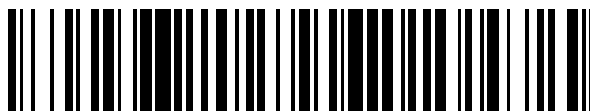


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 559**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.10.2009** **PCT/EP2009/064084**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.06.2010** **WO10066500**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2009** **E 09737464 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2017** **EP 2368034**

54 Título: **Pala de turbina eólica que tiene un dispositivo de guía de flujo con altura optimizada**

30 Prioridad:

12.12.2008 EP 08171533

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

10.11.2017

73 Titular/es:

**LM WIND POWER A/S (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**LENZ, KAJA;
FUGLSANG, PETER y
PIRAGALATHALWAR, SUDHAKAR**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 641 559 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

Pala de turbina eólica que tiene un dispositivo de guía de flujo con altura optimizada

La presente invención se refiere a una pala para un rotor en una turbina eólica que tiene un eje de rotor sustancialmente horizontal, dicho rotor comprende un concentrador, del que se extienden las palas sustancialmente en una dirección radial cuando se montan al concentrador, la pala tiene un dirección longitudinal con un extremo de punta y un extremo de raíz y una dirección transversal, en el que la pala comprende adicionalmente: 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, una cuerda que tiene una longitud de cuerda de que se extiende entre ellos, el contorno perfilado cuando se impacta mediante un flujo de aire incidente genera una elevación, en el que el contorno perfilado se divide en: una región de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico más cercano al concentrador, una región aerodinámica que tiene un perfil que genera elevación más lejos del concentrador y una región de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica, 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 del perfil que genera elevación de la región aerodinámica.

Idealmente, una pala de turbina eólica de tipo aerodinámica se forma como un ala típica de aeroplano, en el que el ancho de plano de cuerda de la pala, así como la primera derivada de la misma aumenta continuamente cuando se reduce la distancia desde el concentrador. Esto resulta en la pala, idealmente, se ensancha comparativamente en la vecindad del concentrador. Esto de nuevo resulta en problemas cuando se tiene que montar la pala del concentrador, más aun, esto provoca grandes cargas durante la operación de la pala, tal como cargas de tormenta, debido a la gran área de superficie de la pala.

Por lo tanto, con los años, la construcción de palas se ha desarrollado hacia una forma, en la que la pala consiste de una región de raíz más cercana al concentrador, una región aerodinámica que comprende un perfil de generación de elevación más lejano del concentrador y una región de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica. La región aerodinámica tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de elevación, mientras que la región de raíz tiene sustancialmente sección transversal circular, que reduce las cargas de tormenta y hace más fácil y seguro montar la pala al concentrador. El diámetro de la región de raíz es preferiblemente constante a lo largo de la región de raíz completa. Debido a la sección transversal circular, la región de raíz no contribuye a la producción de energía de la turbina eólica y, de hecho, reduce esto un poco debido al arrastre. Como lo sugiere el nombre, la región de transición tiene una forma que cambia gradualmente desde la forma circular de la región de raíz hasta el perfil aerodinámico de la región aerodinámica. Normalmente, el ancho de la pala en la región de transición aumenta sustancialmente linealmente cuando aumenta la distancia desde el concentrador.

En cuanto a las palas, por ejemplo, para turbinas eólicas tienen que ser más grandes y más grandes con el paso del tiempo y ahora pueden ser de más de 60 metros de largo, la demanda para el desempeño aerodinámico optimizado ha aumentado. Las palas de las turbinas eólicas se diseñan para que tengan una vida útil operativa de por lo menos 20 años. Por lo tanto, incluso pequeños cambios al desempeño general de la pala pueden con el tiempo de una pala eólica acumular un alto rendimiento de ganancias financieras, que sobrepasa los costes de fabricación adicionales con referencia a dichos cambios. Las áreas principales para investigación se han dirigido en muchos años hacia el mejoramiento de la región aerodinámica de la pala, pero durante años recientes, se han identificado más y más el foco hacia mejorar el desempeño aerodinámico de la región de raíz y también la región de transición de la pala.

El documento WO2007/065434 divulga una pala en el que proporciona la región de raíz con protuberancias y/o proyecciones con el fin de reducir el arrastre desde esta parte de la pala.

El documento WO2007/045244 divulga una pala, en la que la región de la raíz y la región de transición se diseñan con el fin de que tengan por lo menos dos perfiles aerodinámicos separados con el fin de aumentar la elevación de estas regiones.

El documento WO2007/118581 divulga una pala, en el que la parte interna de la pala está provista con dispositivos guía de flujo sobre el lado de presión de la pala con el fin de retardar la separación del flujo de aire y aumentar el desempeño aerodinámico de la pala.

El documento WO02/08600 divulga una pala que comprende una parte de conexión para conexión al concentrador de una turbina eólica, en el que la parte de conexión se proporciona con una nervadura que se proyecta desde la parte de conexión, aumentando por lo tanto la eficiencia general de la turbina eólica.

Es un objeto de la invención obtener una nueva pala, y que supera o alivia al menos una de las desventajas de la técnica anterior o que proporciona una alternativa útil.

De acuerdo con la invención, la pala está provista con las características de la reivindicación 1, que incluyen entre otras características, un dispositivo guía de flujo agregado al contorno de perfil de la pala sobre el lado de presión de

la pala, el dispositivo guía de flujo tiene una superficie de entrada de flujo con un punto de partida unido al contorno de perfil y un punto de extremo ubicado a una distancia desde el contorno de perfil de la pala, el punto de extremo tiene una distancia mínima hasta el contorno de perfil de la pala, en el que el dispositivo guía de flujo se extiende a lo largo de por lo menos una parte longitudinal de la presente invención y se dispone con el fin de generar una separación de flujo de aire a lo largo de por lo menos una parte longitudinal central del dispositivo guía de flujo desde el lado de presión de la pala en un punto entre el dispositivo guía de flujo y el borde de salida de la pala, en el que la pala es impactada por el flujo de aire incidente, en el que el dispositivo de guía de flujo el por lo menos la parte longitudinal central se dispone con el fin de que el punto de extremo tenga una posición de cuerda relativa, vista desde el borde de ataque de la pala, que se ubica en un intervalo entre el 40% y el 92% y la superficie de flujo de entrada en por lo menos la parte longitudinal central se forma de tal manera que, para cada sección transversal, la distancia mínima desde el punto de extremo hasta el contorno de perfil tiene por lo menos 10% de un espesor máximo del contorno de perfil en esa sección transversal.

De acuerdo con lo anterior, se observa que la altura relativa del dispositivo de guía de flujo tiene por lo menos 10% del espesor de perfil máximo local para todas secciones transversales en la porción longitudinal central del dispositivo de guía de flujo, que es significativamente mayor que los dispositivos de guía de flujo convencionales. El dispositivo de guía de flujo se monta hacia la parte interna de la pala, es decir, la parte más cercana al concentrador, y particularmente a la región de transición de la pala. La energía producida desde esta parte de la pala es muy pobre, pero fijar uniendo un dispositivo de guía de flujo guiando de acuerdo con la invención aumenta la elevación significativamente en esta sección de la pala en un ángulo de flujo de entrada que rigen para esta sección. El dispositivo de guía de flujo funciona como una obstrucción al flujo sobre el lado de presión del perfil. Esta obstrucción es resultante en una mayor presión después que el dispositivo de guía de flujo, es decir entre el dispositivo guía de flujo y de borde de salida de la pala de turbina eólica, debido a una separación del flujo. Después el dispositivo de guía de flujo, es decir entre el dispositivo de guía de flujo y de borde de salida de la pala, ocurre una separación de flujo de aire. Por lo tanto, el aumento en la altura del dispositivo de guía de flujo también aumenta el arrastre del segmento de pala particular significativamente. Sin embargo, experimentos han mostrado sorprendentemente que el dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención a pesar de aumentar el arrastre mejora la relación elevación a arrastre general de hasta el 10% o más en comparación con dispositivos guía de flujo convencionales, en los que la altura relativa es sustancialmente menor del 10%. Un estimado realista de la mejora de desempeño potencial es 1-1.5% de la energía anual producida en comparación con turbinas eólicas convencionales sin dichos dispositivos guía de flujo. Cuando se ve sobre el tiempo de vida de un rotor de turbina eólica esto proporciona un beneficio económico sustancial en comparación con los costes de fabricación adicionales que se refieren a la fabricación de las palas con dichos dispositivos guía de flujo.

La distancia mínima se define como la distancia desde el punto de extremo de la superficie de flujo de entrada hasta el contorno de perfil a lo largo de una normal hacia el contorno de perfil. De esta manera, la distancia mínima corresponde al radio de un círculo con un centro en el punto de extremo de la superficie de flujo de entrada y toca solamente un único punto del contorno de perfil de la pala.

La posición de la cuerda relativa corresponde a la distancia desde el borde de ataque (a lo largo de la cuerda) dividido por la longitud de la cuerda de la sección particular del perfil de contorno. De esta manera, una posición de cuerda relativa se refiere a un punto del dispositivo guía de flujo proyectado sobre la cuerda.

De acuerdo con la invención, la distancia mínima desde el punto de extremo hasta el contorno de perfil es de por lo menos 15%, 16%, 17%, 18%, 19%, 20%, 21%, 22%, 23%, 24% o 25% del espesor máximo del contorno de perfil. A este respecto se ha encontrado sorprendentemente que aumentar la altura relativa del dispositivo guía de flujo de acuerdo con estas alturas aumenta el rendimiento de energía de la pala aún más.

