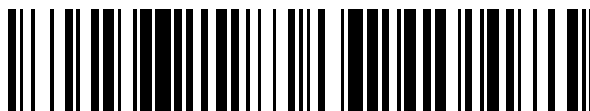


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 633**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2014 PCT/EP2014/000381**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14127896**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2014 E 14705281 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 2959161**

54 Título: **Pala de rotor de una turbina eólica**

30 Prioridad:

19.02.2013 DE 102013202666

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

19.12.2019

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**PETSCHKE, MARC y
KORJAHN, CHRISTOPH MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 735 633 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 rotor de una turbina eólica

La invención se refiere a una pala de rotor de una turbina eólica con un perfil que presenta un lado de succión y un lado de presión, en el que el perfil comprende una línea del esqueleto y una cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida del perfil, en el que la línea del esqueleto al menos en secciones se extiende por debajo de la cuerda en la dirección del lado de presión y en el que el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 45%.

A partir del documento DE 10 2008 003 411 A1, se conoce el perfil de una pala de rotor de una turbina eólica, así como la familia correspondiente o múltiples perfiles. Los perfiles de ala o los perfiles descritos en este documento presentan un borde de salida romo, un lado de succión sustancialmente ovalado y un lado de presión sustancialmente en forma de S.

También se conocen otros perfiles. En particular, se conocen también perfiles de baja velocidad, que se emplean cerca de la raíz de la pala del rotor o cerca del centro de la turbina eólica.

A partir de los "Perfiles de baja velocidad" de Dieter Althaus, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig / Wiesbaden, 1996, se fabrica un perfil conocido de un gran grosor relativo que logra un perfil conocido en sí mismo de un grosor relativo bajo al cortar el borde de salida o un aumento en el espesor relativo requerido hasta los valores de espesor que se necesitan cerca de la raíz de la pala. En este caso, se puede mencionar como ejemplo, el documento FX 77-W-500 que se describe en las páginas 162 a 163 del mencionado libro. Con un número de Reynolds de 2,75 millones en estado limpio, este perfil alcanza un coeficiente de sustentación máximo de $C_a = 1,6$ en un ángulo de ajuste de 10° y en un estado contaminado, es decir, turbulento, un C_a máximo de 0,8 en un ángulo de ajuste de 4° . El documento FX 77-W-500 tiene un espesor de perfil relativo del 50%.

En el contexto de la presente invención, el término ángulo de ajuste o ángulo de incidencia se entiende como un ángulo del viento aparente que corre hacia la cuerda del perfil. Para cualquier definición, se hace referencia en particular al libro de texto de Erich Hau "Plantas de energía eólica", 4ª edición, 2008, especialmente la página 126 f.

Los perfiles conocidos con un gran espesor de perfil relativo, como, por ejemplo, el FX 77-W-500, aunque en estado limpio poseen un coeficiente de sustentación aceptable c_a , el coeficiente de sustentación máximo cae claramente con un flujo turbulento, es decir, en el estado contaminado. También se modifica significativamente el ángulo de ajuste aerodinámico, en el que se alcanza el coeficiente de sustentación máximo en el estado contaminado, comparado con el ángulo de ajuste en el que el coeficiente de sustentación máximo se alcanza en el estado limpio. Este comportamiento, a saber, la pequeña sustentación en contaminación con una gran modificación en el ángulo de ajuste para el máximo coeficiente de sustentación, es muy desfavorable para las plantas de energía eólica. Si se emplea como ángulo de ajuste de disposición, es decir, el ángulo de ajuste, que se utiliza en la disposición de la pala del rotor en el cálculo del perfil respectivo, el ángulo o un ángulo algo más pequeño en el que el perfil limpio posee el coeficiente de sustentación máximo, lo que es oportuno, ya que la profundidad de la pala debería mantenerse pequeña, el coeficiente de sustentación entonces disminuye en el estado contaminado a una fracción del valor limpio. El perfil FX 83-W-500 tiene solo propiedades aerodinámicas moderadas debido al borde de salida grueso, incluso con flujo laminar. En el caso de flujo turbulento, todavía presenta altos coeficientes de sustentación, pero entonces tiene una tasa de planeo relativamente pobre. Además, el espesor máximo de este perfil es aproximadamente el 80% de la longitud del perfil o la longitud de la cuerda, lo que estructuralmente es menos provechoso para un buen ajuste de la pala del rotor. Por lo tanto, con el perfil FX 83-W-500 solo puede producirse una distancia relativamente pequeña de las correas principales en una pala, lo que provoca las correspondientes reducciones en la factibilidad de construcción y el peso de la pala de una pala del rotor.

El documento EP 1 944 505 B1 describe una pala de rotor de una turbina eólica con un perfil que presenta un lado de succión y un lado de presión, en el que el perfil comprende una sección interna del perfil y una sección externa del perfil, en el que la sección interna del perfil es comparativamente más gruesa que la sección externa del perfil, en el que el espesor de la sección interna del perfil alcanza entre el 30% y el 80% de la longitud de la cuerda de la sección interna del perfil y la sección interna del perfil está provista de generadores de vórtice, en el que los generadores de vórtice en el lado de succión de la sección interna del perfil están dispuestos entre el 8% y el 12% de la longitud de la cuerda, medido desde el borde de ataque de la sección de perfil. De este modo se lograría que se dé un rendimiento aerodinámico suficiente, al mismo tiempo que se le daría una alta capacidad de carga.

El documento DE 10 2008 052 858 A1 de la solicitante describe ciertos perfiles de una pala de rotor y una pala de rotor correspondiente de una planta de energía eólica, en la que los perfiles producen muy buenas propiedades aerodinámicas.

En particular, los perfiles son relativamente gruesos y presentan un alto coeficiente de sustentación. Con el fin de lograr aún mayores coeficientes de sustentación para las palas del rotor de la turbina eólica, en ciertas circunstancias se podría tomar una medida que se emplea en las alas de los aviones. Por lo tanto, se conocen, por ejemplo, coeficientes de sustentación muy altos de la publicación "Fluidynamic lift", Information on Lift and its

Derivatives, in Air and in Water, presented by Dr.-Ing. S.F. Hoerner 1985, pp. 5-12 y 5-13 y también 6-2 y 6-3, Hoerner Fluid Dynamics, Bakersfield, CA 93390. En este caso, se consiguen altos coeficientes de sustentación de hasta más de 3,0 al proporcionar aletas que se unen al ala, en particular aletas ranuradas, y aletas que sobresalen del ala, en particular aletas ranuradas, que a su vez están respectivamente separadas de la verdadera ala.

- 5 El documento US 2011/0142664 A1 da a conocer palas de rotor de turbinas eólicas con los correspondientes generadores de vórtices.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una pala de rotor de una turbina eólica, que presente una sustentación muy alta con buenas propiedades aerodinámicas.

- 10 Este objetivo se logra por medio de una pala del rotor de una turbina eólica con un perfil que presenta un lado de succión y un lado de presión, en el que el perfil comprende una línea del esqueleto y una cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida, en el que el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 45%, en el que en el lado de succión de la pala del rotor en el área del perfil está dispuesto al menos un generador de vórtice, en el que el perfil está provisto con un borde de salida romo, en el que el espesor del borde de salida está entre el 15% y el 70% de la longitud de la cuerda.

- 15 Al proporcionar una pala de rotor de acuerdo con la presente invención que tiene un perfil aerodinámicamente optimizado con propiedades aerodinámicas correspondientemente buenas, en particular, un alto coeficiente de sustentación, con el uso adicional de al menos un generador de vórtice, que, en particular, también puede designarse como generador de torbellinos, sorprendentemente, sin emplear la tecnología conocida de la industria aeronáutica (aletas ranuradas) mencionada anteriormente, se obtuvieron coeficientes de sustentación
20 extremadamente altos de más de 3,0 en ángulos de ajuste correspondiente grandes. Sorprendentemente, también mejora la tasa de planeo a pesar de la mayor resistencia lograda por los generadores de vórtice. Por ejemplo, la tasa de planeo aumenta hasta en un 100%.

Preferiblemente, la línea del esqueleto se extiende al menos en secciones por debajo de la cuerda en la dirección del lado de presión. Preferiblemente, el perfil tiene un espesor de perfil relativo de más del 49%.

- 25 La pala del rotor de acuerdo con la presente invención hace posible el diseño de una pala del rotor que sea muy resistente a la contaminación y que, al hacer posible mayores ángulos de ajuste aerodinámicos, reduce un giro desfavorable en la técnica de fabricación de la pala del rotor en la raíz de la pala del rotor, de este modo hace posible de nuevo una mejor compatibilidad estructural al proporcionar una correa menos torcida de la pala del rotor.

- 30 Por medio de la presente invención es posible, en particular, mientras aún se mantiene una buena tasa de planeo de la pala del rotor o de las secciones correspondientes de la pala del rotor con un gran espesor, aumentar significativamente la sustentación de la pala del rotor en esta sección.

- 35 Al utilizar los perfiles correspondientes con generadores de vórtice en las correspondientes palas de rotor de acuerdo con la presente invención, el peso y, por lo tanto, el momento estático de la pala de rotor pueden reducirse significativamente en comparación con los diseños convencionales. Dado que el momento estático en las palas de rotor de más de 50 m es la variable esencial que limita la disposición, con la ayuda de la presente invención puede aumentarse el máximo diámetro de rotor posible para un momento estático, mientras se mantiene una alta eficiencia del rotor. Esto conduce a un aumento significativo en el rendimiento con estructuras de fijación de pala determinadas y dimensionadas proporcionalmente. En este caso, en particular, no se utilizan aletas ranuradas múltiples como, por ejemplo, las aletas de tipo Fowler, que son conocidas en la tecnología aeronáutica.

- 40 Preferiblemente, el generador de vórtice o al menos un generador de vórtice está dispuesto antes del o directamente en el punto de ruptura del flujo de aire en un ángulo de ajuste predeterminado. El al menos un generador de vórtice se trata preferiblemente de una especie de ala o un par de alas que sobresale sustancialmente de forma ortogonal de la superficie de la pala del rotor y genera un vórtice en el flujo de aire. Como resultado, se mezcla la capa límite en la superficie de la pala del rotor, por lo que se genera una mayor sustentación.

- 45 La capa límite se trata preferiblemente de una capa de aire alrededor de la pala del rotor o en la pala del rotor que se ve afectada por la fricción del aire en la pala del rotor, es decir, es más lenta que la velocidad del aire ambiente. Por medio de los vórtices o del vórtice generado a través de al menos un generador de vórtice, se transporta flujo de alta energía, es decir, flujo de alta velocidad desde el exterior, al área del flujo frenado por la fricción en la pared de la pala del rotor, por medio de lo cual se mezcla la capa límite. Como resultado, la capa límite permanece estable por más tiempo y la separación del flujo se desplaza en dirección del borde de salida de la pala del rotor o hacia ángulos de ajuste más grandes. Como resultado, se logra un flujo mejorado alrededor de la pala del rotor. Preferiblemente, la posición de al menos un generador de vórtice se encuentra poco antes de la posición o en la posición de la ruptura de un perfil correspondiente sin generador de vórtice en el ángulo de ajuste deseado.

