la superficie del lado de succión de la pala de la turbina eólica.

40 La línea de montaje puede extenderse a lo largo de una parte de la longitud de la pala. La línea de montaje puede extenderse a lo largo del 10% al 50% de la longitud de la pala, tal como a lo largo del 15% al 40%. En una o más realizaciones, la línea de montaje se extiende a lo largo del 20% al 35% de la longitud de la pala. La línea de montaje puede formar una curva cóncava suave. Sin embargo, en la práctica puede ser engorroso disponer los generadores de vórtice a lo largo de una curva cóncava suave, en particular dado que los generadores de vórtice a menudo se montan sobre tiras o mediante tiras. Por lo tanto, de acuerdo con una realización ventajosa particular, la línea de montaje cóncava se divide en dos o más segmentos de línea recta.

45 La línea de montaje puede comprender al menos un punto intermedio que incluye un primer punto intermedio, en el que el al menos un punto intermedio divide la línea de montaje en una pluralidad de segmentos de línea que incluyen un primer segmento de línea y un segundo segmento de línea. El primer segmento de línea puede ser recto y/o el segundo segmento de línea puede ser recto. Un segmento de línea recta puede definirse como una línea recta en el plano cordal o, de manera equivalente, que el segmento de línea es recto en una vista superior del lado de succión de

la pala. Además, un segmento de línea recta puede definirse como la ruta que define la distancia más corta entre dos puntos a lo largo de la superficie exterior de la pala de la turbina eólica.

5 En un aspecto adicional o alternativo, se proporciona un método para instalar o adaptar una pala de turbina eólica que se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje de paso y que tiene un extremo de punta y un extremo de raíz, así como una longitud de pala, donde la pala de turbina de viento comprende además un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde delantero y un borde posterior con un cordón que tiene una longitud de cordón que se extiende entre ellos, generando el contorno perfilado, cuando se ve afectado por un flujo de aire incidente, una elevación, donde el método comprende montar una pluralidad de generadores de vórtice a lo largo de una línea de montaje que tiene un punto de extremo proximal más cercano al extremo de raíz y un punto de extremo distal más cercano al extremo de punta. La línea de montaje puede ser una línea cóncava vista desde el borde posterior de la pala de la turbina eólica. El método puede comprender el montaje de generadores de vórtice para proporcionar una turbina eólica como se describe aquí.

Preferiblemente, la línea de montaje se extiende a lo largo del 10% al 50% de la longitud de la pala.

15 Preferiblemente, el punto de extremo proximal se encuentra en un intervalo de longitud de la pala de 0 - 0.12L o 0 - 0.10L, o 0 - 0.08L, o 0 - 0.6L desde el extremo de la raíz.

Preferiblemente, el punto de extremo proximal se encuentra en una posición cordal relativa de 2% -20%, o 3% -15%, o 5-15%, por ejemplo aproximadamente 10% desde el borde delantero.

Preferiblemente, el punto de extremo distal se encuentra en un intervalo de longitud de la pala de 0.2L a 0.5L, o 0.25L a 0.45L, o 0.3L a 0.4L desde el extremo de la raíz.

20 Preferiblemente, el punto de extremo distal se encuentra en una posición cordal relativa de 20% -80%, o 25% -70%, o 30-60%, por ejemplo aproximadamente 50% desde el borde delantero.

Preferiblemente, una tangente al punto de extremo proximal de la línea de montaje forma un ángulo con el eje de inclinación en el intervalo de 0 a 10 grados, o de 0 a 5 grados.

25 Preferiblemente, una tangente al punto de extremo distal de la línea de montaje forma un ángulo con el eje de inclinación en el intervalo de 5 grados a 45 grados o de 5 grados a 35 grados, tal como 8 grados.

Preferiblemente, la línea de montaje comprende al menos un primer punto intermedio que divide la línea de montaje en un primer segmento de línea recta y un segundo segmento de línea.

Preferiblemente, el primer punto intermedio está ubicado en un intervalo de longitud de pala de 0.05L a 0.30L, o 0.08L a 0.20L, o 0.10L a 0.17L desde el extremo de la raíz.

30 Preferiblemente, el primer punto intermedio está ubicado en una posición cordal relativa de 2% -20%, o 3% -15%, o 5-15%, por ejemplo aproximadamente 10% desde el borde delantero.

Preferiblemente, el primer segmento de línea forma un primer ángulo con el eje de inclinación en el intervalo de 0 a 10 grados.

35 Preferiblemente, el segundo segmento de línea es recto y forma un segundo ángulo con el eje de inclinación en el intervalo de 2 grados a 60 grados o de 5 a 45 grados.

Preferiblemente, el contorno perfilado se divide en:

una región de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico más cercano al centro,

una región de superficie de sustentación que tiene un perfil generador de elevación más alejado del centro, y

40 una región de transición entre la región de raíz y la región de superficie de sustentación, donde la región de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial desde el perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil generador de elevación de la región de superficie de sustentación

en el que la línea de montaje se extiende a lo largo de sustancialmente toda la región de transición de la pala.

45 Preferiblemente, el contorno perfilado comprende un hombro con un ancho de hombro y ubicado en el límite entre la región de transición y la región de la superficie de sustentación, en el que el hombro está ubicado en un intervalo de 0.15L a 0.25L, o 0.18L a 0.25L, o 0.19L a 0.24L desde el extremo de raíz.

Preferiblemente, un generador de vórtice distal está ubicado en el punto de extremo distal, donde el generador de vórtice distal comprende una base y un par de paletas que incluyen una primera paleta y una segunda paleta que sobresalen de la base, en el que la primera paleta forma un primer ángulo de ataque con el eje de inclinación en el intervalo de 65 grados a 80 grados o de 70 grados a 75 grados.

5 También se proporciona un método para adaptar una pala de turbina eólica que se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje de inclinación y que tiene un extremo de punta y un extremo de raíz, así como una longitud de pala, donde la pala de turbina eólica además comprende un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde delantero y un borde posterior con un cordón que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, el contorno perfilado, cuando se ve afectado por un flujo de aire incidente que genera una elevación, donde el método comprende montar una pluralidad de generadores de vórtice a lo largo de una línea de montaje que tiene un punto de extremo proximal más cercano al extremo de raíz y un punto de extremo distal más cercano al extremo de la punta, en el que la línea de montaje es una línea cóncava vista desde el borde posterior de la pala de la turbina eólica.

10 La pala de turbina eólica de acuerdo con la invención proporciona un flujo mejorado sobre una pala de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas permitiendo así un mayor rendimiento de energía de la turbina eólica con la pala de turbina eólica respectiva. En particular, se proporciona una pala de turbina eólica con propiedades aerodinámicas mejoradas en la región de transición y una primera parte de la región de superficie de sustentación de la pala.