Debido a consideraciones de fabricación, la distancia mínima desde el punto de extremo del contorno de perfil es ventajosamente menor que o igual al 50%, 45%, 40%, 35% o 30% del espesor máximo del contorno de perfil.

De acuerdo con una realización preferida, la superficie de flujo de entrada en por lo menos la parte longitudinal central del dispositivo guía de flujo, se forma de tal manera que, para cada sección transversal, una tangente punto del punto de extremo hacia la superficie de flujo de entrada en el punto de extremo cruza el contorno de perfil en un punto de cruce, en el que el contorno de perfil tiene una tangente de perfil al contorno de perfil, y en el que un ángulo (a) entre la tangente de perfil y la tangente de punto de extremo tiene por lo menos 45 grados. Sin embargo, es claro que el aumento del "ángulo de liberación" del flujo de aire implica que el arrastre del segmento de pala particular también aumenta significativamente. Sin embargo, los experimentos han mostrado sorprendentemente que el flujo de dispositivo guía de acuerdo con esta realización, a pesar del aumento en arrastre, mejora la relación general a arrastre en por lo menos el 5% dentro del alcance medida longitudinal del dispositivo guía de flujo en comparación con dispositivos guía de flujo convencionales, en los que dicho ángulo es substancialmente menor de 45 grados. De esta manera, el aumento de la relación elevación a arrastre mejora el desempeño general del rotor de turbina eólica aún más, y el aumento de elevación solo reduce el ángulo de flujo de entrada local, limitando en algo el tamaño de la región de flujo separada del lado de succión. Cabe entender que la tangente de punto de extremo y la tangente del perfil forman más de un ángulo. De la siguiente descripción detallada, es claro que el ángulo se refiere al ángulo

entre la parte exterior de la tangente de punto de extremo y la parte de la tangente de perfil, que se extienden hacia el borde de ataque de la pala. En otras palabras, el ángulo al que se hace referencia se ubica en un cuadrante externo al perfil de pala más cercano al borde de salida de la pala. Las dos tangentes forman un ángulo agudo y un ángulo obtuso (excepto para cuando son mutuamente perpendiculares). De esta manera, es claro que es el ángulo agudo, el que tiene por lo menos 45 grados.

De acuerdo con una realización ventajosa, el ángulo entre la tangente de perfil y la tangente de punto de extremo tiene por lo menos 50 grados, o por lo menos 55 grados o por lo menos 60 grados. El ángulo puede ser de hasta 90 grados. Preferiblemente, el ángulo se encuentra en un intervalo entre 60 a 90 grados, que se ha encontrado sorprendentemente proporcionar la mejor eficiencia a pesar del alto grado de separación y aumento de arrastre. La relación de elevación a arrastrar se ha encontrado que es sustancialmente constante dentro de dicho intervalo.

De acuerdo con otra realización ventajosa, una línea media de la superficie de flujo de entrada forma un segundo ángulo con la cuerda, el segundo ángulo tiene por lo menos 25 grados, o por lo menos 30 grados, o por lo menos 35 grados. El segundo ángulo puede ser un parámetro de diseño complementario al ángulo entre la tangente de punto de extremo y la tangente de perfil, o puede ser un parámetro de diseño alternativo. De acuerdo con una realización ventajosa, la superficie de flujo de entrada se alinea sustancialmente a lo largo de una línea que forma un ángulo con la cuerda que tiene por lo menos 25 grados, o por lo menos 30 grados, o por lo menos 35 grados. De acuerdo con lo anterior, la tangente de punto de extremo también forma un ángulo con la cuerda que tiene por lo menos 25 grados, o por lo menos 30 grados, o por lo menos 35 grados, si la superficie de flujo de entrada es recta. La línea media corresponde a una línea recta ajustada a la superficie de entrada o una tangente promedio a la superficie de flujo de entrada. De esta manera, se observa que la superficie de flujo de entrada en promedio forma un segundo ángulo de por lo menos 25 grados con la cuerda. De nuevo, cabe observar que el segundo ángulo se refiere al ángulo agudo formado entre la línea media y la cuerda.

De acuerdo con otra realización ventajosa, la posición relativa de la cuerda del punto de extremo vista desde el borde de ataque de la pala, se ubica en un intervalo entre el 75% y 92%, y en el que un ángulo de ataque para un punto de diseño del punto longitudinal central se ubica en un intervalo entre 15 y 25 grados, o entre 15 y 20 grados. Cuando el punto de extremo del dispositivo guía de flujo se ubica en una posición hacia atrás, es decir una posición cerca al borde de salida de la pala, se ha encontrado que aumenta el coeficiente de elevación con el aumento del ángulo de ataque hasta un ángulo de ataque de aproximadamente 25 grados, mientras que la relación de elevación a arrastre en el intervalo es sustancialmente constante.

De acuerdo aun con otra realización, la posición relativa de la cuerda del punto de extremo, visto desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo entre 40% y 80%, o entre 40% y 70%, o entre 40% y 60%. Cuando el punto de extremo del dispositivo guía de flujo se ubica en una posición hacia adelante, es decir una posición hacia el punto de sección transversal de máximo espesor y de borde de salida de la pala, se ha encontrado sorprendentemente que el coeficiente de elevación y la relación de elevación a arrastre son sustancialmente independientes del ángulo de ataque del flujo de aire que ingresa. De esta manera, el rango operativo para el ángulo de flujo de entrada se puede expandir y al mismo tiempo mantener un aumento del rendimiento de producción operativo de la pala. Adicionalmente, la pala es menos sensible a fluctuaciones en la velocidad del viento, reduciendo de esta manera las cargas sobre la pala.

De acuerdo con otra realización ventajosa, el dispositivo guía de flujo se extiende sustancialmente a lo largo de la longitud longitudinal completa de la región de transición. Por lo tanto, se mejora el índice de elevación a arrastre y la elevación en sustancialmente la región de transición no ideal completa aerodinámicamente.

En una realización preferida de acuerdo con la invención, la parte longitudinal central tiene por lo menos el 50%, 60%, 70%, 80%, o 90% del alcance longitudinal del dispositivo guía de flujo.

Experimentos han mostrado sorprendentemente que el dispositivo guía de flujo o alerón se puede mover ventajosamente hacia el punto de espesor máximo del perfil de sección transversal para bajo ángulos de ataque menores, mientras que el dispositivo guía de flujo se puede mover ventajosamente hacia el borde de salida de la pala para ángulos de ataque mayores. Sin embargo, en una pala de rotor, el ángulo de flujo se reducirá con el aumento del radio de pala debido al aumento en la velocidad rotacional local. Por lo tanto, cerca a la región de raíz, el dispositivo guía de flujo se debe mover hacia el borde de salida de la pala, y luego se debe acercar al borde de salida, cuando mira en la dirección externa, es decir, hacia la región aerodinámica de la pala. De esta manera, de acuerdo con una realización ventajosa de acuerdo con la invención, la posición relativa de la cuerda del punto de extremo, visto desde el borde de ataque de la pala, se reduce en la dirección longitudinal de la pala. De acuerdo con una realización ventajosa, la posición relativa de la cuerda del punto de extremo en una parte interna del dispositivo guía de flujo, visto desde el borde de ataque de la pala, se ubica en un intervalo entre 75% y 92%, y la posición relativa de la cuerda del punto de extremo en una parte externa del dispositivo guía de flujo se ubica en un intervalo de entre 40% y 60%. La parte interna se define como la parte del dispositivo guía de flujo más cercano al extremo de raíz de la pala o del mismo modo más cercano al concentrador. La parte externa se define como la parte dispositivo guía de flujo más cercana al extremo de punta de la pala o del mismo modo más lejano del concentrador.

De acuerdo con la invención, la superficie de flujo de entrada es cóncava.

De acuerdo con una realización, una tangente de punto de partida para la superficie de flujo de entrada en el punto de partida es sustancialmente paralela a una tangente del perfil en el punto de partida. Por lo tanto, el perfil tiene una transición de superficie lisa hacia la superficie de flujo de entrada del dispositivo guía de flujo.

- 5 De acuerdo con una realización ventajosa, el dispositivo guía de flujo tiene un ancho, en el que la relación entre el ancho y la longitud de la cuerda se reduce en la dirección longitudinal hacia el extremo de punta. Esto se puede obtener por ejemplo mediante el ancho que es sustancialmente constante en la dirección longitudinal de la pala, en razón a que la longitud de cuerda aumenta en la región de transición. Sin embargo, el ancho también se puede reducir en la dirección longitudinal de la pala.
- 10 En una realización de acuerdo con la invención, el punto de partida en por lo menos la parte longitudinal central se dispone en un área entre 55% y 88% de la longitud de la cuerda, o entre 57% y 87%, o entre 60% y 85%, visto desde el borde de ataque de la pala. En otra realización de acuerdo con la invención, el punto de extremo en por lo menos la parte longitudinal central se dispone en un área entre 70% y 90% de la longitud de la cuerda, o entre 75 y 88%, o entre 80% y 87% del borde de ataque de la pala.
- 15 En aun otra realización de acuerdo con la invención, la distancia entre el punto de extremo y el borde de salida de la pala aumenta en la dirección longitudinal hacia el extremo de punta de la pala.

De acuerdo con una realización preferida, la pala se fabrica parcialmente como una construcción de concha fabricada de un material de polímero reforzado con fibra.