- 55 Preferiblemente, se prevé un perfil con un borde de salida romo, en el que el espesor del borde de salida es de entre el 15% y el 70% de la longitud de la cuerda. De este modo puede lograrse un coeficiente de sustentación particularmente alto. En particular, la tasa de planeo de los perfiles aumenta también al proporcionarse generadores de vórtice. Por ejemplo, en un perfil con una ubicación del espesor máximo del 50%, la provisión de

generadores de vórtice produce un aumento de la tasa de planeo de 17 a 32. Esto corresponde a un incremento del 88%. En un perfil con un espesor del 70%, la provisión de generadores de vórtice aumenta la tasa de planeo de 7 a 10, lo que representa un aumento del 43%.

5 De acuerdo con la presente invención, el al menos un generador de vórtice está dispuesto en un área del 20% al 28% de la profundidad de perfil del perfil o de la longitud de la cuerda. Esta especificación del área se entiende medida desde el borde de ataque de la pala del rotor. De este modo puede lograrse una sustentación particularmente alta.

10 Preferiblemente, cuando el al menos un generador de vórtice comprende un par de alas, en el que en particular las alas del par de alas están dispuestas en un ángulo entre sí que se encuentra en un rango de 10° a 50°, en particular, de 20° a 40°, en particular, de 30°, se producen vórtices de aire que son opuestos entre sí, lo que resulta en una capa límite de alta energía y por lo tanto hace posible un flujo largo contiguo incluso en altos ángulos de ajuste. El ángulo, en este caso, es en particular un ángulo en un plano paralelo a la superficie de la pala del rotor. en este caso, en particular, se entiende el ángulo, que se encuentra entre las dos superficies de las alas respectivas del par de alas del generador de vórtice. Por lo tanto, se trata, por ejemplo, del ángulo doble β de acuerdo con la Fig. 11, que se describirá a continuación.

15 Preferiblemente, el al menos un generador de vórtice está dispuesto en un área cercana al centro de la pala del rotor.

20 Preferiblemente, el generador de vórtice tiene a lo sumo una altura que corresponde a la altura de una capa límite de aire que se forma en la pala del rotor durante el funcionamiento de la pala del rotor, en el que la capa límite de aire se define por el hecho de que la velocidad del aire en la capa límite del aire debido a la fricción en la superficie de la pala del rotor del lado de succión se reduce al menos el 1%.

25 Preferiblemente, se prevén múltiples generadores de vórtice que están dispuestos de forma lineal uno al lado del otro sustancialmente paralelos a un eje longitudinal de la pala de rotor. En este caso, uno al lado del otro significa uno al lado del otro en la dirección del flujo. Por medio de este diseño, la pala del rotor logra un coeficiente de sustentación muy alto, en particular, en el caso de los correspondientes perfiles gruesos (45% y más de la longitud de la cuerda). Los generadores de vórtices también pueden estar dispuestos más allá hacia el extremo de la pala del rotor, en particular, también en los perfiles de la pala del rotor, que tienen un espesor relativo menor al 45%. Preferiblemente, la mayoría de los generadores de vórtice, en particular, todos los generadores de vórtice, están dispuestos a una profundidad relativa del perfil del 20% al 40% visto desde el borde de ataque.

30 Por medio de la medida de acuerdo con la presente invención, en la pala del rotor de acuerdo con la presente invención puede seleccionarse un alto ángulo de ajuste, con lo que puede lograrse un alto coeficiente de sustentación y una alta tasa de planeo. Como resultado, la torsión de una pala del rotor provista con un perfil de este tipo o de una pala del rotor provista de una familia o de múltiples perfiles puede mantenerse pequeña, de modo que pueda lograrse la mayor distancia posible de las correas principales sin retorcer las correas principales y, de este modo, se reduce el peso de la pala del rotor.

35 Preferiblemente, la línea de esqueleto está dispuesta a una distancia de entre 0% a 60%, en particular de 0% a 50%, de la profundidad de perfil del perfil por debajo de la cuerda. Como resultado, es posible un perfil con muy buenas propiedades aerodinámicas para una turbina eólica.

40 Preferiblemente, si la línea de esqueleto está dispuesta por completo en una sección de entre el 5% y el 50%, en particular, entre el 2% y el 60%, por debajo de la cuerda, la disposición del perfil es relativamente poco problemática incluso con números de Reynolds más bajos.

45 Preferiblemente, la cantidad de la curvatura máxima es menor al 0,015 o al 1,5%. La curvatura, en este caso, es la distancia de la línea del esqueleto a la cuerda en un porcentaje de la longitud de la cuerda. La curvatura máxima es, por lo tanto, para el perfil dado la mayor distancia de la línea del esqueleto a la cuerda en un porcentaje de la longitud de la cuerda. La línea del esqueleto en el contexto de la presente invención es la línea de los puntos centrales de los circuitos registrados entre el lado superior e inferior del perfil. La cuerda se define en el contexto de la presente invención como la línea desde el centro del borde de salida del perfil hasta el punto de perfil más lejano, que corresponde al punto del borde de ataque. La curvatura de la línea del esqueleto se define en el contexto de la presente invención como la segunda desviación de la función de la línea del esqueleto. El espesor máximo del perfil o, en el contexto de la presente invención, también llamado espesor del perfil relativo, es el grosor máximo de un perfil perpendicular a la cuerda en relación con la longitud de la cuerda. La ubicación del espesor máximo relativo se define en el contexto de la presente invención, como la distancia del espesor máximo del perfil desde el punto del borde de ataque en relación con la longitud de la cuerda, es decir, también dado en porcentaje. El espesor del borde de salida se define en el contexto de la presente invención como el espesor del borde de salida con respecto a la longitud de la cuerda.

55 Preferiblemente, la segunda desviación de la línea del esqueleto (curvatura de la línea del esqueleto) es del 10% al 40%, en particular, del 5% al 50%, en particular, del 2% al 60%, de la profundidad del perfil ya sea 0 o positiva. Este perfil también tiene su propio contenido inventivo.

Un perfil de una pala de rotor de acuerdo con la presente invención tiene propiedades aerodinámicas particularmente buenas, cuando el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 49%, en particular, de más del 55% o igual al 55%, en el que la ubicación del espesor máximo es inferior al 35%. Este perfil es particularmente adecuado para perfiles de lado de la raíz de pala de rotor.

5 Las propiedades aerodinámicas de la pala del rotor de acuerdo con la presente invención son en particular especialmente buenas porque el perfil respectivo presenta un borde de salida romo, en el que en este punto el espesor del borde de salida romo o el espesor relativo del borde de salida presenta un rango o el orden del 15% al 70% de la longitud de la cuerda del perfil. Particularmente preferido es un espesor relativo del borde de salida del 20% al 60%, en particular, del 25% al 50%, en particular, del 30% al 45%, en particular, del 35% al 40%
10 respectivamente de la longitud de la cuerda. También pueden ser preferidos otros rangos. Los altos coeficientes de sustentación resultan particularmente eficientes debido al borde de salida romo.

Particularmente preferido es el perfil de una pala de rotor de acuerdo con la presente invención, si este presenta una forma de S o una forma cóncava en el lado de succión hacia el borde de salida, es decir, que se curva hacia adentro, es decir, que se curva hacia la cuerda. Preferiblemente, también se prevé en el lado de presión una
15 curvatura cóncava correspondiente hacia el borde de salida. La curvatura cóncava hacia el borde de salida es preferiblemente más pronunciada en el lado de presión que en el lado de succión. Preferiblemente, la curvatura cóncava comienza en el lado de succión recién a partir del 60% de la longitud de la cuerda medida desde el borde de ataque del perfil. Preferiblemente, la transición desde el lado de succión o el lado de presión hacia el borde de salida del perfil es lo más aguda posible. A una profundidad de la pala o una longitud de la cuerda de 2m a 5,5 m,
20 se prevé un radio de transición de menos de 10mm, en particular, preferiblemente de menos de 7mm, en particular, preferiblemente de menos de 5mm.

Preferiblemente, la pala del rotor tiene un perfil que presenta un espesor de perfil relativo de más del 45%, en particular, más del 50% o igual al 50%, en el que en particular con flujo turbulento se alcanza una tasa de planeo mayor a 6, en particular, mayor a 10, en particular, mayor a 15. Cuando se emplea este perfil en el área cercana a
25 la raíz de la pala de la pala del rotor, a pesar de los altos espesores de perfil relativos de más del 45%, la energía contenida en el flujo se utiliza de manera eficiente, incluso sin una profundidad extrema de la pala. Este efecto también se logra en gran medida con perfiles contaminados, es decir, con un flujo completamente turbulento alrededor de los perfiles. Además, los perfiles antes mencionados para la pala del rotor de acuerdo con la presente invención y también los siguientes han sido desarrollados de tal manera que el rango de trabajo se encuentre en
30 altos ángulos de ajuste aerodinámicos, por ejemplo $> 10^\circ$. De este modo, se evita una torsión geométrica de las palas altamente desfavorables en términos de producción. Preferiblemente, el espesor relativo del perfil es mayor a 49%, en particular, mayor o igual a 56%.

Un perfil particularmente preferido de una pala de rotor con un generador de vórtice de una planta de energía eólica se caracteriza porque el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 45% con una ubicación del espesor
35 máximo de menos del 50%, en el que se alcanza un coeficiente de sustentación con un flujo turbulento de más de 1,8, en particular, de más de 2,8.

Preferiblemente, el espesor de perfil relativo de la pala del rotor es de más del 65%, en particular, mayor o igual al 70%. Preferiblemente, los coeficientes de sustentación se alcanzan con ángulos de flujo de disposición o ángulos de ajuste de 12° a 30° , en particular, de 16° a 24° .

40 Otra pala del rotor particularmente preferida tiene un perfil con un radio de la punta superior al 18% de la profundidad del perfil, en el que el perfil es asimétrico en el área de la punta.

Preferiblemente, se logra una relación del coeficiente de sustentación máximo en el flujo turbulento con el coeficiente de sustentación máximo en el flujo laminar de más de 0,75 a 1,0.

45 Preferiblemente, el lado de succión y el lado de presión del perfil de la pala del rotor presenta en el área posterior en cada caso, al menos parcialmente, un contorno cóncavo. De este modo, se producen velocidades excesivas significativamente menores en el lado de succión, mientras que en el lado de presión se genera una proporción significativa de la sustentación total del perfil por lo que se llama "rear loading".