15 Se entenderá que cualquiera de las características descritas se puede combinar para proporcionar una pala de turbina eólica que tenga un rendimiento mejorado con respecto a la técnica anterior.

Descripción de la invención.

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

20 La Fig. 1 muestra una turbina eólica;

La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención.

La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil de superficie de sustentación de la pala de la Fig. 2;

La Fig. 4 muestra una vista ampliada de una disposición de generadores de vórtice de acuerdo con la invención.

25 La Fig. 5 muestra un gráfico del coeficiente de elevación contra el ángulo de ataque a partir de los resultados experimentales de dos realizaciones de la invención en comparación con los sistemas de la técnica anterior;

La Fig. 6 muestra un gráfico del coeficiente de arrastre contra el ángulo de ataque de los resultados experimentales de dos realizaciones de la invención en comparación con los sistemas de la técnica anterior; y

30 La Fig. 7 muestra un gráfico del (coeficiente de elevación/coeficiente de arrastre) contra el ángulo de ataque de los resultados experimentales de dos realizaciones de la invención en comparación con los sistemas de la técnica anterior y

La Fig. 8 muestra un gráfico del coeficiente de elevación frente al coeficiente de arrastre de los resultados experimentales de dos realizaciones de la invención en comparación con los sistemas de la técnica anterior.

35 La Fig. 1 ilustra una turbina eólica contra el viento moderna convencional de acuerdo con 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 centro 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el centro 8, cada una con una raíz 16 de pala más cercana al centro y una punta 14 de pala más alejada del centro 8. El rotor tiene un radio denotado R.

40 La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica de acuerdo con una realización de 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 cercana al centro, una región perfilada o una región 34 de superficie de sustentación más alejada del centro y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 de superficie de sustentación. La pala 10 comprende un borde 18 delantero orientado hacia la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el centro, y un borde 20 posterior hacia la dirección opuesta del borde 18 delantero.

45 La región 34 de superficie de sustentación (también llamada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de elevación, mientras que la región 30 de raíz debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, que por ejemplo hace que sea más fácil y seguro montar la pala 10 en el centro. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz es típicamente constante a lo largo de toda el área de la raíz 30. 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 superficie de sustentación de la región 34 de superficie de sustentación. La longitud del cordón de la región 32 de transición típicamente aumenta sustancialmente de forma lineal al aumentar la distancia r desde el centro.

50 La región 34 de superficie de sustentación tiene un perfil 50 de superficie de sustentación con un cordón que se extiende entre el borde 18 delantero y el borde 20 posterior de la pala 10. El ancho del cordón disminuye a medida que aumenta la distancia r desde el centro.

Debe observarse que los cordones 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, predoblada), proporcionando así al plano de cordón con un curso correspondientemente torcido y/o curvado, siendo este el caso más frecuente con el fin de compensar que la velocidad local de la pala dependa del radio desde el centro.

5 La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 de superficie de sustentación de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros, que se usan típicamente para definir la forma geométrica de una superficie de sustentación. El perfil 50 de superficie de sustentación 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 orientan hacia el lado de barlovento (o contra el viento) y el lado de sotavento (o a favor del viento), respectivamente. La superficie 50 de sustentación
10 tiene un cordón 60 con una longitud c de cuerda que se extiende entre un borde 56 delantero y un borde 58 posterior de la pala. La superficie 50 de sustentación tiene un espesor t , que se define como la distancia entre el lado 52 de presión y el lado 54 de succión. El espesor t de la superficie de sustentación varía a lo largo del cordón 60. La desviación de un perfil simétrico está dada por una línea 62 de inclinación, que es una línea mediana a través del perfil 50 de superficie de sustentación. La línea media se puede encontrar dibujando círculos inscritos desde el borde 56
15 delantero hasta el borde 58 posterior. La línea mediana sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia del cordón 60 se llama curvatura f . La asimetría también se puede definir mediante el uso de parámetros llamados la comba superior y la comba inferior, que se definen como las distancias desde el cordón 60 y el lado 54 de succión y el lado 52 de presión, respectivamente.

20 Los perfiles de la superficie de sustentación se caracterizan a menudo por los siguientes parámetros: la longitud c de cuerda, la comba f máxima, la posición df de la comba f máxima, el espesor t máximo de la superficie de sustentación, que es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de inclinación mediana, la posición dt del espesor t máximo, y un radio de punta (no mostrado). Estos parámetros se definen típicamente como relaciones a la longitud c del cordón.

25 Preferiblemente, las palas de la turbina eólica tienen más de 30 metros entre dichos extremos de raíz y punta, preferiblemente más de 40 metros.

Una matriz de generadores 100 de vórtice se proporcionan en el lado 54 de succión de la superficie 50 de sustentación, hacia el borde 56 delantero. Los generadores 100 de vórtice actúan para inducir vórtices turbulentos en el flujo de aire incidente sobre la superficie 50 de sustentación, lo que impide la separación del flujo.

30 Con referencia a la Fig. 4, los generadores 100 de vórtices (o VG) se proporcionan como pares de paletas 100 de VG triangulares para usarse en una superficie de sustentación, por ejemplo una pala de turbina eólica. Los pares de VG están dispuestos en el lado de succión de la superficie de sustentación, extendiéndose a lo largo de al menos una porción de la superficie de sustentación en la dirección longitudinal, es decir, a lo largo de la dirección del radio R . Cada par de VG comprende un primer generador 102 de vórtices y un segundo generador 104 de vórtices proporcionados adyacentes entre sí. Los VG individuales 102,104 tienen un primer extremo 102a, 104a dispuesto
35 hacia un borde 56 delantero de la superficie de sustentación y un segundo extremo 102b, 104b dispuesto hacia un borde 58 posterior de la superficie de sustentación.

40 Los VGs 102,104 tienen un perfil de triángulo en ángulo recto, donde una primera pata de dicho perfil triangular forma la base 105 del VG unida a la superficie de la superficie de sustentación y una segunda pata de dicho perfil triangular que se proyecta desde la base en dicha segundo extremo 102b, 104b del VG, que tiene altura h . La hipotenusa de dicho perfil se extiende desde el primer extremo 102a, 104a del VG en la base hasta el punto distal del segundo extremo 102b, 104b del VG. Sin embargo, se entenderá que pueden usarse otras construcciones de VG, y la invención no se limita a un perfil de triángulo en ángulo recto.

45 Los VGs 102,104 de cada par 100 están desviados desde la dirección del flujo incidente (indicado por las flechas A) en la superficie de sustentación por un ángulo β , medido desde los primeros extremos respectivos hacia los segundos extremos, de modo que los primeros extremos de los VG adyacentes forman un extremo estrecho y relativamente convergente del par de VG, y que los segundos extremos de los VG adyacentes forman un extremo más amplio y divergente del par de VG.