- 20 En una realización ventajosa, el dispositivo guía de flujo se forma integralmente con la pala. De acuerdo con lo anterior, el dispositivo guía de flujo se puede fabricar junto con la pala, a través de por ejemplo un proceso de moldeo, tal como un proceso VARTM. En este caso, el contorno de perfil que se va a concebir como una superficie continua, lisa imaginaria se extiende desde el punto de partida desde la superficie de flujo de entrada hasta un segundo punto cerca al punto de extremo de la superficie de flujo de entrada. En otra realización ventajosa, el dispositivo guía de flujo se ajusta sobre la superficie de la pala. De esta manera, la pala y el dispositivo guía de flujo se pueden fabricar por separado y el dispositivo guía de flujo se puede ajustar a la superficie de la pala después de eso. Por lo tanto, la superficie de moldeo del molde para fabricar la pala puede tener una forma mucho más simple sin ninguna discontinuidad. Esto reduce la probabilidad de pegar la superficie de la pala a la superficie del molde y de esta manera ser dañado, cuando la pala se tiene que retirar del molde después de curado. De acuerdo con aún otra realización ventajosa, el dispositivo guía de flujo puede emerger activamente de o ser retraído hacia el contorno de perfil. El dispositivo guía de flujo se puede controlar activamente de tal manera que, dependiendo de las condiciones operativas, la pala puede funcionar con o sin el dispositivo guía de flujo que sobresale el contorno de perfil de la pala.
- 25
- 30

- 35 Como se mencionó anteriormente, el dispositivo guía de flujo se extiende preferentemente sustancialmente a lo largo del alcance longitudinal completo de la región de transición de la pala. Sin embargo, el dispositivo guía de flujo también se puede extender en la región de raíz.

- 40 De acuerdo con una realización, el dispositivo guía de flujo tiene un borde posterior con una altura de borde posterior, y en el que la altura del borde posterior en por lo menos la parte longitudinal central del dispositivo guía de flujo se reduce en la dirección longitudinal hacia el extremo de punta. Por lo tanto, se obtiene una forma simple particular que tiene una transición lisa desde la región de transición hasta la región aerodinámica de la pala, y en el que la relación entre la altura del borde de salida y el espesor del perfil se pueden mantener opcionalmente sustancialmente constantes.

- 45 De acuerdo con la invención, el dispositivo de guía de flujo tiene un borde posterior con una altura de borde posterior, y en el que la altura del borde posterior es sustancialmente constante en por lo menos la parte longitudinal central del dispositivo guía de flujo. La altura del borde posterior se puede reducir desde la parte longitudinal central hasta los extremos longitudinales de los dispositivos guía de flujo con el fin de obtener una transición suave hasta el contorno de perfil cerca a los extremos longitudinales del dispositivo guía de flujo. Las últimas dos realizaciones descritas, por supuesto, también se refieren a la distancia mínima del punto de extremo hasta el contorno de perfil.

El borde posterior del dispositivo guía de flujo se puede posicionar hacia atrás hacia el borde de salida de la pala o hacia adelante hacia el borde de ataque de la pala. El borde posterior puede ser cóncavo, recto o convexo.

- 50 De acuerdo con una realización ventajosa de la pala, la pala se diseña para operación con un ángulo de ataque de 15 a 20 grados en la parte longitudinal central de la región de transición.

- El dispositivo guía de flujo se puede diseñar de diferentes formas. Por ejemplo, se puede formar como una nervadura, una forma triangular o una forma ligeramente curva. A lo largo de la dirección longitudinal, el dispositivo guía de flujo puede cambiar su forma y su posición de cuerda. De acuerdo con una realización ventajosa, el dispositivo guía de flujo es un dispositivo de alerón. De acuerdo con otra realización ventajosa, la pala se proporciona adicionalmente con generadores de vórtice en la región de transición y/o la región de raíz de la pala. Cuando los generadores de vórtice se posicionan óptimamente juntos con el dispositivo guía de flujo, esto proporciona incluso mejor desempeño de particularmente el área de raíz de pala.
- La invención se explica en detalle adelante con referencia a una realización mostrada en los dibujos, en los que
- La figura 1 muestra una turbina eólica,
- La figura 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala de turbina eólica provista con un dispositivo guía de flujo que no está de acuerdo con la invención,
- La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico,
- La figura 4 muestra una sección transversal de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención,
- La figura 5 muestra una vista esquemática de una segunda realización de una pala de turbina eólica proporcionada con un dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención,
- La figura 6 muestra una altura de borde posterior de un primer dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención como una función de la distancia radial del concentrador,
- La figura 7 muestra la altura de borde posterior de un segundo dispositivo guía de flujo que no está de acuerdo con la invención como una función de la distancia radial del concentrador,
- La figura 8 muestra una primera forma de borde posterior para un dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención,
- La figura 9 muestra una segunda forma de borde posterior para un dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención,
- La figura 10 muestra una tercera forma de borde posterior para un dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención,
- La figura 11 muestra gráficas del coeficiente de elevación como una función del ángulo de ataque para un flujo de aire incidente,
- La figura 12 muestra gráficas de la relación de elevación a arrastre como una función del ángulo de ataque para un flujo de aire incidente,
- La figura 13 muestra parámetros adicionales para diseñar una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención,
- La figura 14 muestra una sección transversal de una pala con un dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención,
- La figura 15 muestra gráficas del coeficiente de elevación como una función de la altura de un dispositivo guía de flujo, y
- La figura 16 muestra gráficas de la relación elevación a arrastre como una función de la altura del dispositivo guía de flujo,
- La figura 17 muestra gráficas del coeficiente de elevación como una función del ángulo de ataque para un flujo de aire incidente, y
- La figura 18 muestra gráficas de la relación elevación a arrastrar como una función del ángulo de ataque de un flujo de aire incidente.
- La figura 1 ilustra una turbina eólica 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 concentrador

8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el concentrador 8, cada una tiene un rotor 16 de pala cercano al concentrador y una punta 14 de pala lejana del concentrador 8.

La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 aerodinámico de una pala típica de una turbina eólica descrita con los diversos parámetros, que se utilizan normalmente para definir la forma geométrica de una lámina aerodinámica. El perfil 50 aerodinámico tiene un lado 52 y de presión un lado 54 de succión, que, durante uso, es decir, durante la rotación del rotor, normalmente se orienta hacia el lado de barlovento y el lado de sotavento, respectivamente. La lámina 50 aerodinámica tiene una cuerda 60 con una longitud c de cuerda que se extiende entre el borde 56 de ataque y un borde 58 de salida de la pala. La lámina 50 aerodinámica 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 lámina aerodinámica varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico se da mediante una línea 62 de curvatura, que es una línea media a través del perfil 50 aerodinámico. La línea media se puede encontrar al dibujar círculos inscritos desde el borde 56 de ataque hasta el borde 58 de salida. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia de cuerda 60 se denomina la cámara f . La asimetría también se puede definir mediante el uso de parámetros denominados cámara superior y cámara inferior, que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado 54 de succión y de lado 52 de presión, respectivamente.

La figura 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica de acuerdo con la invención. La pala de turbina eólica 10 tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región 30 de raíz más cercana al concentrador, una región 34 aerodinámica o de perfil más lejana del concentrador y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 aerodinámica. La pala 10 comprende un borde 18 de ataque que se orienta en la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala se monta en el concentrador y el borde 20 de salida se orienta hacia la dirección opuesta del borde 18 de ataque.

La región 34 aerodinámica (también denominada la región de perfil) 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 más fácil y seguro montar la pala 10 al concentrador. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz es normalmente constante a lo largo del área 30 de raíz completa. La región 32 de transición tiene un perfil 42 de transición que cambia gradualmente desde la forma 40 circular o elíptica de la región 30 de raíz hasta el perfil 50 aerodinámico de la región 34 aerodinámica. El ancho de la región 32 de transición aumenta normalmente sustancialmente linealmente cuando aumenta la distancia r desde el concentrador.

La región 34 aerodinámica tiene un perfil 50 aerodinámico con una cuerda que se extiende entre el borde 18 de ataque y el borde 20 de salida de la pala 10. El ancho de la cuerda se reduce con el aumento de la distancia r desde el concentrador.

Se debe tener en cuenta que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, en razón a que la pala puede estar torcida y/o curva (es decir, predoblada), de esta manera proporciona el plano de cuerda con un trayecto curvo y/o torcido en forma correspondientemente, esto es más frecuentemente el caso con el fin de compensar la velocidad local de la pala que es dependiente del radio del concentrador.

La pala 10 de turbina eólica de acuerdo con la invención está provista con un dispositivo 70 de guía de flujo, que sobresale desde el lado de presión de la pala en la región 32 de transición de la pala.

La figura 4 muestra una sección transversal de la pala 10 de turbina eólica en la región 32 de transición. La turbina eólica en esta región comprende un contorno de perfil con un perfil 42 de transición, que gradualmente cambia desde el perfil 40 circular desde la región 32 de raíz hasta el perfil 50 aerodinámico de la región aerodinámica. El perfil de transición es desde un punto de vista aerodinámico no ideal. Se puede observar que el perfil tiene una forma lisa, de la cual el dispositivo 70 guía de flujo sobresale en el lado de presión de la pala. El dispositivo 70 guía de flujo comprende una superficie 72 de flujo de entrada con un punto 74 de partida, en el que la superficie 72 de flujo de entrada continúa sobre el contorno 42 de perfil de la pala y un punto 76 de extremo, en el que el flujo se separa del perfil. El punto 74 de inicio también se puede concebir como un punto de unión para el dispositivo 70 guía de flujo, si el dispositivo guía de flujo se retroajusta a la superficie de la pala 10. El dispositivo 70 guía de flujo comprende adicionalmente un borde 84 posterior, que se extiende desde el punto 76 de extremo hasta el contorno 42 de perfil de la pala 10. La distancia entre la superficie 72 de flujo de entrada del dispositivo 70 guía de flujo y el contorno 42 de perfil aumentan de hacia el borde de salida de la pala, de tal manera que el dispositivo guía de flujo tiene una forma de cuña. La superficie 72 de entrada de flujo puede ser sustancialmente recta o puede ser ligeramente curva como se muestra en la figura 4.