Preferiblemente, se prevén múltiples perfiles diferentes en la pala del rotor, que se realizan en al menos un área de una pala del rotor de una planta de energía eólica y que se comportan de forma armónica entre sí. Como un
50 comportamiento de forma armónica se entiende en particular un curso continuo, en particular, una desviación libre de discontinuidad.

En el contexto de la presente invención, se considera que se produce un flujo turbulento o flujo de perfil cuando se produce un cambio brusco del flujo definido como aerodinámicamente limpio de laminar a turbulento. En el contexto de la presente invención, un flujo turbulento es, en particular, un estado de flujo en el que más del 90%, en
55 particular, más del 92%, de la superficie presenta una capa límite turbulenta. Este, en el experimento y también en las siguientes mediciones ilustradas, se simula por rugosidades, que son precisamente lo suficientemente grandes como para causar un cambio brusco de una capa límite laminar a una capa límite turbulenta. Para este propósito, por ejemplo, se coloca una cinta zig zag en el lado de succión al 5% del punto del borde de ataque y en el lado de

presión al 10% del punto del borde de ataque, a veces incluso al 5% (lado de succión) y al 5% (lado de presión) o al 3% / 5% o 3% / 3%. La posición exacta de las cintas zig zag depende en este caso del radio de la punta y del ángulo de ajuste que se ha de medir.

5 Una ventaja de la pala del rotor de acuerdo con la presente invención reside en los altos coeficientes de sustentación, tanto en el estado limpio como en el contaminado, es decir, tanto en el caso del flujo laminar como también del turbulento. Otra ventaja es que los puntos de operación de los perfiles de la pala del rotor de acuerdo con la presente invención cerca de la raíz de la pala del rotor tienen altos ángulos de ajuste aerodinámicos, por lo que la distorsión geométrica de toda la pala del rotor puede reducirse significativamente, lo que es una gran ventaja en la producción y conduce a menores pesos de la pala del rotor. También puede ocurrir que la torsión máxima de la pala se fije en términos de producción, de tal modo que se alcance con los perfiles de la pala del rotor cerca de la raíz de la pala en combinación con el generador de vórtice o los generadores de vórtice, que están dispuestos en el área de este perfil o de estos perfiles. que estos aún puedan utilizarse en el punto de operación óptimo con coeficientes de elevación muy altos, lo que no es posible en los perfiles conocidos hasta ahora en el área cercana a la raíz de la pala del rotor. En los perfiles utilizados pueden prevalecer de este modo con los perfiles conocidos en la punta de la pala los ángulos de ajuste con los que se genere una sustentación óptima y al mismo tiempo dominan otros ángulos de ajuste cerca de la raíz de la pala, que para los perfiles allí todavía produzcan una sustentación óptima o al menos aceptable.

20 Otra ventaja radica en la ubicación del espesor máximo dispuesta precisamente para un buen ajuste dentro de la pala del rotor. Esto permite una distancia de correa principal máxima en el rango de grosores de perfil relativos del 35% hasta el cilindro (en la raíz de la pala del rotor) con las menores curvaturas posibles en la correa del punto del borde de ataque y del borde de salida.

Particularmente ventajosos son los espesores máximos del perfil que en comparación se encuentran mucho más adelante y/o el radio de la punta relativamente grande.

25 Todas las características mencionadas, incluidos aquellas que pueden tomarse solas de los dibujos, así como las características individuales que se publican en combinación con otras características, son consideradas solas y en combinación como esenciales para la presente invención.

30 Particularmente preferido y ventajoso es un espesor de borde de salida del 26% de la longitud de la cuerda en un perfil de un 50% de espesor. En este caso, se hace referencia, en particular, a las siguientes figuras, en las que se indican ejemplos de realización de perfiles de acuerdo con la presente invención. Por consiguiente, es particularmente ventajoso si el espesor del borde de salida es aproximadamente del 50% de la longitud de la cuerda en un perfil de un 70% de espesor. En este caso, para ello, se hace referencia en particular a las figuras.

35 De acuerdo con la presente invención y particularmente preferible es una pala de rotor de una turbina eólica con un perfil que presenta un lado superior (lado de succión) y un lado inferior (lado de presión), en el que el perfil comprende una línea de esqueleto y una cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida del perfil, en el que la línea del esqueleto al menos en secciones se extiende por debajo de la cuerda en la dirección del lado de presión y en el que el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 45%, en particular, más del 49%, en particular, más del 69%, en el que en el lado de succión de la pala del rotor está dispuesto al menos un generador de vórtice en el área del perfil, y en concreto, preferiblemente entre el 20 y el 40% de la profundidad del perfil, es decir, visto desde el borde de ataque. Además, en este caso, se prevé preferiblemente una línea de esqueleto en forma de S con una curvatura negativa en el área frontal del perfil, es decir, hacia el borde de ataque, y una curvatura positiva en la parte posterior del perfil. Además, se prevé preferiblemente un lado de presión en forma de S que es convexo en el área frontal del perfil y cóncavo en el área posterior. Más preferiblemente, se prevé un lado de succión en forma de S que es convexo en el área frontal y cóncavo en el área posterior. Estas formas de realización de acuerdo con la presente invención de una pala de rotor con perfiles correspondientes están provistas de forma particularmente preferible con generadores de vórtice que tienen un plano o proyección vertical triangular. Estos están dispuestos preferible y ventajosamente en pares en direcciones opuestas, de tal modo que se generan vórtices de giro contrario. De forma particularmente ventajosa, los generadores de vórtice tienen una altura menor o igual al espesor de la capa límite local. Además, los generadores de vórtice están dispuestos preferiblemente entre el 15% y el 45% de la longitud de la cuerda medida desde el borde de ataque del perfil, y más preferiblemente entre el 20% y el 40% de la profundidad del perfil.

55 Preferiblemente, el perfil de la pala del rotor presenta un borde de salida romo, en el que el espesor del borde de salida puede variar en función del grosor del perfil. En este caso, las siguientes combinaciones de características son particularmente preferidas. Un perfil con más del 45% de espesor tiene preferiblemente un espesor del borde de salida de más del 15% y generadores de vórtices correspondientes. Un perfil con más del 49% de espesor tiene preferiblemente un espesor del borde de salida de más del 20% y se prevén generadores. Otro perfil con más del 69% de espesor tiene un espesor del borde de salida preferiblemente de más del 45%. También se prevén los correspondientes generadores de vórtice.

Estos perfiles mencionados anteriormente tienen preferiblemente una línea de esqueleto en forma de S con curvatura negativa en el área frontal del perfil y una curvatura positiva en el área posterior del perfil.

Además, puede preverse preferiblemente que estos perfiles presenten un lado de presión en forma de S que sea convexo en la parte frontal y cóncavo en la parte posterior. Más preferiblemente, puede preverse un perfil con espesor de un 45%, en cuyo caso se prevé un espesor de borde de salida de más del 15%. Además, se prevén generadores de vórtice y un lado de presión en forma de S que es convexo en el área frontal y cóncavo en el área posterior. Además, se prevé preferiblemente un perfil con más de 49% de espesor con un espesor de borde de salida de más del 20% y generadores de vórtices correspondientes en la pala del rotor, que presenta un perfil correspondiente. En este caso, se prevé un lado de presión en forma de S que es convexo en el área frontal y cóncavo en el área posterior. Además, preferiblemente, se prevé un perfil con más del 69% de espesor con un espesor del borde de salida de más del 45% y un generador de vórtice correspondiente, en el que se prevé un lado de presión en forma de S que es convexo adelante y cóncavo atrás.

Cuando, en el contexto de la presente invención, se menciona que un perfil está provisto de generadores de vórtice, esto significa que un generador de vórtice está dispuesto en una pala de rotor, y en concreto, en el área en la que se prevé este perfil. Los generadores de vórtice están dispuestos preferiblemente, más preferiblemente en el ejemplo anterior, entre 20% y 40% de la cuerda visto desde el borde de ataque.

En el contexto de la presente invención, también son posibles otras combinaciones de características.

La presente invención se describirá a continuación sin limitar el concepto general de la presente invención mediante ejemplos de realización con referencia a los dibujos, aunque con respecto a todos los detalles de acuerdo con la presente invención no explicados de forma pormenorizada en el texto se hace referencia expresa en los dibujos. En estos se ilustra:

- Fig. 1 una representación esquemática de una pala del rotor según la presente invención con perfiles añadidos,
- Fig. 2 un perfil de una pala de rotor según la presente invención en comparación con un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología,
- Fig. 3 otro perfil de una pala de rotor según la presente invención en comparación con otro perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología,
- Fig. 4 un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología en comparación con tres perfiles para una pala de rotor según la presente invención,
- Fig. 5 un diagrama esquemático relativo a curvas polares calculadas de un perfil de una pala de rotor sin generador de vórtice,
- Fig. 6 un diagrama esquemático relativo a curvas polares calculadas de un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología,
- Fig. 7 un diagrama esquemático de curvas polares medidas de un perfil de una pala de rotor sin generador de vórtice,
- Fig. 8 un diagrama esquemático de curvas polares medidas de un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología.
- Fig. 9 un perfil de una pala de rotor según la presente invención con generador de vórtice en una representación esquemática,
- Fig. 10 un diagrama esquemático de curvas polares de un perfil de una pala de rotor según la presente invención con un generador de vórtice y un perfil de una pala de rotor sin generador de vórtice y
- Fig. 11 una representación esquemática de dos generadores de vórtice.

En las siguientes figuras, elementos idénticos o similares o partes correspondientes respectivamente están provistos de los mismos números de referencia, de tal modo que se prescinde de una correspondiente representación.

La figura 1 muestra esquemáticamente una pala de rotor 5 de una turbina eólica, que no se muestra, en la que esquemáticamente algunos perfiles 1-4 así como 6 ya están dibujados. En un área de transición 13, cercana a una raíz de la pala del rotor 12, se prevén los perfiles 1-4. El área de transición 13 puede distinguirse, por ejemplo, por el hecho de que el borde de salida 11 ya no acaba de manera puntiaguda como se prevé en el caso de los otros perfiles 6, sino que está diseñado de forma roma, y en concreto, por ejemplo, cuanto más roma más cerca llegan los perfiles a la raíz de la pala del rotor 12. Para una mejor ilustración, también se indica el borde de ataque 10 y un lado superior o lado de succión 7 y un lado inferior o lado de presión 8. De particular interés en el contexto de la presente invención son los perfiles 1-4, que se encuentran en el área de transición 13 y los generadores de vórtice 50, 50', 50" y 50''' previstos de forma adicional. Estos perfiles 1-4 se explicarán a continuación.