Mediante la variación de las dimensiones características de los VG, se logró una mejora sorprendente en el rendimiento aerodinámico. En particular, con respecto a las dimensiones de:

50 la distancia s entre paletas entre los segundos extremos 102b, 104b de VG en un par de VG;

la longitud l de la base de la paleta 100 de VG triangular;

la altura h del extremo de la punta de las paletas de VG, prevista en el segundo extremo 102b, 104b de los VG;

la distancia z entre pares medida entre líneas centrales nominales que se extienden entre los VG de pares de VG adyacentes; y

el ángulo β de compensación - medido como el ángulo en el que se extiende una paleta de VG con respecto a la dirección de entrada de flujo en los generadores de vórtice.

En comparación con el estado de la técnica descrito en Godard, mientras que tiene una relación de $1/h$ de entre 1-5, al aumentar la relación de s/h a entre 4-15, aumentando la relación de z/h a entre 7-20 y reduciendo β a entre 6-16 grados, se descubrió una mejora sorprendente en el rendimiento aerodinámico, lo que resultó en una configuración mejorada de pares de generadores de vórtice en una superficie de sustentación.

Aunque individualmente cualquiera de los ajustes descritos anteriormente en la disposición del generador de vórtices daría lugar a un aumento de arrastre y un impacto negativo en el rendimiento aerodinámico, la combinación de estos ajustes de características presenta una mejora con respecto a la técnica anterior, lo que no se cree o es sugerido en el estado de la técnica.

La siguiente tabla ilustra la mejora en el rendimiento obtenido de dos realizaciones de acuerdo con la disposición propuesta, en comparación con dos construcciones de la técnica anterior, de acuerdo con la configuración aceptada del estado de la técnica (tomada de Godard et al.). Los resultados se ilustran para la condición de inicio en la que $1/h = 2$, con los resultados de la disposición propuesta denotada como "Potencia de Viento LM". En la tabla se dan los valores máximos de los polares y otros valores significativos.

Tabla 1: Resultados experimentales

Configuración óptima de parámetros de VG	β [°]	z/h [-]	s/h [-]	$C_{L,max}$ [-]	AOA_{parada} [°]	$\left(\frac{C_L}{C_D}\right)_{max}$ [-]	AOA_{Des} [°]	$C_{L, Diseño}$ [-]	$C_{D, Diseño}$ [-]
Potencia de Viento LM	9	10	7	1.81	13.9	117.6	6.1	1.12	0.0095
	12	10	7	1.81	13.4	118.1	7.1	1.24	0.0105
Godard	18	5	2	1.66	12.4	86.1	7.1	1.22	0.0142
	18	7.5	3	1.71	12.7	94.9	7.1	1.23	0.0130

Se puede ver que la disposición propuesta de pares de generadores de vórtices, que tienen un β relativamente pequeño y relaciones aumentadas de z/h y s/h , da como resultado un aumento en $C_{L,max}$, el coeficiente de elevación máximo para la superficie de sustentación, sobre el sistema Godard. Además, la relación (C_L / C_D) aumenta en relación con Godard, y la superficie de sustentación solo entrará en pérdida en un ángulo de ataque más alto (AOA).

Con referencia a las Figs. 5-8, se proporcionan una serie de gráficos ilustrativos que muestran resultados experimentales que implican las realizaciones de la invención descritas en la tabla anterior en comparación con el estado de la técnica propuesto en Godard. Las gráficas individuales se denotan VG_A_S_Z, en la que A es el ángulo β utilizado, S es la relación s/h , y Z es la relación z/h . En consecuencia, las gráficas indicadas VG_A12_S7.0_Z10 y VG_A9_S7_Z10 son indicativas de una configuración de generador de vórtice de acuerdo con la invención, y las gráficas VG_A18_S2.0_Z5 y VG_A18_S3.0_Z7.5 son indicativas de configuraciones de generador de vórtice de la técnica anterior, con referencia a la Tabla 1 anterior.

Las investigaciones experimentales del efecto de la configuración del generador de vórtices en el coeficiente de elevación máximo, $C_{l,max}$, y en la relación de deslizamiento máxima, $(C_l / C_d)_{max}$, se han llevado a cabo en el túnel de viento LM Wind Power en un perfil DU 91-W2-250, que es una superficie de sustentación dedicada a la turbina eólica desarrollada en la Delft University of Technology [W. A. Timmer y R. P. J. O. M. van Rooij; Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils; ASME Journal of Solar Energy 125 (2003) 488-496]. El número de Reynolds para los resultados presentados es de 3 millones.

A modo de comparación con los resultados experimentales, el rendimiento de la superficie de sustentación utilizada sin ningún generador de vórtice también se muestra en las Figs. 5-8, por la grafica denotada 'Limpia'.

En la Fig. 5, se muestra un gráfico del coeficiente C_l de elevación contra el ángulo AOA de ataque. Aquí se puede ver que los sistemas de la técnica anterior (indicados en las gráficas denotadas por la X y por el triángulo) experimentan una reducción en el C_l proporcionado por el perfil aerodinámico en un AOA anterior en comparación con las realizaciones de la invención, es decir, el sistema de la invención sorprendentemente entrará en pérdida en un ángulo de ataque posterior al de los sistemas de la técnica anterior.

En la Fig. 6, se muestra un gráfico del coeficiente C_d de arrastre contra el ángulo AOA de ataque. Aquí se puede ver que los sistemas de la técnica anterior (indicados en los gráficos indicados por la X y por el triángulo) experimentan un C_d global mayor en todos los AOA en comparación con las realizaciones de la invención, y en consecuencia la invención propuesta proporciona una mejora en el rendimiento de arrastre de la superficie de sustentación.

En la Fig. 7, se muestra un gráfico de (C_l / C_d) contra el ángulo AOA de ataque, mientras que en la Fig. 8 C_l se traza contra el C_d para los sistemas probados. Está claro que las realizaciones del sistema de la invención proporcionan una mejora significativa y sorprendente en la relación de elevación a arrastre sobre los sistemas de la técnica anterior, dando como resultado una mejora en el rendimiento global de la superficie de sustentación.

- 5 Las pruebas adicionales han indicado a los inventores que las ventajas de rendimiento indicadas en la tabla anterior y las figuras adjuntas se extienden a través del intervalo propuesto de valores característicos.

Se entenderá que los VG pueden tener cualquier estructura y sección transversal adecuadas. Los VG son sustancialmente planos, o al menos una porción de los VG puede ser cónica, por ejemplo un segundo extremo 102b, 104b cónico, o un extremo de punta cónica.

- 10 Un sistema de este tipo proporciona un rendimiento mejorado cuando se instala en una pala de turbina eólica, dando como resultado una mayor producción de energía para dicha pala de turbina eólica sobre los sistemas de la técnica anterior. Los cálculos iniciales han demostrado que las palas que tienen una disposición de generadores de vórtice de este tipo experimentarán un aumento en la AEP (Producción anual de energía) de entre aproximadamente 0.3%-1% durante la vida útil de la pala.