La superficie 72 de flujo de entrada se forma de tal manera que, para cada sección transversal en por lo menos una parte 71 longitudinal central de la región 32 de transición, una tangente 80 de punto de extremo a la superficie 72 de flujo de entrada en el punto 76 de extremo cruza el contorno 42 de perfil en un punto 82 de cruce, en el que el contorno 42 de perfil tiene una tangente 78 de perfil al contorno de perfil. La tangente 80 de punto de extremo y la

tangente 78 de perfil forman un ángulo de cruce mutuo α . Se debe tener en cuenta que la tangente de punto de extremo y la tangente de perfil forman más de un ángulo. De la siguiente descripción detallada, es claro que el ángulo α es el ángulo entre la parte exterior de la tangente de punto de extremo y la parte de tangente de perfil, que se extienden hacia el borde de salida de la pala. En otras palabras, el ángulo α se ubica en un cuadrante externo al perfil de pala más cercano al borde de salida de la pala. Las dos tangentes 78, 80 forman un ángulo agudo y un ángulo obtuso (excepto para cuando son mutuamente perpendiculares). De esta manera, es claro desde la descripción que es el ángulo agudo, que tiene por lo menos 45 grados.

Adicionalmente, se puede utilizar otro parámetro de diseño para el diseño del dispositivo 70 guía de flujo, y en particular la forma de la superficie 72 de flujo de entrada, así como un segundo ángulo θ , que es el ángulo entre la línea 86 media hacia la superficie 72 de flujo de entrada del dispositivo 70 de guía de flujo y una cuerda 44 hacia el contorno 42 de perfil.

El dispositivo 70 guía de flujo funciona como una obstrucción al flujo sobre el lado de presión del perfil. Esta obstrucción resulta en una mayor presión después que el dispositivo 70 guía de flujo, es decir entre el dispositivo 70 guía de flujo y el borde de salida de la pala de turbina eólica, debido a la separación del flujo de la superficie. Después el dispositivo 70 guía de flujo, es decir entre el dispositivo guía de flujo y el borde de salida de la pala 70, ocurre una separación del flujo de aire.

Cuando el ángulo α tiene por lo menos 45 grados, experimentos han mostrado que la relación de elevación a arrastre de una sección transversal de la región 32 de transición se puede aumentar significativamente en comparación con las palas de la técnica anterior con dispositivos guía de flujo similares. Esto es inesperado, en razón a que el grado de separación y de esta manera el arrastre inducido en el perfil aumenta significativamente debido al mayor "ángulo de liberación" del flujo de aire desde el dispositivo guía de flujo. Los experimentos han mostrado que incluso ángulos mayores a 60 grados y hasta de 90 grados proporcionan incluso mejoras adicionales en la relación elevación a arrastre.

En una realización que no hace parte de la invención, la altura h del borde 84 posterior del dispositivo guía de flujo se muestra en las figuras 2 y 7 que se reducen en la dirección longitudinal (o distancia radial desde el concentrador) hacia el extremo r de punta de la pala. La altura del borde 84 posterior se muestra como una función de la distancia r radial del concentrador en la figura 7. En el extremo longitudinal del dispositivo 70 guía de flujo más cercano al concentrador, el dispositivo 70 guía de flujo es redondeado o cónico con el fin de obtener una transición lisa hacia el contorno de perfil de la pala. La altura h de borde posterior corresponde a la distancia entre el punto de extremo del dispositivo guía de flujo y el contorno de perfil en una dirección perpendicular a la cuerda.

La figura 5 muestra una realización de una pala 110 de acuerdo con la invención, en la que similares numerales se refieren a partes similares de la primera realización mostrada en la figura 2. Por lo tanto, solamente se describen las diferencias entre las dos realizaciones. La realización de la figura 5 difiere en que la altura del borde 184 posterior del dispositivo 170 de guía de flujo es sustancialmente constante en la dirección longitudinal de la pala, por lo menos dentro de la región 171 central. Esto también se muestra en la figura 6. Como se muestra en la figura 6, el dispositivo 170 guía de flujo puede ser redondeado o cónico cerca a los extremos longitudinales del dispositivo 170 guía de flujo de con el fin de obtener una transición suave hacia el contorno perfilado de la pala.

La forma del borde 84, 184 posterior del dispositivo 70, 170 guía de flujo puede tener diversas formas. El borde posterior puede por ejemplo ser posicionado hacia atrás hacia el borde de salida de la pala como se muestra en la figura 8, se orienta sustancialmente transversal a la cuerda como se muestra en la figura 4, o se posiciona hacia delante hacia el borde de salida de la pala (no mostrado). El borde posterior puede ser recto como se muestra en la figura 8, cóncavo como se muestra en la figura 9, o convexo como se muestra en la figura 10.

El dispositivo 70, 170 guía de flujo de acuerdo con dos realizaciones se debe diseñar de tal manera que el ángulo tenga por lo menos 45 grados para cada sección transversal dentro de la parte central 71, 171 central del dispositivo 70, 170 guía de flujo. Adicionalmente, el dispositivo 70, 170 guía de flujo se dispone en una posición con el fin de generar una separación de flujo de aire a lo largo de por lo menos la parte 71, 171 longitudinal central del dispositivo 70, 170 guía de flujo desde el lado de presión de la pala en un punto entre el dispositivo 70, 170 guía de flujo y el borde 20, 120 de salida de la pala 10, 110, cuando la pala 10, 110 se compacta mediante el flujo de aire incidente. Cerca a los extremos longitudinales del dispositivo 70, 170 de guía de flujo las variaciones de diseño pueden caer fuera de estos parámetros de diseño. Preferiblemente, la parte 71, 171 central del dispositivo guía de flujo se extiende a lo largo de por lo menos 80% del alcance longitudinal del dispositivo 70, 170 de guía de flujo.

La figura 11 y 12 muestran graficas del coeficiente c_l de elevación y la relación elevación a arrastre c_l/c_d , respectivamente, como una función del ángulo de ataque AOA para varios ángulos A y para una altura de borde posterior constante del dispositivo guía del flujo. El perfil particular, que se ha examinado en estas mediciones, se diseña para operación con un ángulo de ataque AOA que cae dentro de aproximadamente 15 a 20 grados. Adicionalmente, la superficie de flujo de entrada es sustancialmente recta.

En la figura 11, la primera gráfica 210 describe un coeficiente de elevación c_l como una función del ángulo de ataque AOA para $\alpha = 25$ grados, la segunda gráfica 220 describe el coeficiente de elevación c_l como una función del ángulo de ataque AOA para $\alpha = 65$ grados, y la tercera gráfica 230 describe el coeficiente de elevación c_l una función del ángulo de ataque AOA para $\alpha = 85$ grados. Se puede observar que el coeficiente de elevación se aumenta significativamente dentro del diseño AOA. El coeficiente de elevación para $\alpha = 85$ grados es por ejemplo 10-12% mayor que para $\alpha = 25$ grados.

En la figura 12, la primera gráfica 240 describe una relación de elevación a arrastre c_l/c_d como una función del ángulo de ataque AOA para $\alpha = 25$ grados, la segunda gráfica 250 describe la relación elevación a arrastre c_l/c_d como una función del ángulo de ataque AOA para $\alpha = 65$ grados y la tercera gráfica 260 describe una relación de elevación a arrastre c_l/c_d como una función del ángulo de ataque AOA para $\alpha = 85$ grados. Se puede observar que la relación elevación a arrastre aumenta significativamente dentro del diseño AOA. El coeficiente de elevación para $\alpha = 85$ grados es por ejemplo aproximadamente 5% mayor que para $\alpha = 25$ grados.

Se debe tener en cuenta que el segundo ángulo θ se puede utilizar como un parámetro complementario o alternativo para diseñar el dispositivo guía de flujo. En este caso, el segundo ángulo θ debe tener por lo menos 25 grados de acuerdo con la invención. Las gráficas descritas en las figuras 11 y 12 corresponden a segundos ángulos θ de 0, 45 y 60 grados, respectivamente. En razón a que la superficie de flujo de entrada es recta, el segundo ángulo θ también corresponde al ángulo entre la tangente de punto de extremo y la cuerda.

También se ha encontrado que la altura del dispositivo guía de flujo, así como la posición de la cuerda del dispositivo de guía de flujo son relevantes para el desempeño de la pala. De acuerdo con lo anterior, se debe presentar otro parámetro de diseño se debe presentar cuando se diseña el dispositivo de guía de flujo, a saber, la y y altura del dispositivo de guía de flujo (o equivalentemente una distancia mínima d_{ep} del punto de extremo hasta el contorno de perfil de pala) y la posición c_{ep} de cuerda relativa del punto de extremo. Estos parámetros se muestran en la figura 13. De esta manera, se observa que el parámetro d_{ep} de diseño se da como la distancia desde el punto de extremo de la superficie de entrada de flujo hasta el contorno de perfil a lo largo de una normal al contorno perfilado. De esta manera, la distancia mínima corresponde al radio de un círculo con centro en el punto de extremo de la superficie de entrada de flujo y toca solamente un único punto del contorno de perfil de la pala. La altura del dispositivo guía del flujo está en lo siguiente descrito como altura relativa, que para una sección transversal dada se proporciona como la relación d_{ep}/t_{max} entre la distancia mínima del punto de extremo hasta el contorno de perfil y un espesor máximo t_{max} del contorno de perfil en esa sección transversal.