La Fig. 2 muestra un perfil de una pala de rotor 5 según la presente invención sin generador de vórtice en

comparación con un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología. El perfil 20, que tiene la designación RE-W-50-B6, presenta una línea de esqueleto 21 curvada en el área del perfil frontal hasta el 60% o 0,6 de la longitud de la cuerda hacia el lado de presión 8. Recién a aproximadamente 0,63 de la longitud de la cuerda, la línea del esqueleto 21 corta la cuerda 18 y va en la dirección del lado de succión 7. Además, en comparación con el perfil FX 83-W-500 (véase Althaus, en el lugar indicado, páginas 552, 553), que lleva el número de referencia 22, el grosor máximo del perfil se encuentra relativamente más adelante. En el perfil 20, esto está en el 34,4% o 0,344 de la profundidad del perfil o la longitud de la cuerda. Los perfiles conocidos, que se mencionan en el documento de Althaus mencionado anteriormente, tienen ubicaciones de espesor máximas del 37,4% al 78,7%.

El radio de la punta del perfil 20 con 23,3% de profundidad del perfil también es significativamente mayor a los perfiles de comparación con valores entre el 5,6% y el 14,8%, por lo que aquí debe tenerse en cuenta que el perfil en el área de la punta también es asimétrico. El perfil de comparación 22, en concreto, el FX 83-W-500, también tiene una línea de esqueleto 23 que se encuentra dispuesta completamente por encima de la cuerda 18 hacia el lado de succión 7. El espesor relativo de perfil del perfil 22 es del 50%. Esto se encuentra a una profundidad del perfil del 78,7%. Existe una curvatura máxima del 2,539% a una profundidad de perfil del 52,7%. El radio de la punta asciende al 5,6%. Existe una superficie de sección transversal de perfil del 0,4134 y un espesor del borde de salida del 47,9%. El perfil 20 según la presente invención presenta un espesor de perfil relativo del 50% a una profundidad del perfil del 34,4% y una curvatura máxima del 1,23%. La curvatura máxima está a una profundidad de perfil del 82,5%. El radio de la punta asciende al 23,3%, la superficie de la sección transversal del perfil es del 0,3927 y el espesor del borde de salida es del 25,7%. Puede observarse que, en particular, en el lado de presión 8 en el área posterior del perfil, se da un contorno cóncavo del perfil. Este también se da en el lado de succión 7, sin embargo, no tan fuerte y prominentemente pronunciado como en el lado de presión 8. El contorno del perfil 22 de acuerdo con el estado actual de la tecnología, sin embargo, es convexo en el área posterior.

Además, el perfil para la pala del rotor de acuerdo con la presente invención presenta un borde de salida como 11, que presenta una extensión de aproximadamente el 23% al 25%, en particular, del 23,7%, de la longitud de la cuerda.

En la Fig. 3 se representa nuevamente un perfil de una pala de rotor 5 según la presente invención, sin embargo, sin generador de vórtice, en concreto, el perfil RE-W-70-B9 (número de referencia 24) comparado con un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología, en concreto, el perfil FX 79-W-660A (número de referencia 26). También se representan las líneas de esqueleto correspondientes 25 y 27. También en este caso, la línea de esqueleto 25 del RE-W-70-B9 está dispuesta por debajo de la cuerda 18 hacia el lado de presión 8 y la línea de esqueleto 27 del FX 79-W-660A de acuerdo con el estado actual de la tecnología está dispuesta por encima de la cuerda 18 hacia el lado de succión 7. El perfil 24 presenta un espesor de perfil relativo del 70% a una profundidad de perfil del 47,7%. Se prevé una curvatura mínima o de una magnitud máxima de 1,4% con una profundidad del perfil del 39,9%. La curvatura máxima positiva es del 1,18% al 85% de profundidad del perfil. El radio de la punta asciende al 23,87%. El borde de salida como 11 tiene un espesor del 50% al 60% de la longitud de la cuerda.

En el perfil 26 de acuerdo con el estado actual de la tecnología, existe un espesor de perfil relativo del 66,4% a una profundidad del perfil del 46,7%. Existe una curvatura máxima del 2,2 % a una profundidad de perfil del 17,1%. El radio de la punta asciende al 4,1%.

La Fig. 4 muestra cuatro perfiles adicionales de una pala de rotor 5 de una planta de energía eólica, en la que los perfiles 28, 29 y 30 son perfiles de una pala de rotor 5 según la presente invención y un perfil, en concreto, el perfil 31, es un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología.

El perfil 31 corresponde al FX 77-W-700 de acuerdo con el estado actual de la tecnología. Esto debe realizarse, por ejemplo, a partir del documento "Perfiles de baja velocidad" de Dieter Althaus que se menciona anteriormente, de tal modo que el perfil FX 77-W-500 indicado en las páginas 162 y 163 se corte aún más en la parte posterior, en concreto, de tal manera que se forme un espesor relativo o un espesor de perfil relativo del 70%. Esto se encuentra, naturalmente, a una profundidad de perfil relativa que se encuentra mucho más atrás, en este caso en aproximadamente el 68%.

Los perfiles 28 que corresponde a RE-W-70-A1, 29 que corresponde a RE-W-70-A2 y 30 que corresponde a RE-W-70-B1 también tienen un espesor de perfil relativo del 70% con una ubicación del espesor máximo de aproximadamente el 34% para el perfil 28, de aproximadamente el 37% para el perfil 29 y de aproximadamente el 50% para el perfil 30. Aquí también puede observarse en los perfiles 28 a 30 que hacia el borde de salida del perfil se prevén contornos cóncavos, que son más pronunciados en particular en el lado de presión 8. Los bordes de salida como 11 tienen una extensión del 25% al 39% de la longitud de la cuerda.

Los perfiles ilustrados mencionados anteriormente de las Figs. 2, 3 y 4 son perfiles representados sin generadores de vórtice. De acuerdo con la presente invención, los perfiles, que presentan el prefijo "RE-W" y que están diseñados en consecuencia para generar el máximo rendimiento en el sentido aerodinámico, es decir, en particular, coeficientes de sustentación muy altos, en particular, tanto en el flujo turbulento así como en el laminar, y, en concreto, con una tasa de planeo correspondientemente buena, según la presente invención provistos de al menos un, preferiblemente múltiples generadores de vórtices, en concreto, en el lado de succión 7 de la pala del rotor

para mejorar aún más las propiedades de la pala del rotor. de este modo se produce un efecto de sinergia inesperado, ya que de este modo se alcanzan coeficientes de sustentación excepcionalmente altos que de otro modo solo se alcanzarían con las correspondientes aletas en los sistemas de alta sustentación en las alas de los aviones. Las propiedades particularmente buenas resultan en particular de una combinación de los perfiles
 5 relativamente gruesos con los generadores de vórtice. Particularmente preferida es la provisión de los correspondientes bordes de salida gruesos romos, que ya se han descrito anteriormente. Más preferiblemente, se prevé una línea de esqueleto negativa, y más preferiblemente, se prevén secciones cóncavas en la parte posterior de los perfiles de la pala del rotor en el lado de presión, y más particularmente, previstos también en el lado de succión. Por una línea de esqueleto negativa se entiende en particular una línea de esqueleto con secciones de
 10 curvatura negativa. La línea del esqueleto tiene preferiblemente forma de S, en la que está curvada negativamente en la sección frontal del perfil y está curvada positivamente en la sección posterior.

Las siguientes curvas polares de las Figs. 5 a 8 son curvas polares de perfiles calculados sin generadores de vórtice. Con generadores de vórtice se obtendrían otras curvas polares, como también se mostrará a continuación.

La Fig. 5 muestra un diagrama esquemático con referencia a las curvas polares calculadas de un perfil de una pala de rotor de acuerdo con la presente invención sin generador de vórtice, en concreto, del RE-W-70-B9. Se muestra el coeficiente de sustentación C_a a través del ángulo de ajuste α (alfa) y la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia C_w . Esta proporción representa la tasa de planeo. Los polares de la Fig. 5 se tratan de un cálculo de las curvas polares para un número de Reynolds de 3 millones. Se llevaron a cabo los cálculos correspondientes para un flujo turbulento y un flujo laminar. La curva polar 32 representa un cálculo del coeficiente de sustentación C_a en el flujo laminar y la curva polar 33 representa el valor correspondiente en el flujo turbulento. La curva polar para la tasa de planeo en el caso del flujo laminar se indica con el número de referencia 34 y, en consecuencia, en el caso del flujo turbulento, el número de referencia 35. Puede observarse que el coeficiente de sustentación presenta un máximo de alrededor de $14,8^\circ$ del ángulo de ajuste, en concreto, en el caso de flujo laminar, y un máximo de alrededor de 9° en el caso de un flujo turbulento. La tasa de planeo está prevista en el caso de un flujo laminar también en alrededor de $14,8^\circ$ con un máximo y en el caso de un flujo turbulento en alrededor de 11° .

En comparación con las curvas polares correspondientes de un perfil de acuerdo con la Fig. 5, en la Fig. 6 se han indicado las curvas polares correspondientes 36, 37, 38 y 39 de un perfil conocido, en concreto, el FX 79-W-660 A. En particular, puede observarse que se ha predeterminado un máximo local del coeficiente de sustentación para el flujo laminar en la curva polar 36 de aproximadamente 7° y para una curva polar con respecto a la tasa de planeo en el caso de flujo laminar, que se designa con el número de referencia 38, existe también un máximo correspondiente de 7° del ángulo de ajuste α .

En el caso de flujo turbulento, puede observarse claramente en la curva polar 37, que también afecta el coeficiente de sustentación c_a , que la sustentación se minimiza significativamente. Lo mismo se aplica a la curva polar 39 con respecto a la tasa de planeo en el caso de un flujo turbulento.

La Fig. 7 muestra un diagrama esquemático de las curvas polares medidas de un perfil de una pala de rotor sin un generador de vórtice según la presente invención, en concreto, del perfil RE-W-50-B6, que ya se ha ilustrado en la Fig. 2. La curva polar 40 representa el coeficiente de sustentación en el caso de flujo laminar con un número de Reynolds de 3 millones. Se alcanza un coeficiente de sustentación máximo de aproximadamente 1,84 en un ángulo de aproximadamente 13° .

Puede observarse claramente que incluso en el caso de un flujo turbulento de acuerdo con la curva polar 41, el coeficiente de sustentación solo disminuye ligeramente. Se ha predeterminado un máximo de 1,4 en un ángulo de ajuste o ángulo de incidencia α de aproximadamente 10° . El número de Reynolds aquí ascendió en la medición a 3,1 millones. La curva polar 42 con respecto a la tasa de planeo (c_a/c_w) en el caso de flujo laminar tiene un máximo en el ángulo de ajuste de aproximadamente 13° . El cociente aquí es de alrededor de 22. En el caso de un flujo turbulento, la tasa de planeo máxima disminuye de acuerdo con la curva polar 43 a 15,5 en un ángulo de aproximadamente 10° .