- 15 La disposición comprende al menos 2 pares de VG. La disposición de los pares de VG puede proporcionarse a lo largo de una línea recta, una línea curva y/o una línea de múltiples partes en la dirección longitudinal de la pala. Los pares de VG pueden estar dispuestos de manera sustancialmente equidistante.

- 20 Se entenderá que los pares de VG individuales pueden proporcionarse con una base separada o común. Además, las paletas individuales de los pares de VG también pueden proporcionarse con una base separada o común para el par de VG. Además, se entenderá que la invención también cubre la disposición de VG en la que se puede proporcionar una primera paleta de un primer par de VG y una segunda paleta de un segundo par de VG adyacente en una base común, en la que los pares de VG de la invención están definidos por paletas adyacentes de elementos o módulos VG adyacentes.

- 25 Las realizaciones descritas aquí presentan una matriz de pares de generadores de vórtice para usar en una superficie de sustentación, preferiblemente una pala de turbina eólica. La disposición de los generadores de vórtice de una manera diferente a la pensada por la técnica anterior presenta una mejora sorprendente en el rendimiento aerodinámico sobre los sistemas de la técnica anterior.

La invención no está limitada a la realización descrita aquí, y puede modificarse o adaptarse sin apartarse del alcance de la presente invención.

- 30

REIVINDICACIONES

1. Una disposición de los generadores (100) VG de vórtices para su uso en un perfil (50) de superficie de sustentación, donde dicho perfil de superficie de sustentación tiene un borde (56) delantero y un borde (58) posterior, dichos VG provistos como una matriz de pares de VG, donde dichos VG comprenden paletas de VG sustancialmente triangulares que se proyectan desde una superficie de dicho perfil de superficie aerodinámica, comprendiendo cada uno de dichos pares un primer VG (102) y un segundo VG (104), en el que dichos VG comprenden:
- 5 un primer extremo (102a, 104a) provisto hacia dicho borde delantero;
- un segundo extremo (102b, 104b) provisto hacia dicho borde posterior;
- 10 una base (105) que se extiende entre dicho primer extremo y dicho segundo extremo adyacente a la superficie del perfil de la superficie de sustentación; y
- una punta provista en un extremo distal de dicha paleta de VG triangular, en la que dichos VG están desviados en relación con una dirección de flujo principal del perfil de la superficie de sustentación, en la que los primeros extremos de los VG adyacentes forman un extremo estrecho y relativamente convergente del par de VG, y porque los segundos extremos de los VG adyacentes forman un extremo más amplio y divergente del par de VG, y en la que
- 15 l es la longitud de la base de los VG;
- s es la distancia entre los respectivos segundos extremos del primer y segundo VG en un par de VG;
- h es la altura desde dicha superficie hasta dicha punta de un VG en un par de VG;
- z es la distancia entre las líneas centrales nominales definidas entre el primer y el segundo VG de pares de VG adyacentes en la matriz; y
- 20 β es el ángulo de inclinación de los VG en relación con la dirección de flujo principal del perfil de la superficie de sustentación,
- caracterizado porque:
- l / h está entre 1-5,
- s / h está entre 6-15;
- 25 z / h está entre 7-20; y
- β está entre 6-16 grados.
2. La disposición de los generadores de vórtice de la reivindicación 1, en la que dicha punta se proporciona cerca de dicho segundo extremo.
3. La disposición de los generadores de vórtice de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que dichos VG comprenden paletas de VG de triángulo rectángulo, en la que la hipotenusa de dichas paletas de VG de triángulo rectángulo se extiende desde la base en dicho primer extremo hasta la punta distal en dicho segundo extremo.
- 30 4. La disposición de los generadores de vórtice de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que l / h es aproximadamente 2.
5. La disposición de los generadores de vórtice de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que s / h está entre 6-10.
- 35 6. La disposición de los generadores de vórtice de la reivindicación 5, en la que s / h es aproximadamente 7
7. La disposición de los generadores de vórtice de cualquier reivindicación anterior, en la que z / h está entre 8-15.
8. La disposición de los generadores de vórtice de la reivindicación 7, en la que z / h es aproximadamente 10
9. La disposición de los generadores de vórtice de cualquier reivindicación anterior, en la que β está entre 9-13 grados.
- 40 10. La disposición de los generadores de vórtice de la reivindicación 9, en la que β es aproximadamente 12 grados.
11. La disposición de los generadores de vórtice de la reivindicación 1, en la que el ángulo β se mide desde los primeros extremos respectivos hacia los segundos extremos.
12. La disposición de los generadores de vórtice de cualquier reivindicación anterior, para uso en una pala de turbina eólica que tiene una longitud de más de 30 metros.

13. Una pala de turbina eólica que tiene una disposición de generadores de vórtice de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12.
14. La pala de turbina eólica de la reivindicación 13, en la que dicha pala de turbina eólica tiene una longitud mayor de 30 metros.
- 5 15. Una turbina eólica que tiene al menos una pala de turbina eólica como se reivindicó en la reivindicación 13 o la reivindicación 14.