El aumento en la altura del dispositivo guía del flujo también aumenta el arrastre del segmento de pala particular significativamente. Sin embargo, los experimentos han mostrado sorprendentemente que el dispositivo guía de flujo de acuerdo con la invención, a pesar de aumentar el arrastre, mejora la elevación general y/o la relación elevación a arrastre general significativamente en comparación los dispositivos guía de flujos convencionales, en los que la altura relativa es sustancialmente menor del 10%.

Como se observa en los experimentos graficados en las figuras 11 y 12, la relación elevación a arrastre es substancialmente constante en el rango de un ángulo de liberación de 60 a 90 grados. Por lo tanto, los experimentos han mostrado que como tal es suficiente utilizar un dispositivo guía de flujo que sobresalga substancialmente normalmente desde el contorno de perfil de la pala. Dicha relación se muestra en la figura 14, en la que numerales similares corresponden a partes de las realizaciones mostradas en la figura 4, y el que se ve que el dispositivo 270 guía de flujo con sustancialmente forma de nervadura sobresale desde la superficie en el lado de succión de la pala. La superficie 272 de entrada de flujo en esta relación vista hacia el flujo de entrada o hacia el borde de ataque de la pala. El dispositivo 270 guía de flujo se puede montar a la superficie de la pala mediante el uso de primerio medios 294 de sujeción y unos segundos medios 296 de sujeción, que se pueden conectar a la pala en cualquier forma convencional, tal como al pegar o al utilizar medios de perno y tuerca. Alternativamente, puede ser suficiente utilizar una barra en ángulo con solo un único medio de sujeción

Las figuras 15-18 muestran gráficas de los coeficientes c_l de elevación la relación elevación a arrastre c_l/c_d , respectivamente, y en donde se pueden observar los efectos de variar la altura del dispositivo guía del flujo. Los experimentos se llevan a cabo en un perfil de transición que tiene una longitud acorde de 450 mm y un espesor máximo de 280 mm. Los dispositivos guía de flujo utilizados fueron nervaduras montadas al lado de presión del perfil. Los dispositivos guía de flujo se probaron en dos puntos de montaje que son 210 mm desde el borde de ataque de la pala, que corresponden a una posición del 47% de cuerdas y 410 mm del borde de ataque de la pala, que corresponde a una posición de cuerda relativa del 91%. Se utilizaron tres nervaduras diferentes que tiene una altura de 20 mm, 30 mm y 40 mm, respectivamente, que corresponden a la altura relativa de 7.1 %, 10.7%, 14.3%, respectivamente.

En la figura 15, la primera gráfica 310 describe el coeficiente de elevación c_l como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 9 grados y se monta en una posición de cuerda relativa de 47%. La segunda gráfica 315 describe el coeficiente de elevación c_l como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 27 grados y se monta en una posición de cuerda relativa de 47%. La tercera gráfica 320

describe el coeficiente de elevación c_l como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 9 grados y se monta en una posición de cuerda relativa del 91%. La cuarta gráfica 325 describe el coeficiente de elevación de c_l como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 27 grados y se monta en una posición de cuerda relativa del 91%.

- 5 La figura 16 muestra las gráficas que corresponden a la relación elevación a arrastre c_l/c_d . La primera gráfica 330 describe la relación elevación a arrastre c_l/c_d como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 9 grados y se monta en una posición de cuerda relativa del 47%. La segunda gráfica 335 describe la relación elevación a arrastre c_l/c_d como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 27 grados y se monta en una posición de cuerda relativa del 47%. La tercera gráfica 340 describe la relación elevación a arrastre c_l/c_d como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 9 grados y se monta en una posición de cuerda relativa del 91%. La cuarta gráfica 345 representa la relación elevación a arrastre c_l/c_d como una función de la altura de la nervadura para un ángulo de ataque que es de 27 grados y se monta en una posición de cuerda relativa del 91%.

- 15 En la figura 17, la primera gráfica 350 describe el coeficiente c_l de elevación como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 47% y tiene una altura relativa de 7,1%. La segunda gráfica 355 describe el coeficiente de elevación c_l como una función del ángulo de ataque para un dispositivo de guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 47% y tiene una altura relativa de 14,3%. La tercera gráfica 360 describe el coeficiente c_l de elevación como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 91% y tiene una altura relativa de 7,1%. La cuarta gráfica 365 describe el coeficiente c_l de elevación como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 91% y tiene una altura relativa de 14,3%.

- 25 La figura 18 muestra las gráficas que corresponden a la relación c_l/c_d de elevación a arrastre. La primera gráfica 370 describe la relación c_l/c_d de elevación a arrastre como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa de 47% y tiene una altura relativa de 7,1%. La segunda gráfica 375 describe la relación c_l/c_d de elevación a arrastre como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 47% y tiene una altura relativa de 14,3%. La tercera gráfica 380 describe la relación c_l/c_d de elevación a arrastre como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 91% y tiene una altura relativa de 7,1%. La cuarta gráfica 385 describe la relación c_l/c_d de elevación a arrastre como una función del ángulo de ataque para un dispositivo guía de flujo que se monta en una posición de cuerda relativa del 91% y tiene una altura relativa de 14,3%.

- 35 De la figura 15 se observa que existe un aumento del coeficiente de elevación, cuando la altura del dispositivo de guía de flujo se incrementa; Esto es independiente de la posición del dispositivo guía de flujo y en el ángulo de ataque en el flujo de entrada. Al aumentar la altura relativa del dispositivo guía de flujo de 7,1% a 14,3%, se incrementa la elevación en 15%-50% dependiendo de la posición del dispositivo y el ángulo de ataque. Para todas las posiciones de dispositivos y el ángulo operativo de ataque, la tendencia es que entre mayor sea la altura del dispositivo guía del flujo, mayor es el coeficiente de elevación. Esto también está soportado por la figura 17 y los experimentos adicionales (no mostrados) llevados a cabo por el solicitante.

- 40 También se puede ver de la figura 15 que el dispositivo guía de flujo se debe mover hacia el borde de ataque de la pala bajo condiciones operativas, en el que el ángulo de ataque del flujo de entrada es bajo. Por el contrario, el dispositivo guía de flujo se debe mover hacia el borde de salida de la pala, cuando el ángulo de ataque es alto. En una pala de rotor, el ángulo de ataque se redujera con el aumento del radio de la pala debido al aumento en la velocidad rotacional local. Por lo tanto, cerca de la región de raíz, el dispositivo guía de flujo se debe mover hacia el borde de salida de la pala, por ejemplo, cerca a la posición de cuerda relativa del 90%, y luego se debe acercar al borde de ataque, por ejemplo, cerca a la posición de cuerda relativa del 50%, cuando se observa en la dirección externa hacia la región aerodinámica.

La figura 16 muestra que aumenta la relación elevación a arrastre, cuando el dispositivo guía de flujo se mueve hacia el borde de salida de la pala independientemente de la altura del dispositivo guía de flujo.

- 50 Como se muestra en la figura 17, el coeficiente de elevación aumentara cuando aumenta el ángulo de ataque, cuando el dispositivo guía de flujo se coloca cerca al borde de salida de la pala, mientras que el coeficiente de elevación empezara a reducir para reenviar posiciones del dispositivo guías de flujo. De esta manera, dependiendo del ángulo de flujo de entrada exacto en una sección dada, existe una ubicación óptima para el dispositivo guía de flujo que producirá el máxima coeficiente de elevación posible.

- 55 La figura 18 muestra que la variación en la relación de elevación a arrastre como una función del ángulo de ataque es insignificante en comparación con el efecto de variar la altura del dispositivo guía de flujo. También se observa que el efecto de variar la altura del dispositivo guía de flujo se reduce, cuando el dispositivo guía de flujo se mueve a

una posición delantera, es decir, hacia el borde de ataque de la pala. De esta manera, el rango operativo para el ángulo de flujo de entrada se puede expandir.

La invención se ha descrito con referencia a una realización preferida. Sin embargo, el alcance de la invención no se limita a las realizaciones ilustradas, y se pueden llevar a cabo modificaciones y alteraciones sin desviarse del alcance de la invención.