A modo de comparación, en la Fig. 8 se muestra un diagrama esquemático correspondiente, que representa la curva polar medida de un perfil de acuerdo con el estado actual de la tecnología, en concreto, el perfil FX 77-W-500. En comparación con la curva polar del coeficiente de sustentación C_a 44 en el caso de flujo laminar y la curva polar 46 con respecto a la tasa de planeo en el caso de flujo laminar, que en sí mismas presentan valores peores que según la presente invención en caso de flujo laminar, las curvas polares en el caso de flujo turbulento colapsan completamente. De este modo, en este caso la curva polar medida para el coeficiente de sustentación C_a en el caso de flujo turbulento se identifica con 45 y se representa la curva polar 47 medida correspondiente en relación a la tasa de planeo también para el flujo turbulento.

La Fig. 9 muestra esquemáticamente un perfil de una pala de rotor 5 según la presente invención. El perfil 20 corresponde a un RE-W-50-B6 de la solicitante. A aproximadamente el 19,5 o el 20% de la longitud de la cuerda medido desde el borde de ataque 10, se prevé un generador de vórtice 50 en el lado de succión 7. El perfil mostrado 20 corresponde aproximadamente al perfil 20 de la Fig. 2, excepto que en la Fig. 9 se añadió un generador de

vórtice 50. Este generador de vórtice 50 asegura ahora un coeficiente de sustentación significativamente mayor, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 10. En la Fig. 10 se indica con 40 una curva polar del perfil de la Fig. 2, en concreto, el perfil 20 mostrado allí con la denominación RE-W-50-B6. Como puede observarse, la curva polar del ángulo de ajuste se extiende de -20° hasta casi $+40^\circ$. La curva polar 40 del perfil 20 del RE-W-50-B6 viene hasta un coeficiente de sustentación C_a de 1,8 y entonces cae en un ángulo de ajuste de 13° . En este caso resulta, como lo muestran las flechas, en un correspondiente comportamiento de histéresis, como es esto conocido en sí mismo.

Al proporcionar el generador de vórtice 50 de acuerdo con la Fig. 9, cuyo borde de salida está dispuesto al 20% de la longitud de la cuerda medido desde el borde de ataque 10, el coeficiente de sustentación mejora de tal manera que el coeficiente de sustentación colapsa recién en un ángulo de ajuste de 36° . Con este ángulo, se alcanza un coeficiente de sustentación C_a de más de 3. La curva polar en consecuencia está indicada aquí con 48. Esta mejora drástica en el coeficiente de sustentación es un resultado que es completamente sorprendente para los expertos correspondientes.

La Fig. 11 también muestra esquemáticamente dos generadores de vórtice 50 y 50' en disposiciones y orientaciones correspondientes. Las alas 52 y 53 del par de alas 51 del generador de vórtice 50 y también correspondientemente del generador de vórtice 50' están dispuestas en relación con un plano en sección de un perfil en un ángulo β en el ala 53 y $-\beta$ en el ala 52. Las dos alas 52, 53 del par de alas 51 del generador de vórtice 50 se extienden la una hacia la otra en un ángulo de 2β hacia adelante con respecto al borde de ataque 10 del perfil o la pala del rotor una hacia la otra. Como resultado de este diseño, a través de cada ala 52, 53 se generan vórtices que se reflejan mutuamente que hacen posible un coeficiente de sustentación particularmente alto. La altura h de las respectivas alas 52, 53 corresponde aproximadamente a la altura de la capa límite, que se genera por la fricción en la superficie de la pala del rotor, es decir, alrededor de 2cm a 6cm. La longitud l corresponde de 1,5 a 4 veces la altura h , en particular, se prefiere una longitud de 2,5 h . La distancia s de las alas 52, 53 asciende preferiblemente entre 1,5 y 5 h , en particular, preferiblemente 3 h . La distancia de los pares de alas 51 o los generadores de vórtice 50, 50' entre sí se encuentra en el rango de entre 3 y 9 h , preferiblemente en 6 h .

Todas las características mencionadas, incluidas las que son tomadas sólo de los dibujos, así como las características individuales, que se publican en combinación con otras características se consideran solas y en combinación como esenciales para la presente invención. Las formas de realización según la presente invención pueden realizarse por medio de características individuales o una combinación de varias características.

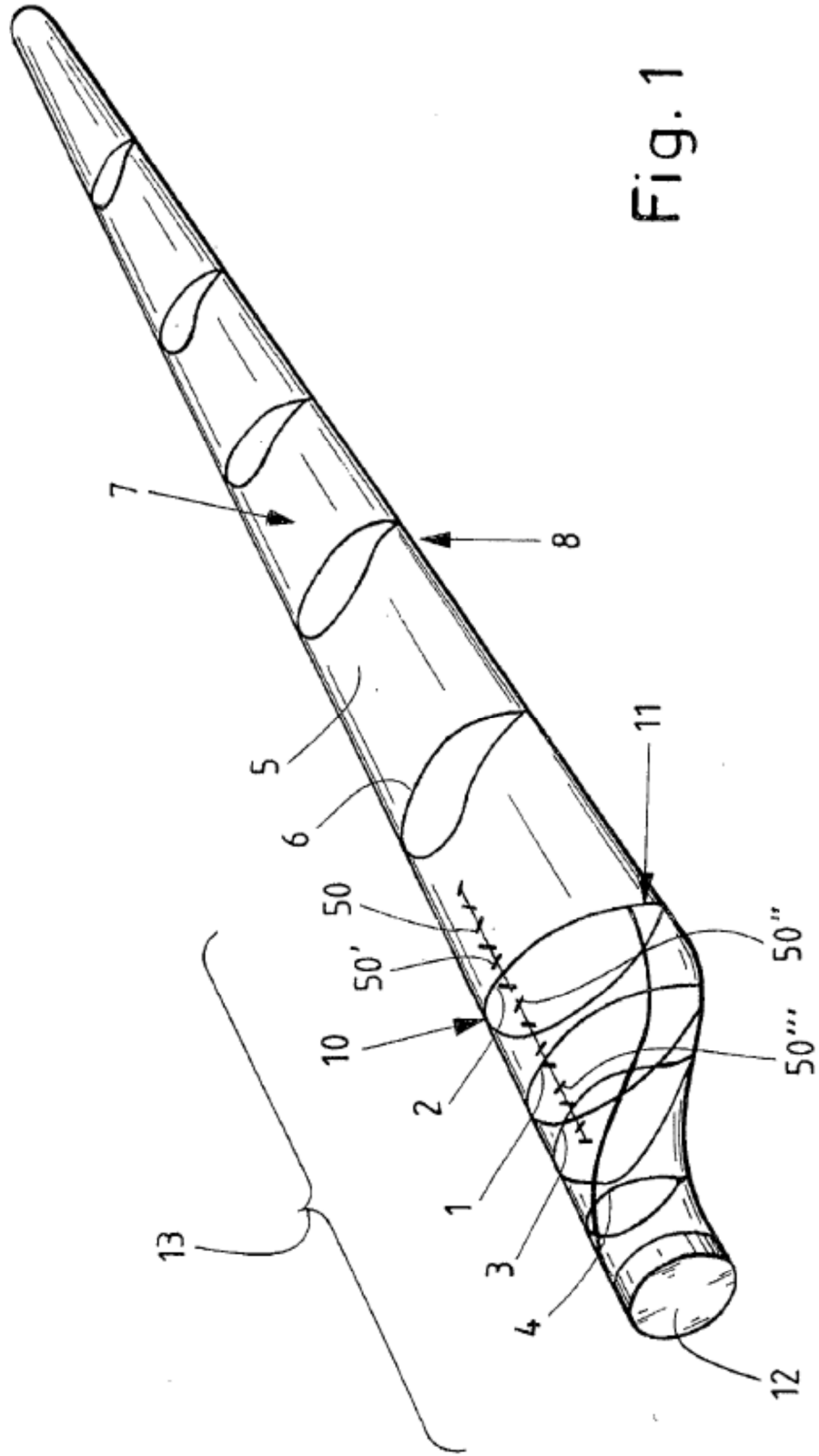
Listado de referencias

- 1 - 4 Perfil
- 5 Pala del rotor
- 6 Perfil
- 7 Lado de succión
- 8 Lado de presión
- 10 Borde de ataque
- 11 Borde de salida
- 12 Raíz de la pala
- 13 Área de transición
- 18 Cuerda
- 20 Perfil RE-W-50-B6
- 21 Línea del esqueleto del RE-W-50-B6
- 22 Perfil FX 83-W-500
- 23 Línea del esqueleto del FX 83-W-500
- 24 Perfil RE-W-70-B9
- 25 Línea del esqueleto del RE-W-70-B9
- 26 Perfil FX 79-W-660 A
- 27 Línea del esqueleto del FX 79-W-660 A

	28	Perfil RE-W-70-A1
	29	Perfil RE-W-70-A2
	30	Perfil RE-W-70-B1
	31	Perfil FX 77-W-700
5	32	Curva polar C_a laminar
	33	Curva polar C_a turbulento
	34	Curva polar C_a/C_w laminar
	35	Curva polar C_a/C_w turbulento
	36	Curva polar C_a laminar
10	37	Curva polar C_a turbulento
	38	Curva polar C_a/C_w laminar
	39	Curva polar C_a/C_w turbulento
	40	Curva polar C_a laminar
	41	Curva polar C_a turbulento
15	42	Curva polar C_a/C_w laminar
	43	Curva polar C_a/C_w turbulento
	44	Curva polar C_a laminar
	45	Curva polar C_a turbulento
	46	Curva polar C_a/C_w laminar
20	47	Curva polar C_a/C_w turbulento
	48	Curva polar C_a laminar
	50, 50', 50", 50'''	Generador de vórtice
	51	Par de alas
	52	Ala
25	53	Ala
	h	Altura
	l	Longitud
	s	Distancia entre las alas
	z	Distancia del generador de vórtice