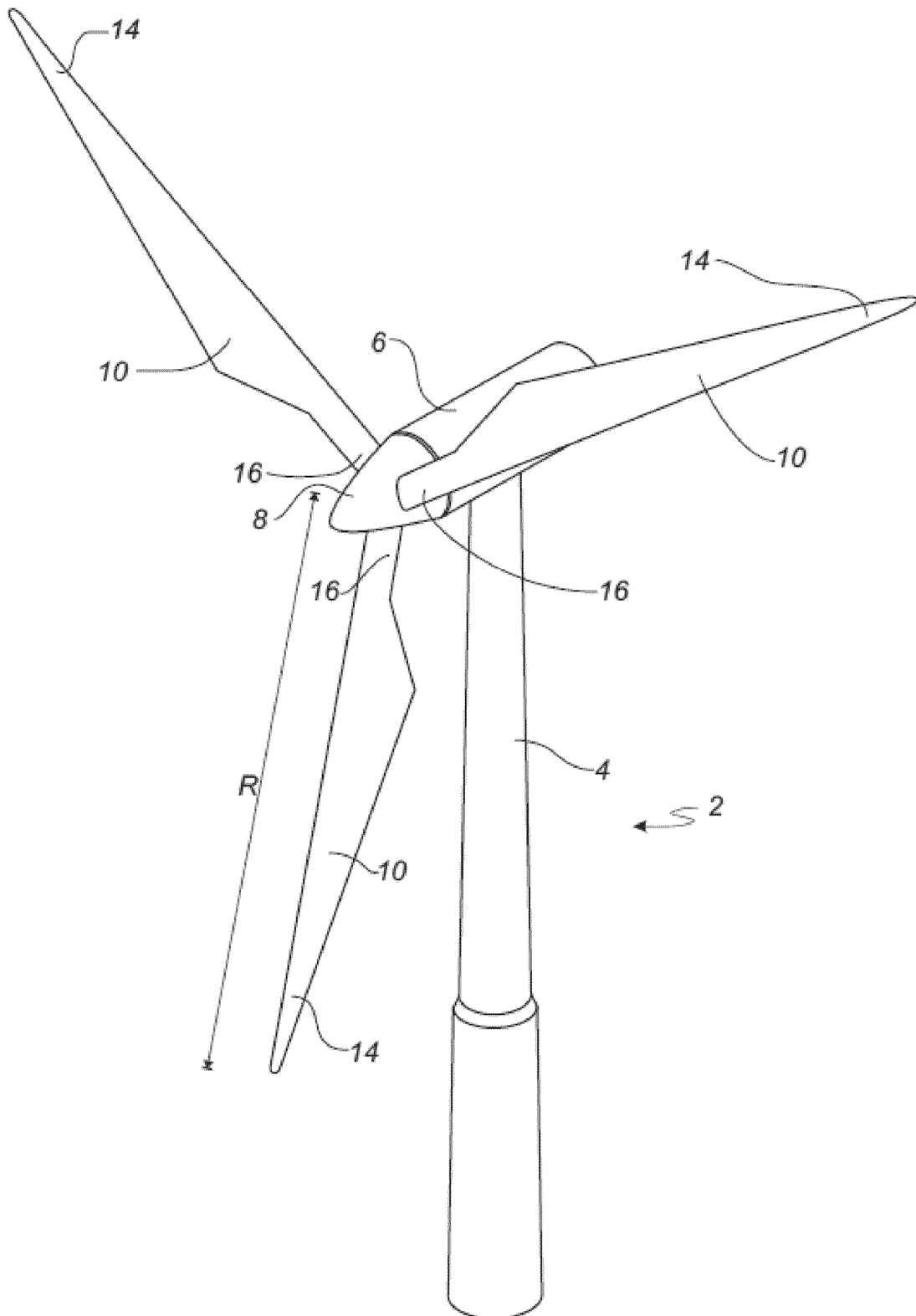


Fig. 1

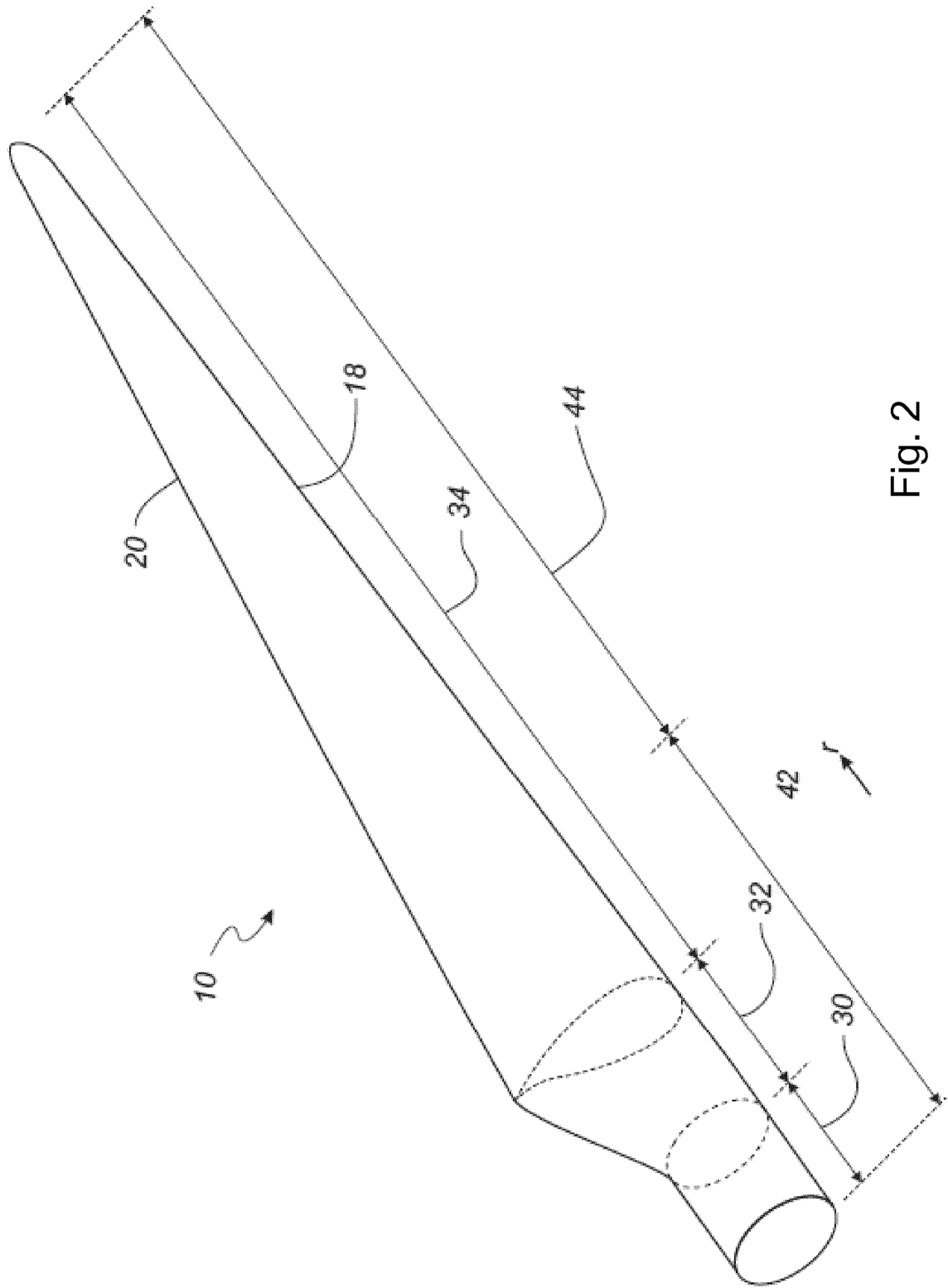


Fig. 2