5

Lista de numerales de referencia

2: turbina eólica

4: torre

6: góndola

10 8: concentrador

10: pala

14: punta de pala

16: raíz de pala

18: borde de ataque

15 20: borde de salida

30: región de raíz

32: región de transición

34: región aerodinámica

40, 42, 50: perfil/contorno de perfil

20 44: cuerda

52: lado de presión

54: lado de succión

56: borde de ataque

58: borde de salida

25 60: cuerda

62: línea de curvatura/línea media

70: dispositivo guía de flujo/alerón

71: porción longitudinal central

72: superficie de flujo entrada

30 74: punto de inicio

76: punto de extremo

78: tangente de perfil

- 80: tangente punto de extremo
- 82: punto transversal
- 84: borde posterior del dispositivo guía de flujo
- 86: línea media de la superficie de flujo de entrada
- 5 210-260: gráficas
- 294: primeros medios de sujeción
- 296: segundos medios de sujeción
- 310-385: gráficas
- a: ángulo entre la tangente de perfil y tangente de punto de extremo
- 10 c: longitud de cuerda
- c_l : coeficiente de elevación
- c_l/c_d : relación elevación a arrastre
- d_T : posición de espesor máximo
- d_F : posición de curvatura máxima
- 15 f: curvatura
- t: espesor
- T_{max} : espesor máximo del perfil de sección transversal

REIVINDICACIONES

1. Una pala (10) para un rotor de una turbina (2) eólica que tiene un eje de rotor substancialmente horizontal, dicho rotor comprende un concentrador (8), desde el que se extiende la pala (10) substancialmente en una dirección radial cuando se monta al concentrador (8), la pala tiene una dirección (r) longitudinal con un extremo (14) de punta y un extremo (16) de raíz y una dirección transversal, la pala comprende adicionalmente:
 - 5 • un contorno (40, 42, 50) de perfil que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como a u borde (18) de ataque y un borde (20) de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, el contorno de perfil, cuando es impactado por un flujo de aire incidente, genera una elevación, en el que el contorno de perfil se divide en:
 - 10 • una región (30) de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico más cercano al concentrador,
 - una región (34) aerodinámica que tiene un perfil de generación de elevación más lejano del concentrador, y
 - una región (32) de transición entre la región (30) de raíz y la región (34) aerodinámica, la región (32) de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial desde el perfil circular o elíptico de la región de raíz hasta el perfil de generación de elevación de la región aerodinámica, y en el que
 - 15 • la pala se proporciona con un dispositivo (70) de guía de flujo agregado al contorno (40, 42, 50) de perfil de la pala en el lado (52) de presión de la pala (10), el dispositivo (70) guía de flujo tiene una superficie (72) de entrada de flujo con un punto (74) de inicio unido al contorno (40, 42, 50) de contorno de perfil y un punto (76) de extremo ubicado en una distancia desde el contorno (40, 42, 50) de perfil de la pala, el punto (76) de extremo tiene una distancia mínima (d_{ep}) al contorno (40, 42, 50) de perfil de la pala,
 - 20 • el dispositivo (70) guía de flujo se extiende a lo largo de por lo menos una parte longitudinal de la región (32) de transición y se dispone con el fin de generar una separación de flujo de aire a lo largo de por lo menos una porción (71) longitudinal central del dispositivo (70) de guía de flujo del lado (52) de presión de la pala (10) en un punto entre el dispositivo (70) de guía de flujo y el borde (20) de salida de la pala (10), cuando la pala (10) es impactada por el flujo de aire incidente, en el que
 - 25 • el dispositivo (70) guía de flujo en por lo menos la porción longitudinal central se dispone de tal manera que el punto (76) de extremo tiene una posición de cuerda relativa vista, desde el borde de ataque de la pala, que se encuentra en un intervalo entre 40% y el 92%, caracterizado porque
 - 30 • la superficie (72) de flujo entrada en por lo menos la (71) parte longitudinal central se forma de tal manera que, para cada sección transversal, la distancia (d_{ep}) mínima desde el punto (76) de extremo hasta el contorno de perfil tiene por lo menos 15% de espesor máximo del contorno de perfil, y en el que la superficie (72) de flujo de entrada es cóncava, y en el que el dispositivo guía de flujo tiene un borde posterior con una altura de borde posterior, y en la altura de borde posterior es sustancialmente constante en por lo menos la parte longitudinal central del dispositivo guía de flujo.
- 35 2. Una pala de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la superficie (72) de flujo de entrada en por lo menos la parte (71) longitudinal central se forma de tal manera que, para cada sección transversal, una tangente (80) de punto de extremo hasta la superficie (72) de flujo de entrada en el punto (76) de extremo cruza el contorno (40, 42, 50) de perfil en un punto (82) trasversal, en el que el contorno (40, 42, 50) de perfil tiene una tangente (78) del perfil al contorno (40, 42, 50) de perfil, y en el que un ángulo (α) entre la tangente (78) de perfil y la tangente (80) de punto de extremo tiene por lo menos 45 grados.
- 40 3. Una pala de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el ángulo entre la tangente (78) de perfil y la tangente (80) de punto de extremo tiene por lo menos 50 grados, o por lo menos 55 grados, o por lo menos 60 grados.
4. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una línea media para la superficie (72) de flujo de entrada forma un segundo ángulo (θ) con la cuerda (44), el segundo ángulo tiene por lo menos 25 grados, o por lo menos 30 grados o por lo menos de 35 grados.
- 45 5. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la posición de cuerda relativa del punto de extremo, visto desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo entre 75% y 92%, y en el que un ángulo de ataque para un punto de diseño de la porción longitudinal central se ubica en un intervalo entre 15 y 25 grados, o entre 15 y 20 grados.

6. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la posición de cuerda relativa del punto de extremo, visto desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo entre 40% y 80%, o entre 40% y 70%, o entre 40% y 60%.
- 5 7. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo (70) de guía de flujo se extiende a lo largo de substancialmente la longitud longitudinal completa de la región (32) de transición.
8. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la parte (71) longitudinal central tiene por lo menos 50%, 60%, 70%, 80% o 90% del alcance longitudinal del dispositivo (70) de guía de flujo.
9. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo (70) de guía de flujo se extiende en la región (30) de raíz.
- 10 10. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la parte de cuerda relativa del punto de extremo, visto desde el borde de ataque de la pala, se reduce en la dirección longitudinal de la pala.
11. Una pala de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la posición de cuerda relativa del punto de extremo en una parte interna del dispositivo guía de flujo, visto desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo entre 75% y 92%, y la posición de cuerda relativa del punto de extremo en una parte externa del dispositivo guía de flujo se encuentra en un intervalo de entre 40% y 60%.
- 15 12. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo (70) guía del flujo se forma como una protuberancia de nervadura desde el contorno de perfil de la pala, por ejemplo, substancialmente normalmente hasta el contorno de perfil de la pala.
13. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo (70) de guía de flujo se forma integralmente con la pala (10), alternativamente el dispositivo (70) guía de flujo se ajusta sobre la superficie de la pala (10).
- 20 14. Una turbina eólica que comprende un número, preferiblemente dos o tres, de palas de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.