REIVINDICACIONES

1. Pala del rotor (5) de una turbina eólica con un perfil (1-4) que presenta un lado superior (lado de succión) (7) y un lado inferior (lado de presión) (8), en el que el perfil (1-4) comprende una línea de esqueleto (21, 25) y una cuerda (18) entre el borde de ataque (10) y el borde de salida (11) del perfil (1-4), en el que el perfil (1-4) presenta un espesor de perfil relativo de más del 45%, en el que el lado de succión (7) de la pala del rotor (5) está dispuesto al menos un generador de vórtice (50, 50', 50", 50''') en el área del perfil (1-4), en el que el perfil (1-4) está provisto de un borde de salida romo, en el que el espesor del borde de salida está entre el 15% y el 70% de la longitud de la cuerda, caracterizada porque el al menos un generador de vórtice (50 - 50''') está dispuesto en un rango del 20% al 28% de la profundidad relativa de perfil del perfil (1-4).
2. Pala del rotor (5) según la reivindicación 1, caracterizada porque la línea del esqueleto (21, 25) al menos en secciones se extiende por debajo de la cuerda (18) en la dirección del lado de presión (8).
3. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizada porque el al menos un generador de vórtice (50 - 50''') comprende un par de alas (51), en donde en particular las alas (52, 53) están dispuestas en un ángulo entre sí dentro de un rango de 10° a 50°, en particular, de 20° a 40°, en particular, de 30°.
4. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada porque el al menos un generador de vórtice (50 - 50''') está dispuesto en el área cercana al centro (13) de la pala del rotor (5).
5. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque el generador de vórtice (50 - 50''') tiene a lo sumo una altura que corresponde a la altura de una capa límite de aire que se forma en la pala del rotor (5) durante el funcionamiento de la pala del rotor (5) en el lado de succión (7), en el que la capa límite de aire se define por el hecho de que la velocidad del aire en la capa límite del aire debido a la fricción en la superficie de la pala del rotor del lado de succión (7) se reduce al menos el 1%.
6. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada porque se prevén múltiples generadores de vórtice (50 - 50'''), que están dispuestos uno al lado del otro sustancialmente paralelos a un eje longitudinal de la pala de rotor (5).
7. Pala del rotor (5) según la reivindicación 6, caracterizada porque múltiples generadores de vórtice (50 - 50'''), en particular, todos los generadores de vórtice (50 - 50''') están dispuestos a una profundidad relativa del perfil del 20% al 40%, vistos desde el borde de ataque (10).
8. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada porque la línea de esqueleto (21, 25) está dispuesta a una distancia de entre 0% a 60% de la profundidad de perfil del perfil (1-4) por debajo de la cuerda (18).
9. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada porque la línea de esqueleto (21, 25) está dispuesta por completo en una sección de entre el 5% y el 50%, en particular, del 2% al 60%, por debajo de la cuerda (18).
10. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada porque la cantidad de la curvatura máxima es menor al 1,5%.
11. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada porque la segunda desviación de la línea del esqueleto (21,25) (curvatura de la línea del esqueleto) es del 10% al 40%, en particular, del 5% al 50%, en particular, del 2% al 60%, de la profundidad del perfil ya sea 0 o positiva.
12. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizada porque el perfil (1-4) presenta un espesor de perfil relativo de más del 49%, en particular, de más del 55% o igual al 55%, en el que la ubicación del espesor máximo es inferior al 35%.
13. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizada porque el espesor de perfil relativo es de más del 65%, en particular, mayor o igual al 70%.
14. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizada porque un radio de la punta es superior al 18% de la profundidad del perfil, en el que el perfil (1-4) es asimétrico en el área de la punta.
15. Pala del rotor (5) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizada porque el lado de succión (7) y el lado de presión (8) del perfil (1-4) presenta en el área posterior en cada caso, al menos parcialmente, un contorno cóncavo.