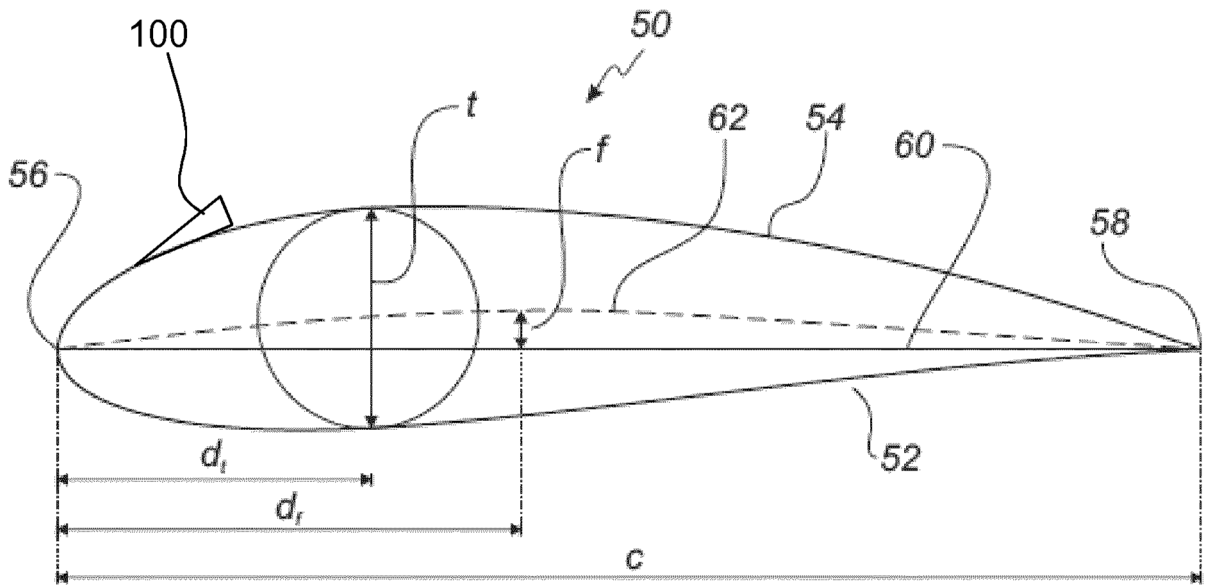


Fig. 3

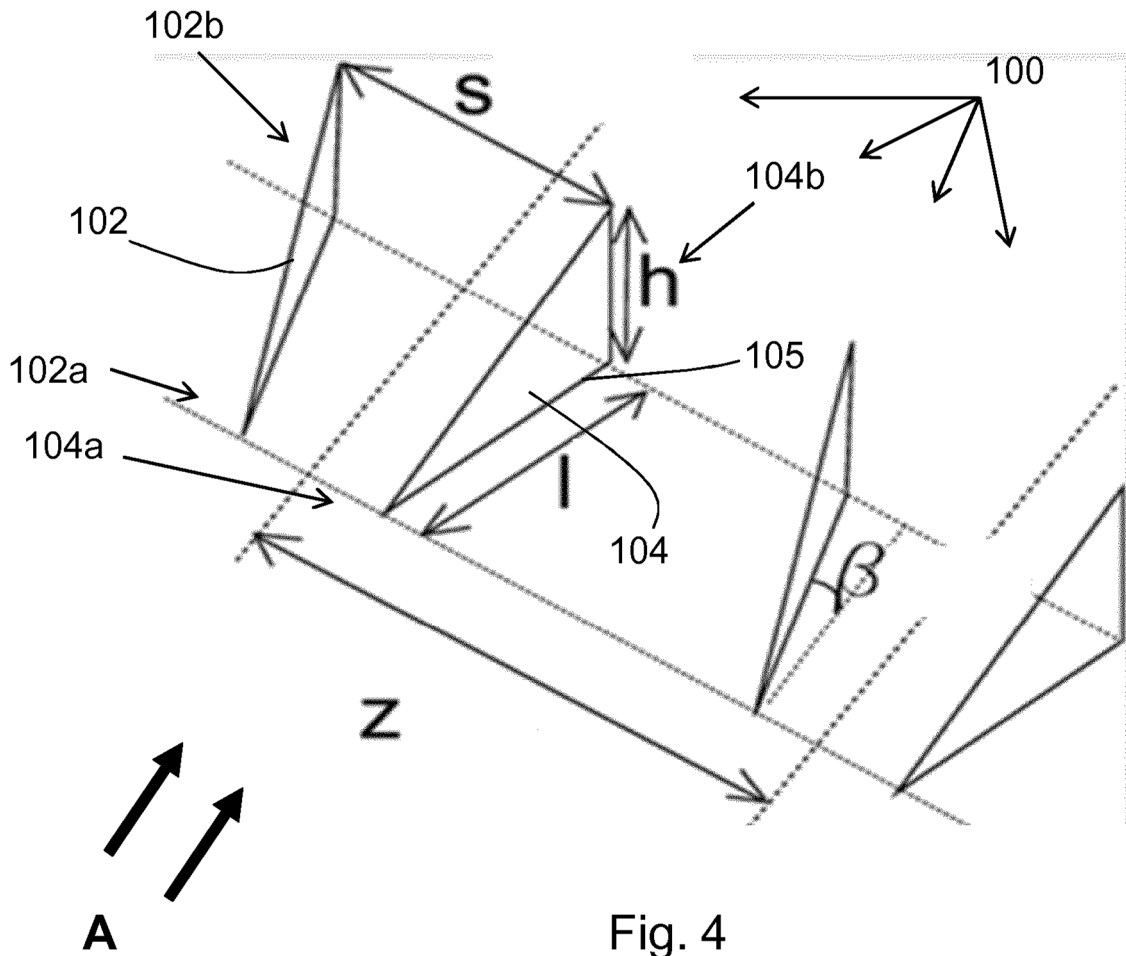


Fig. 4