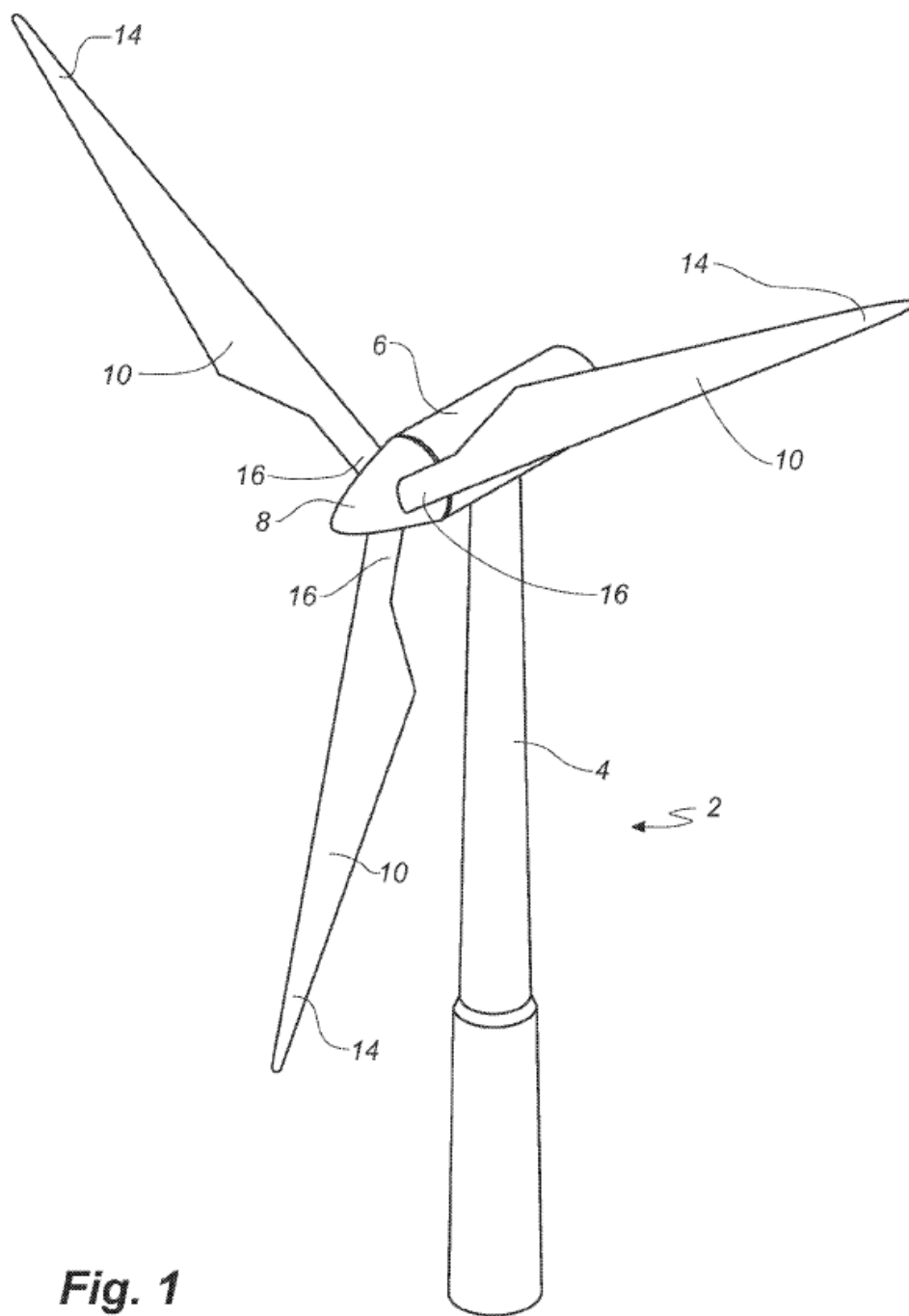
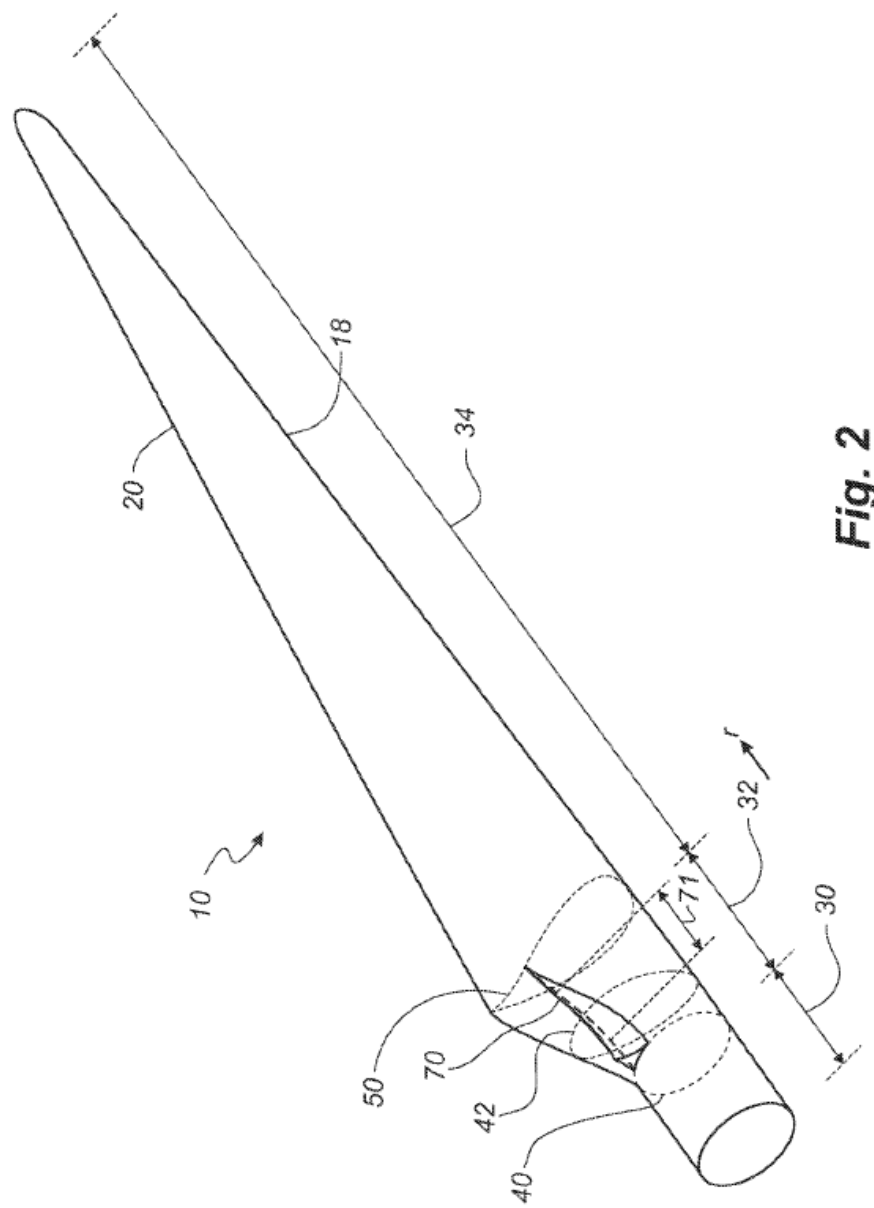