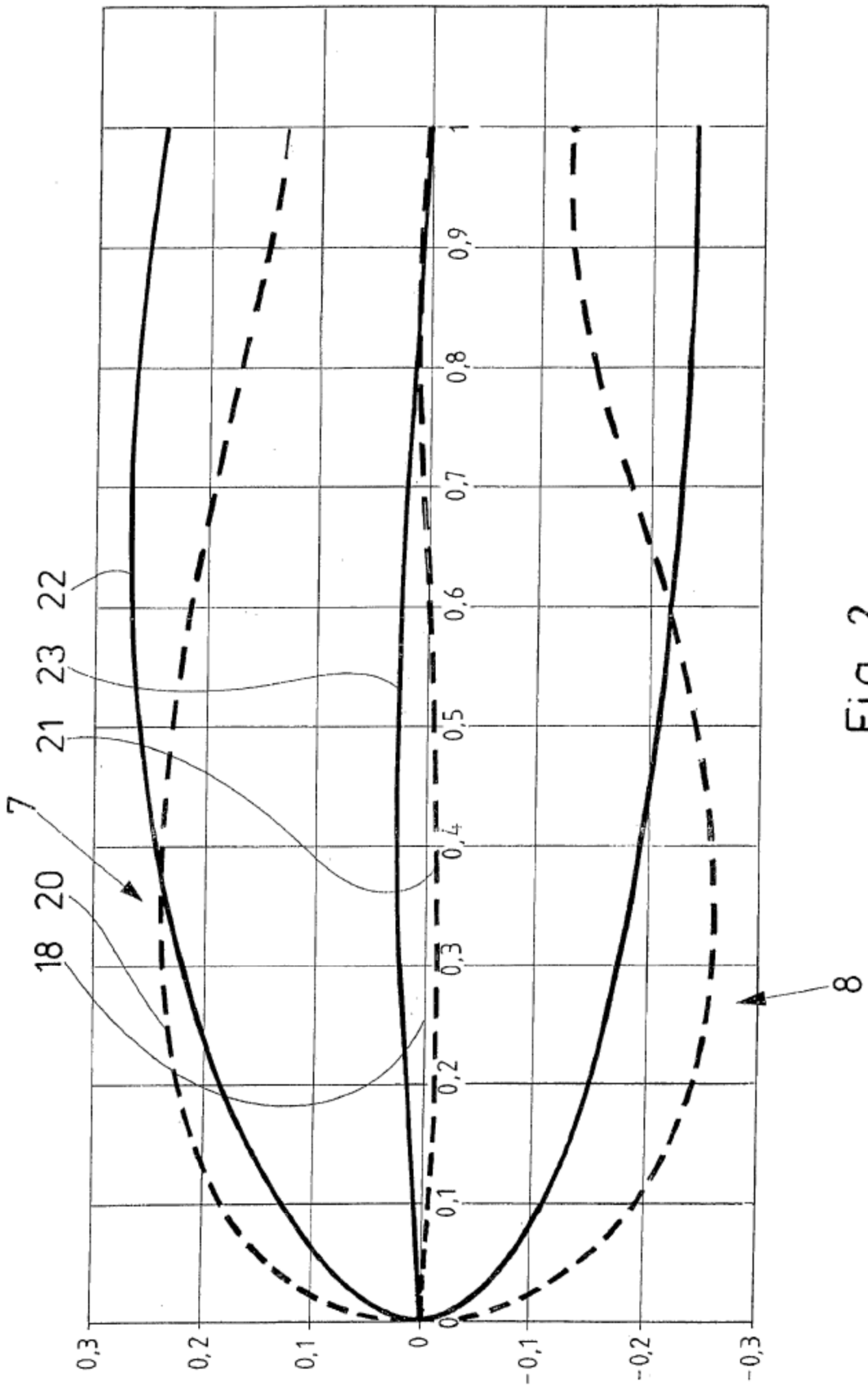


Fig. 2

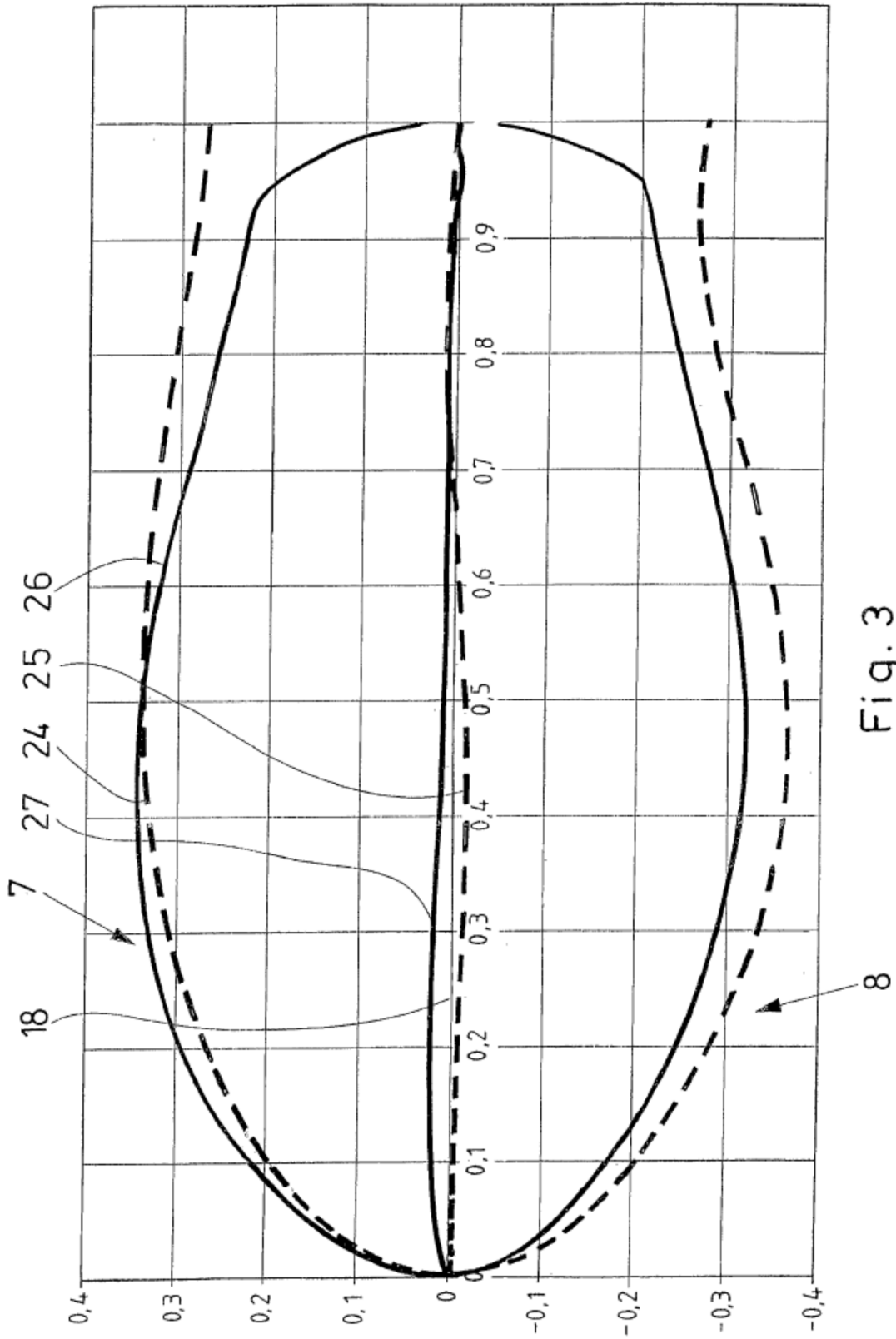


Fig. 3

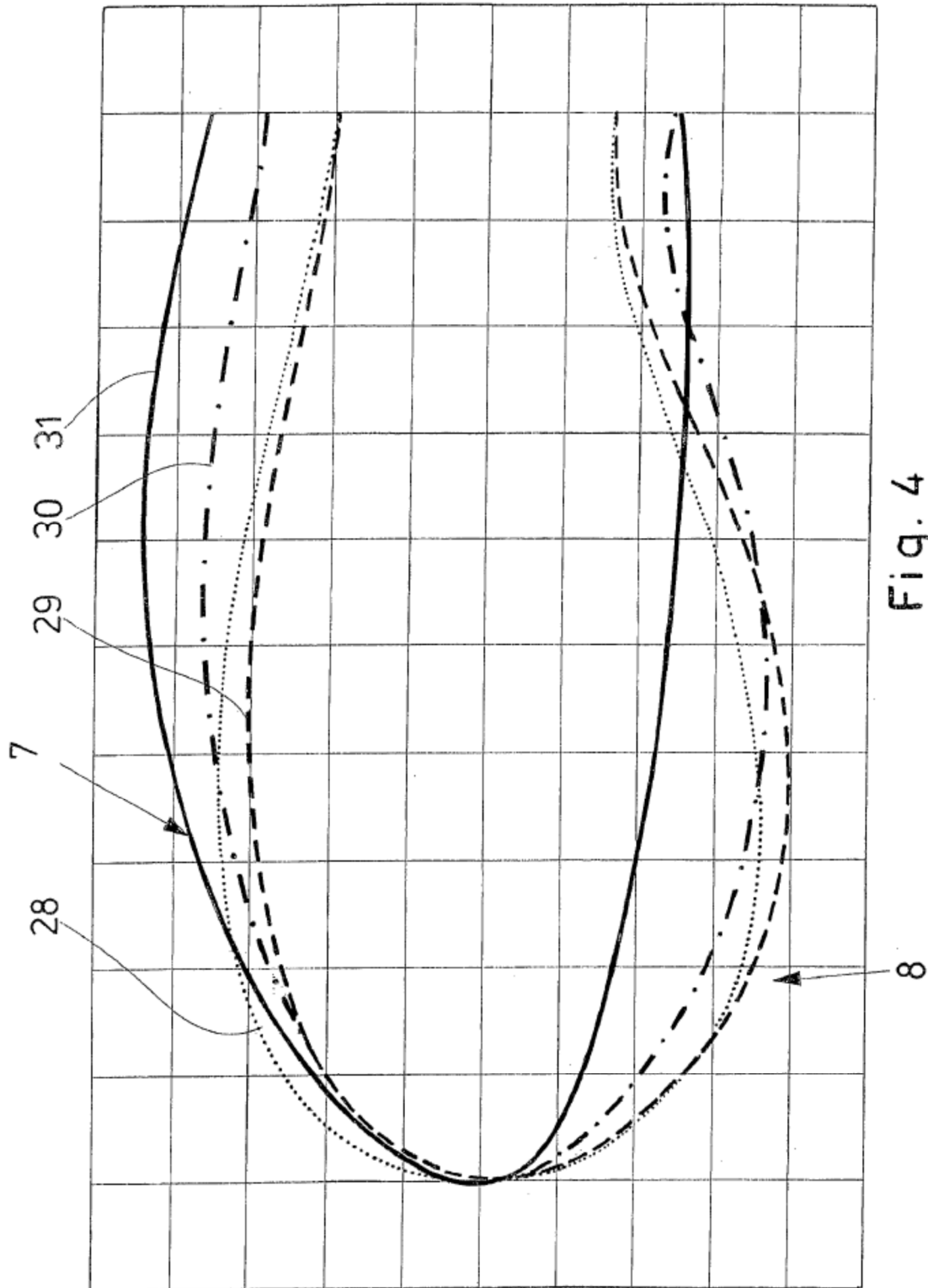


Fig. 4

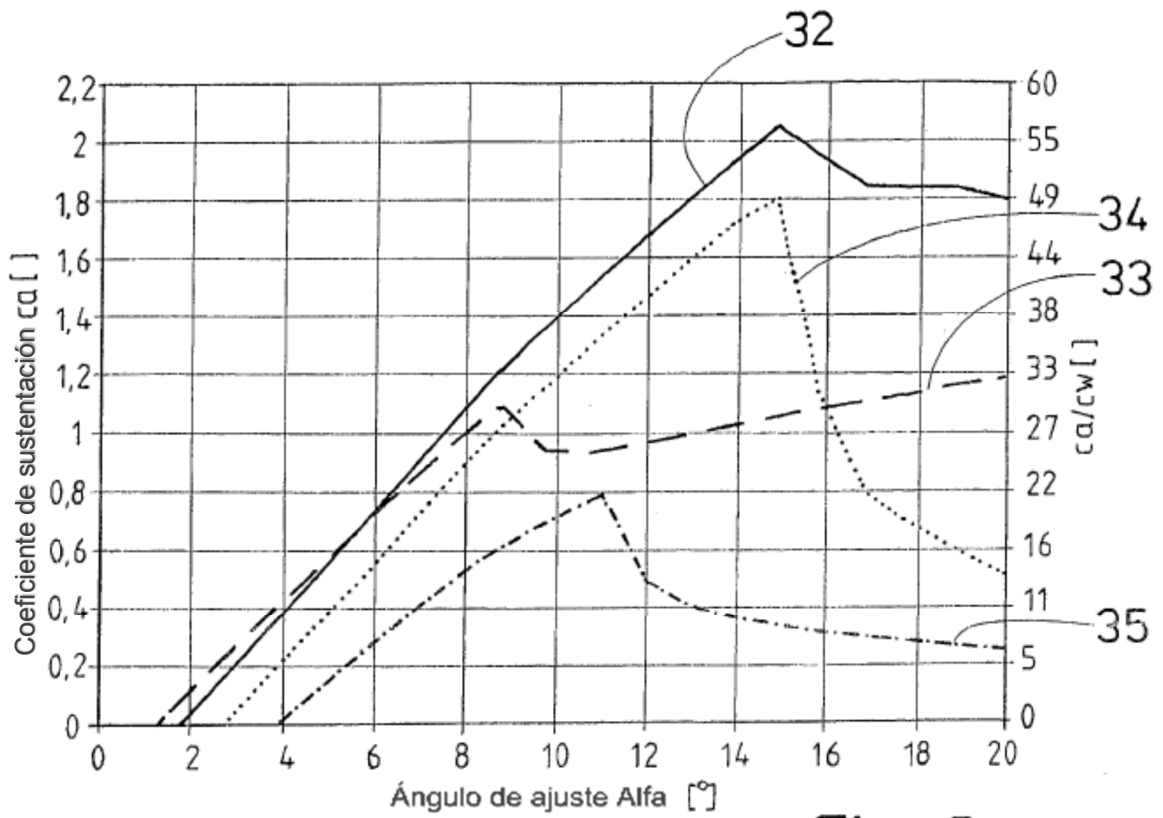


Fig. 5