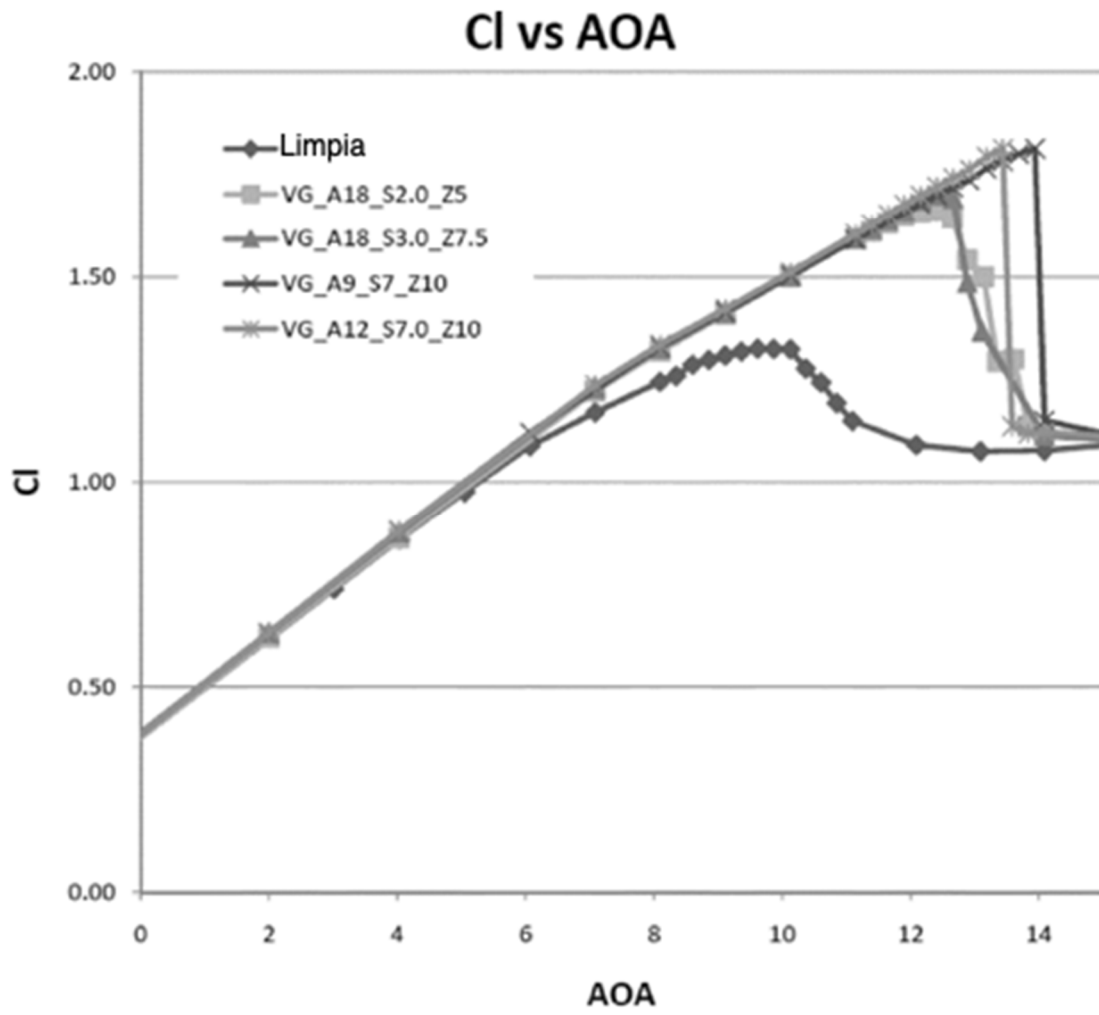


Fig. 5

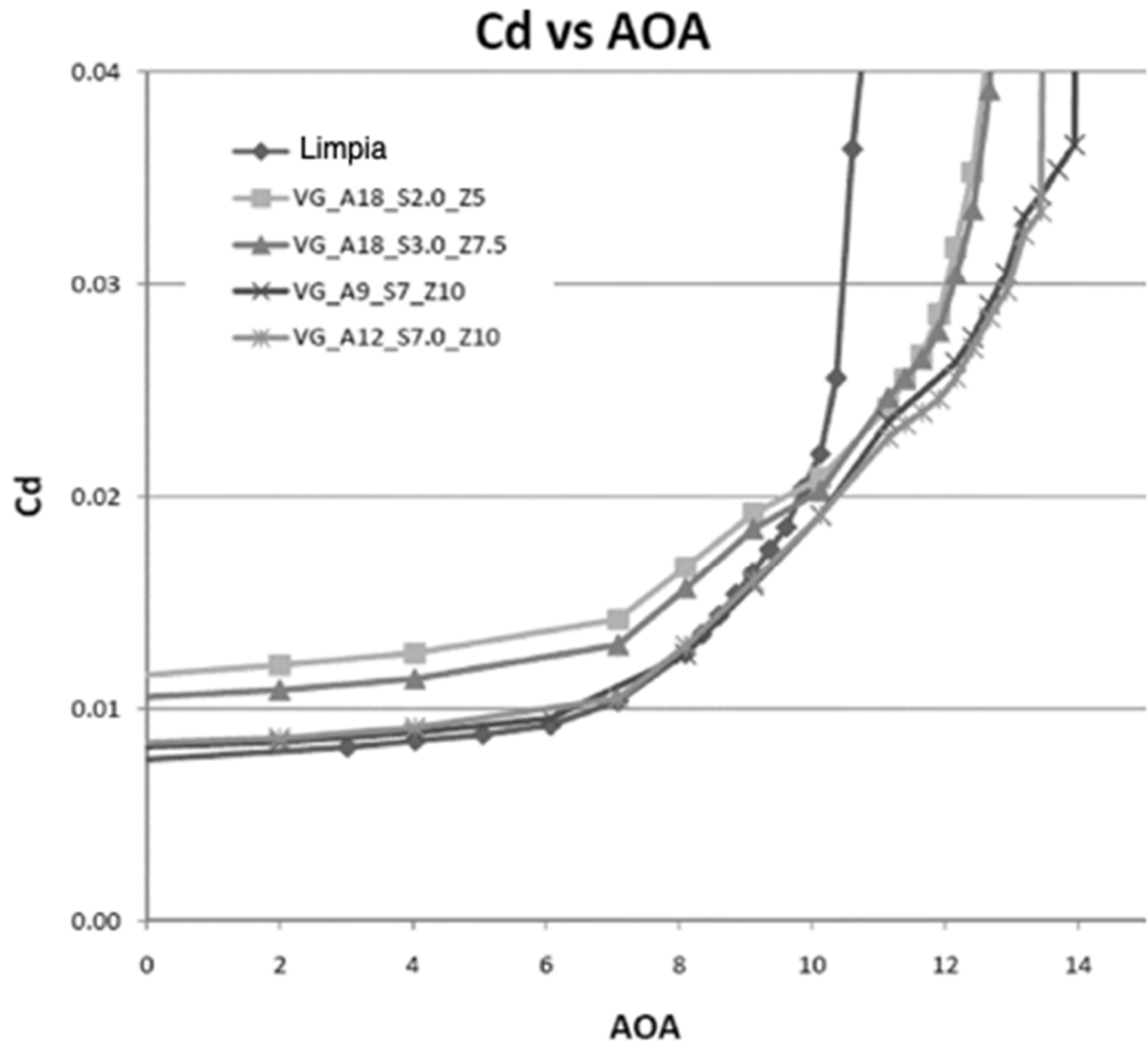


Fig. 6