Fig. 1



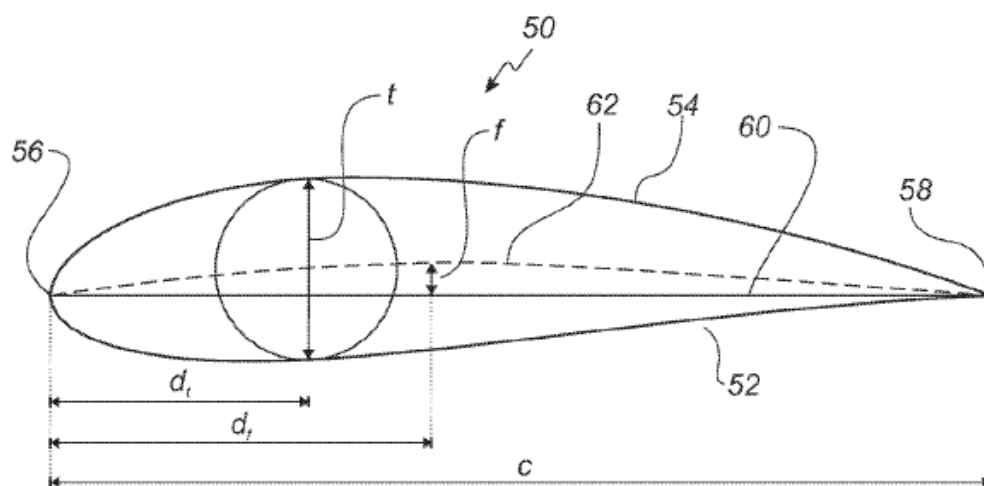


Fig. 3

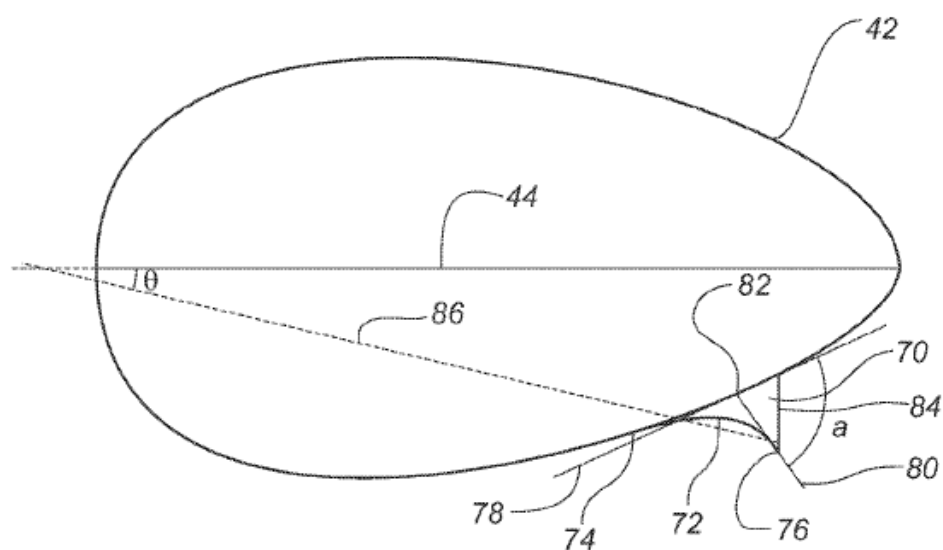


Fig. 4

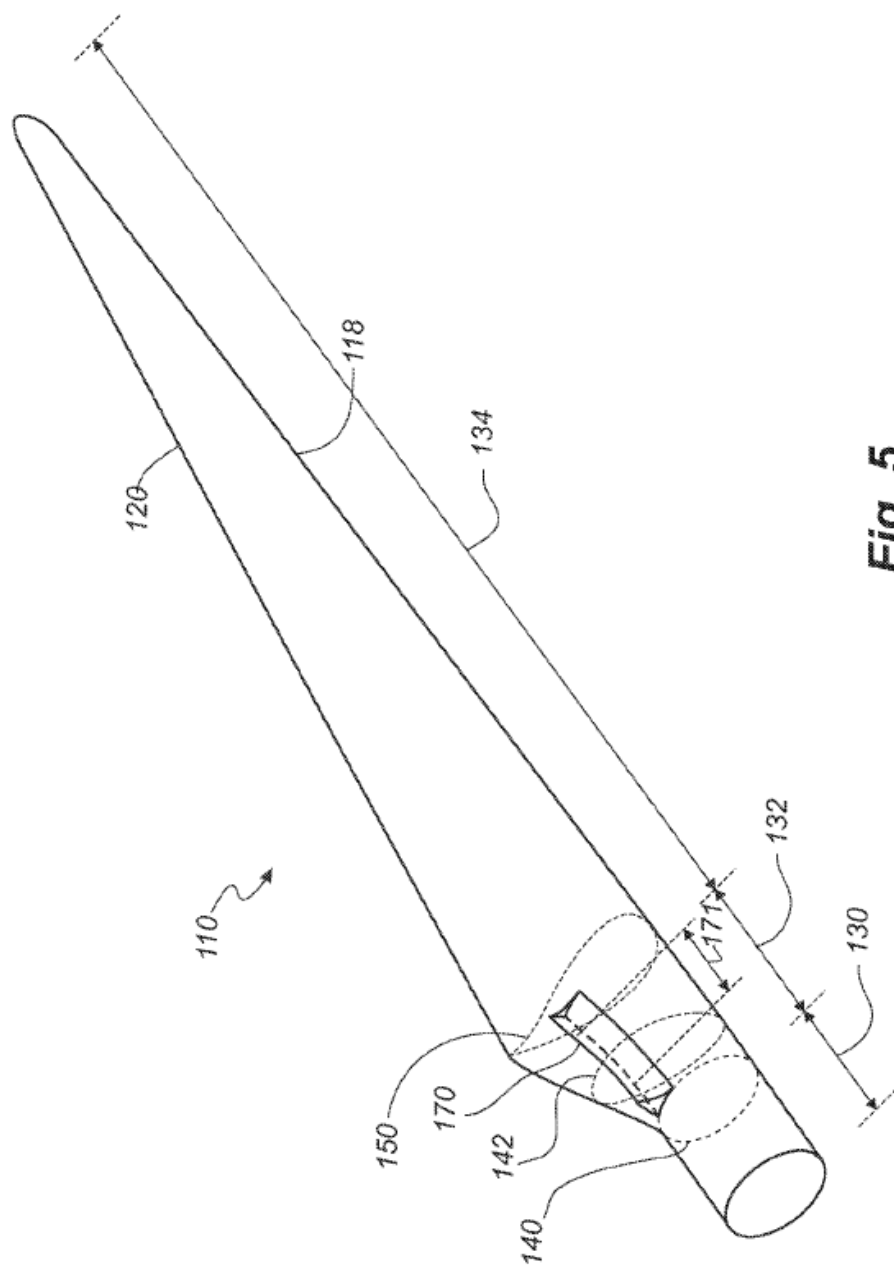


Fig. 5



Fig. 6

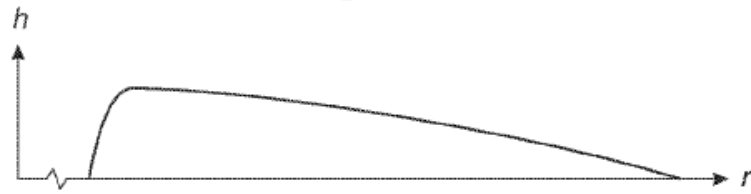


Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10

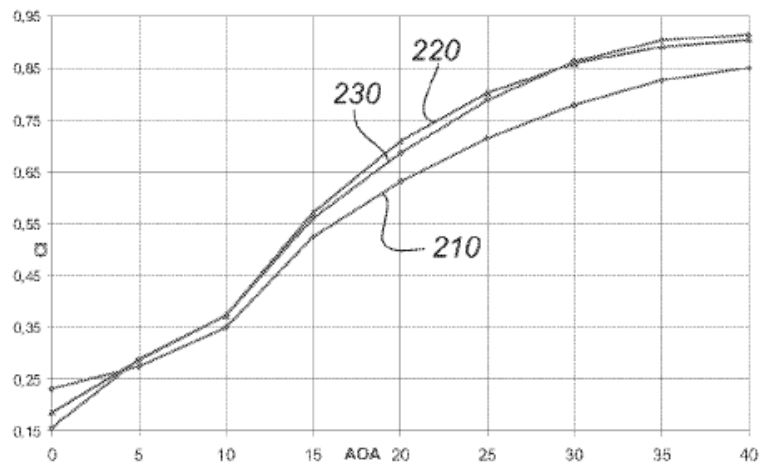


Fig. 11

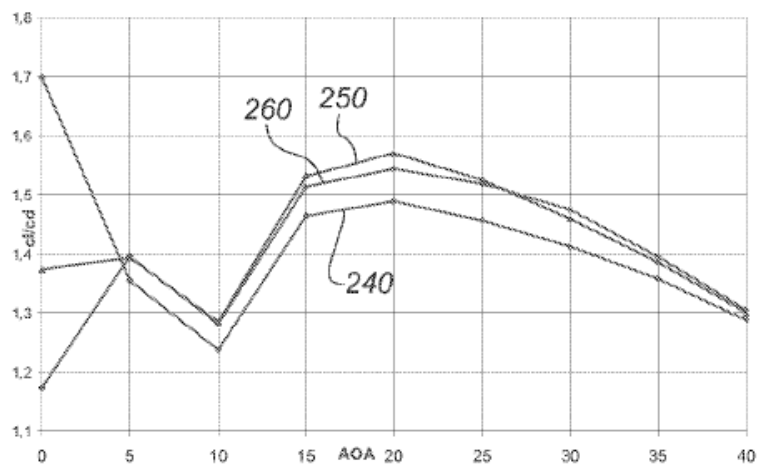


Fig. 12

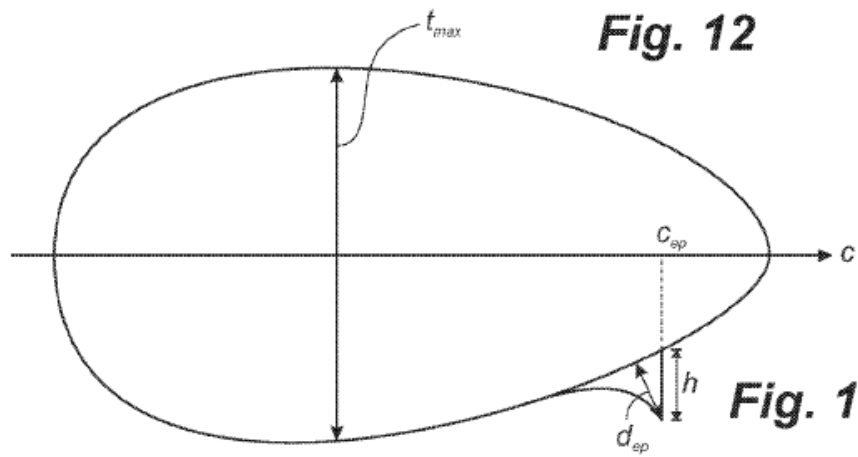


Fig. 13

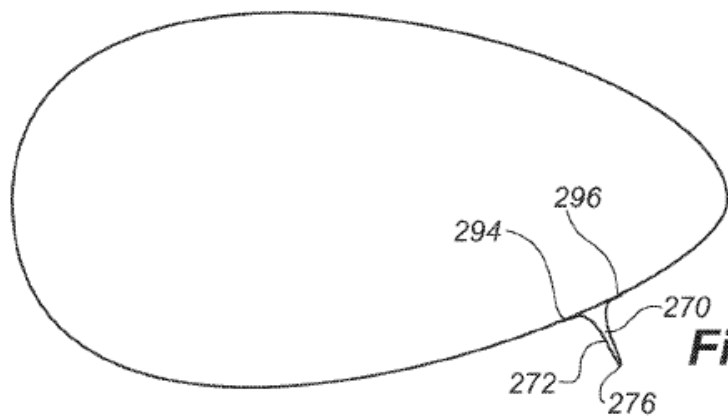


Fig. 14

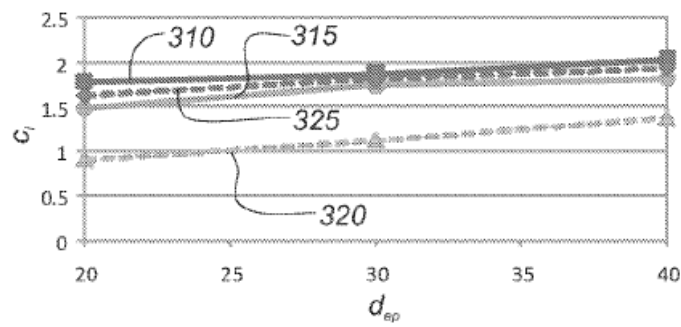


Fig. 15

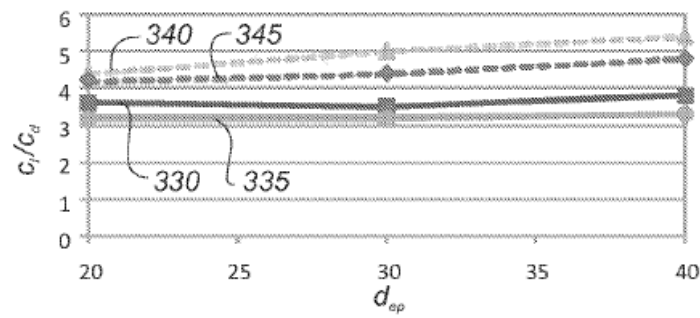


Fig. 16

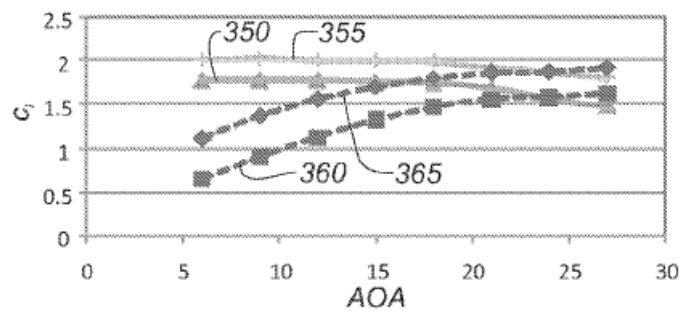


Fig. 17

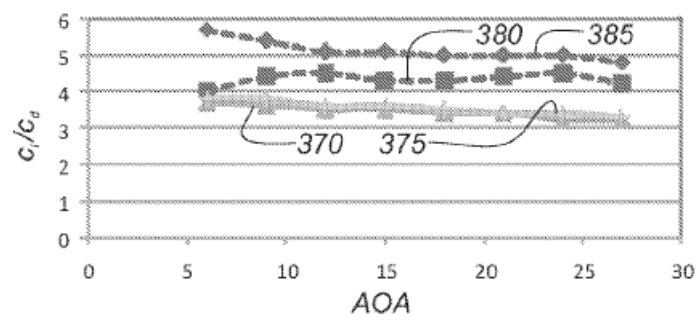


Fig. 18