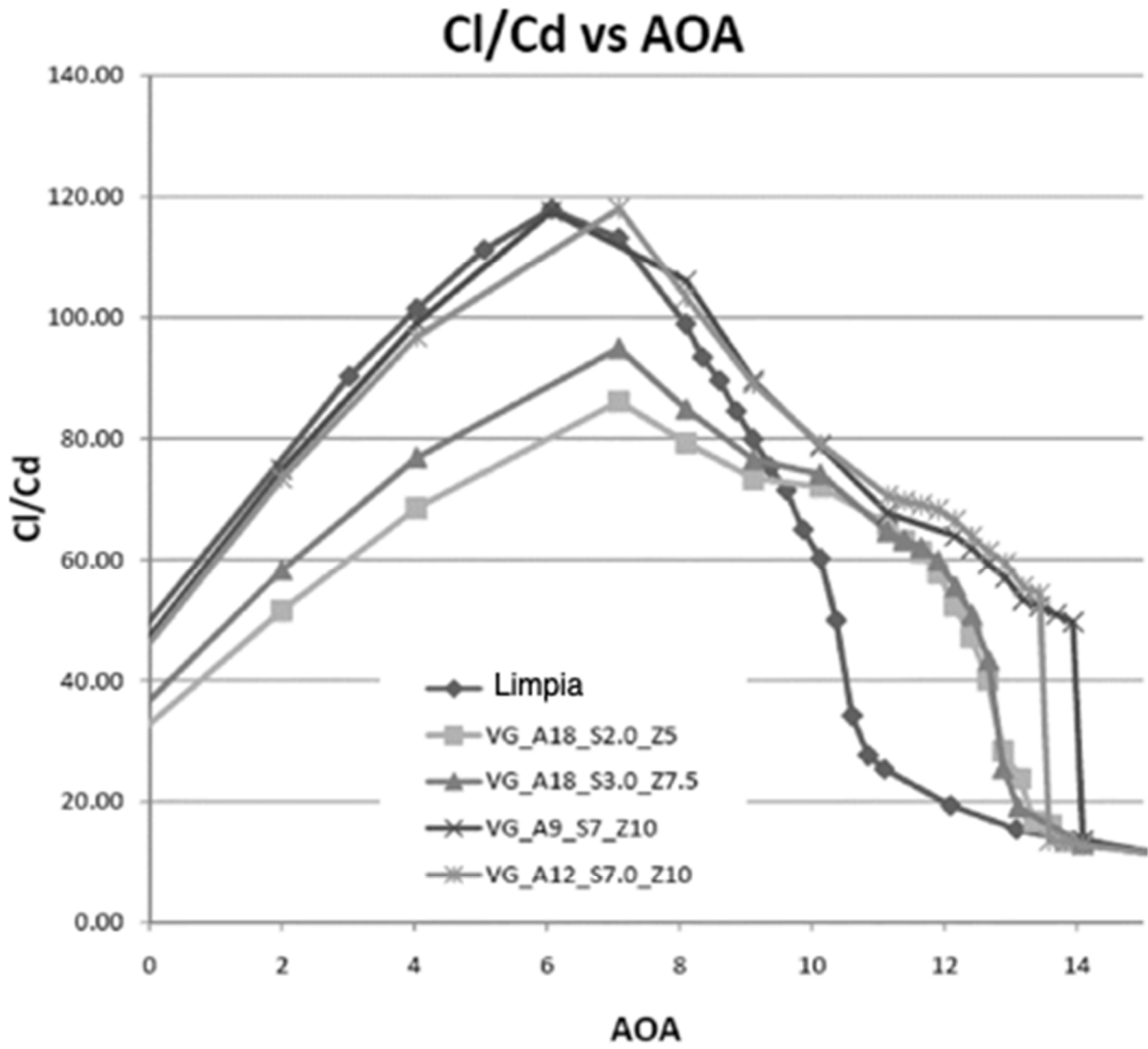


Fig. 7

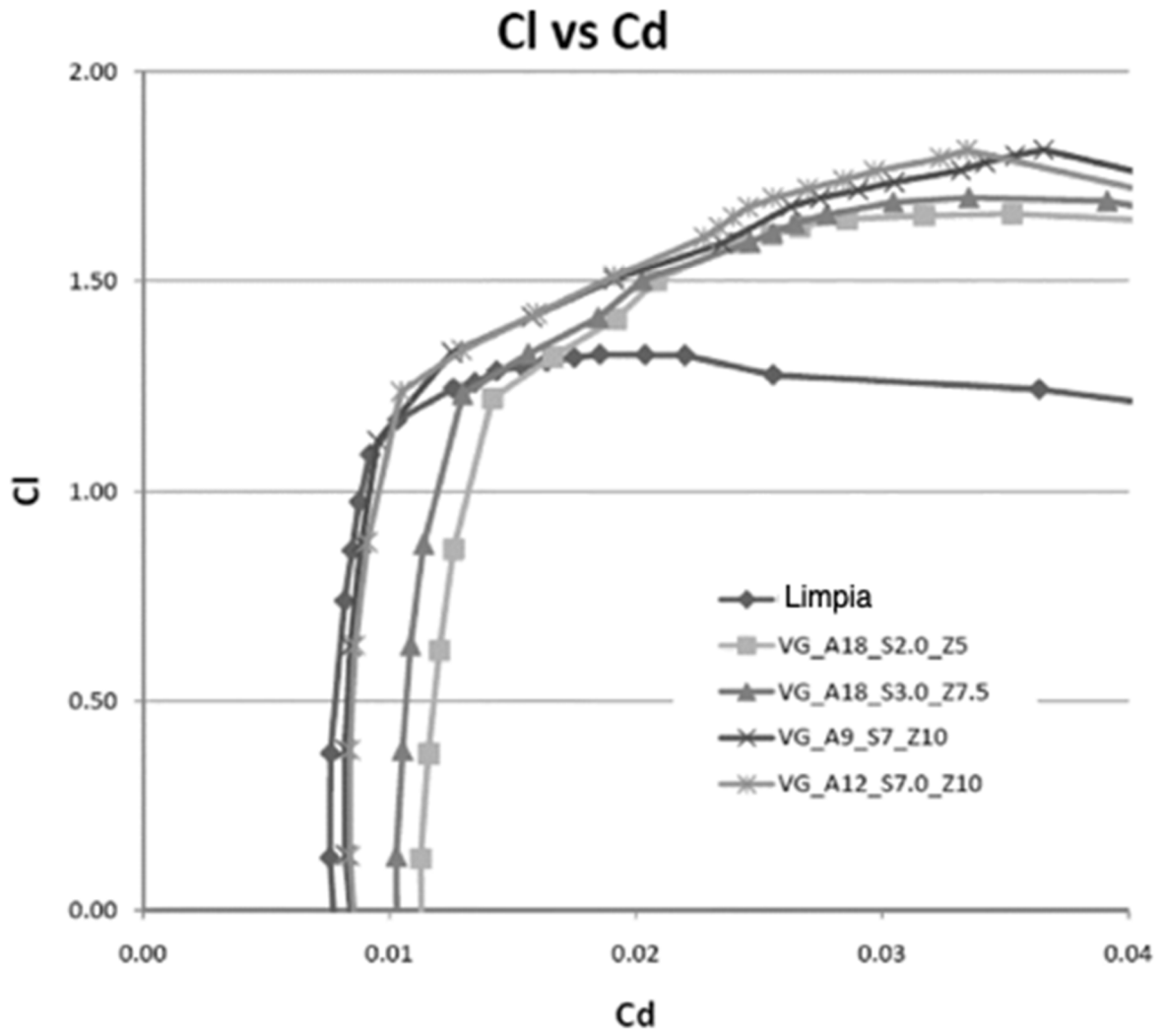


Fig. 8