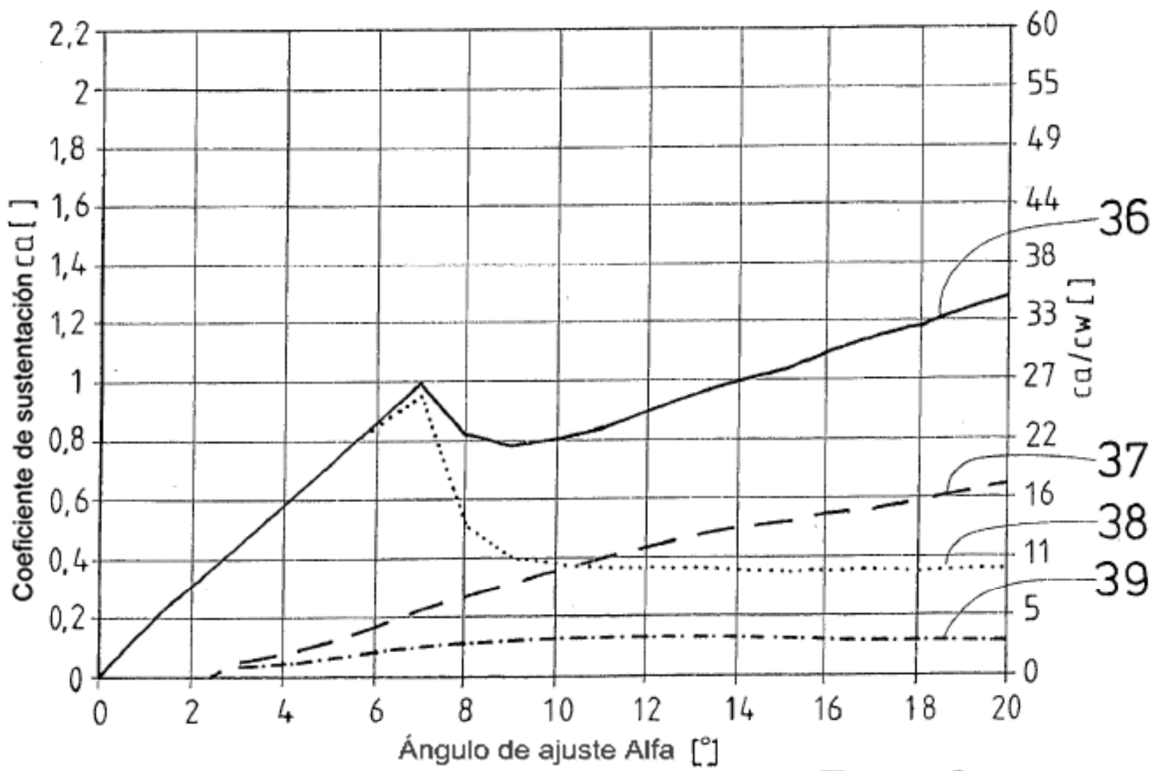
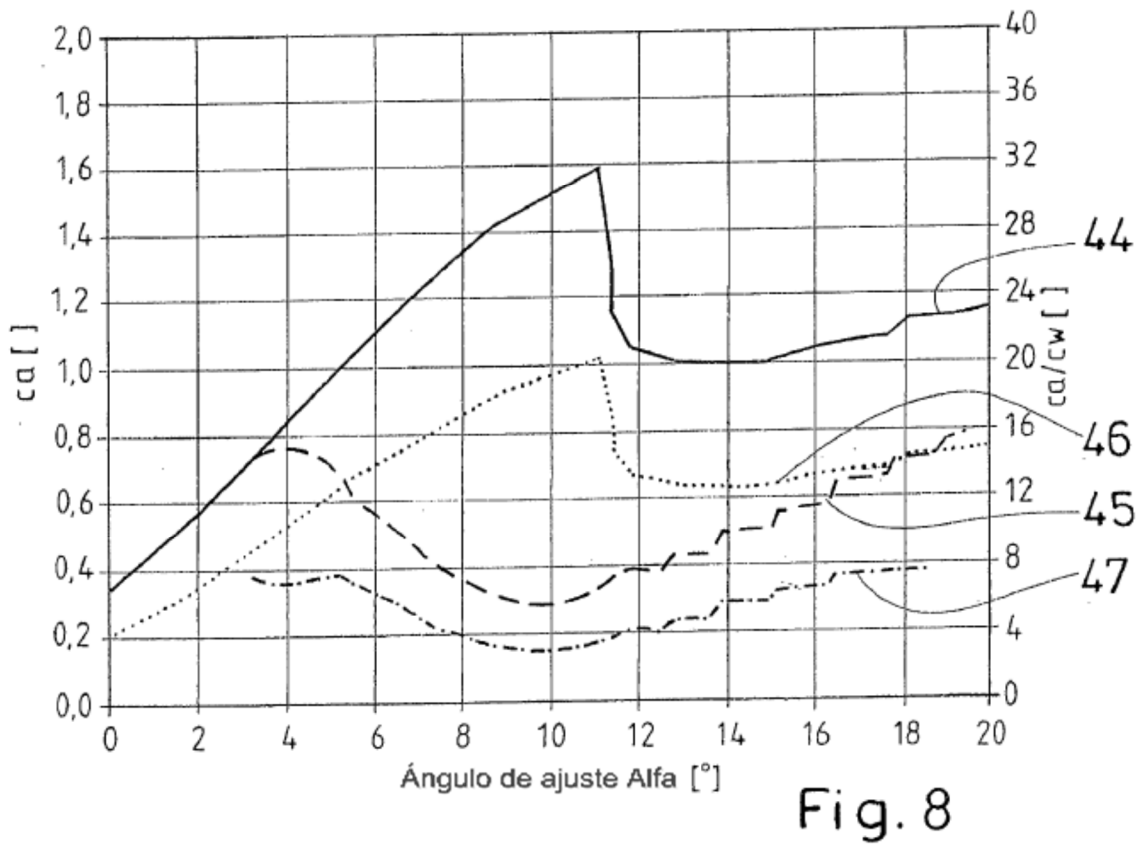
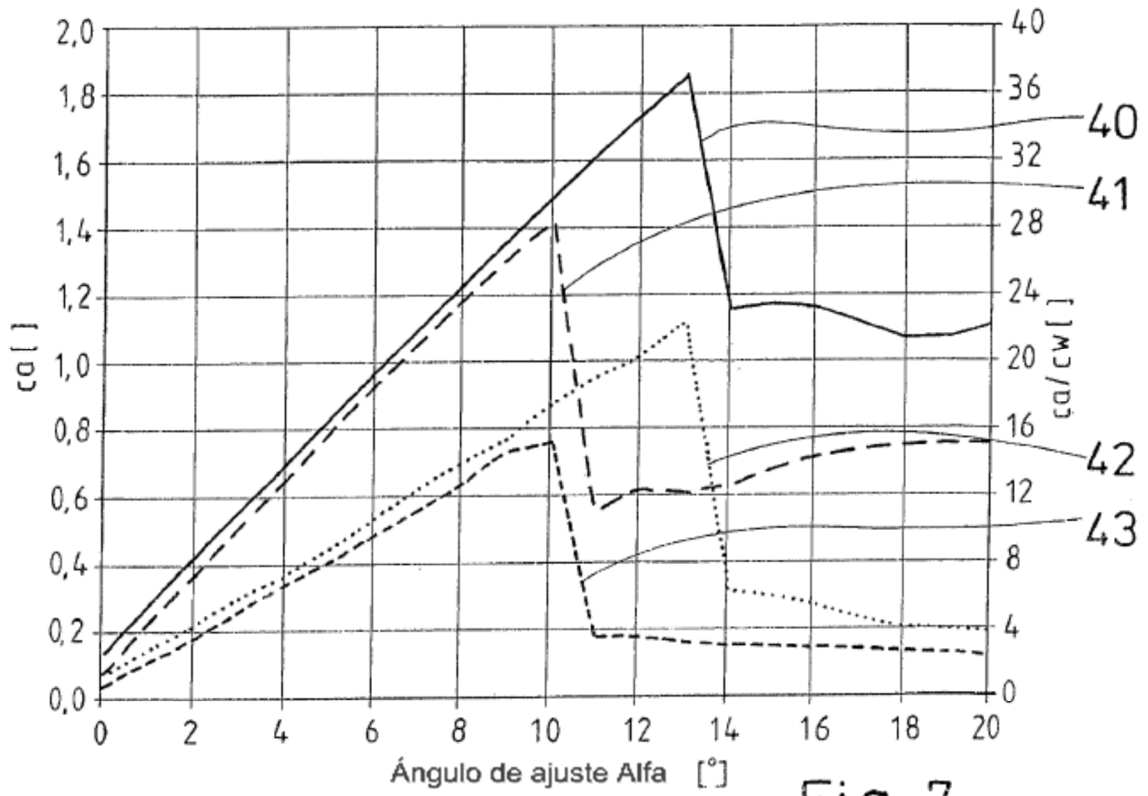


Fig. 6



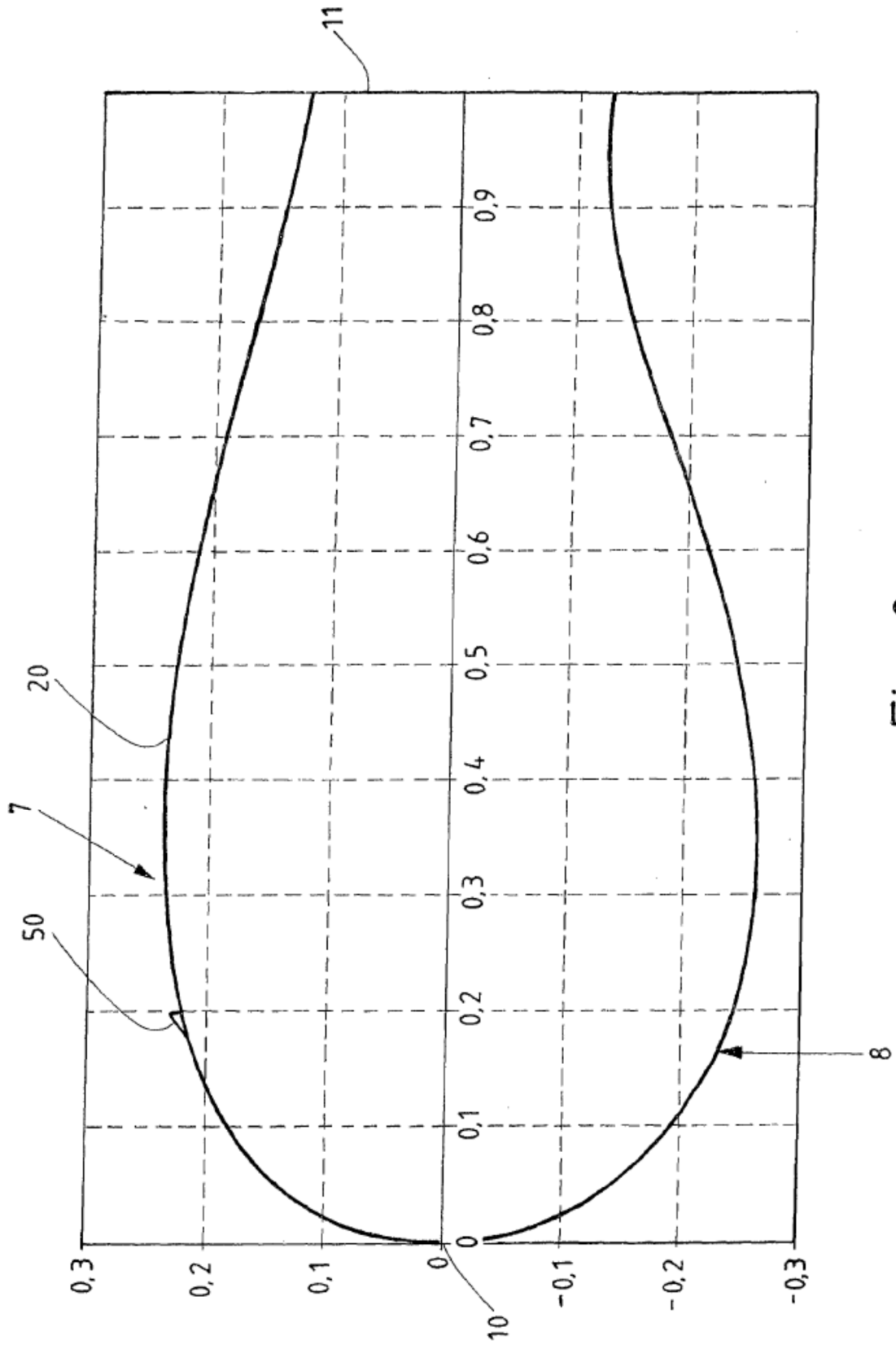


Fig. 9

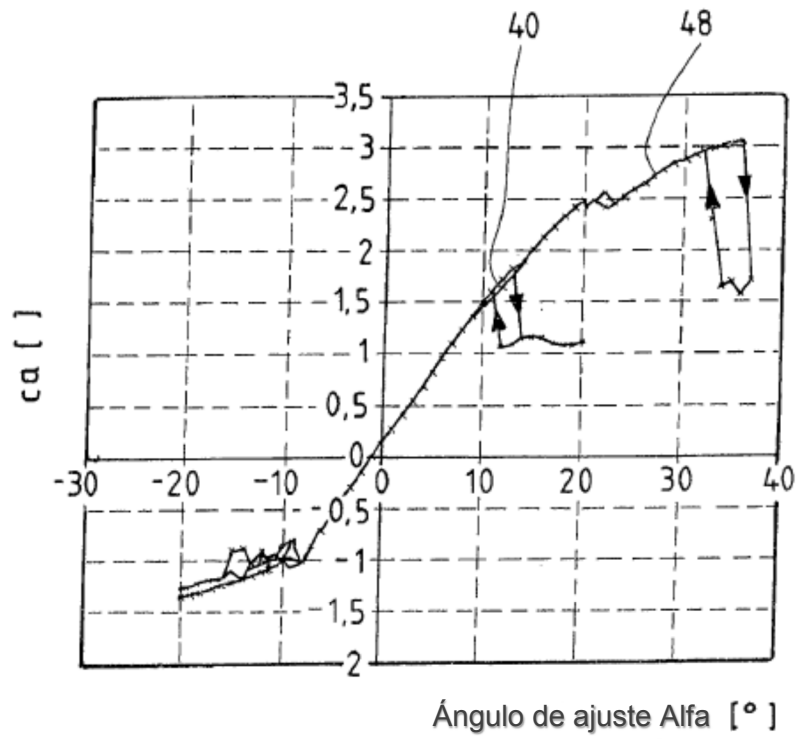


Fig. 10

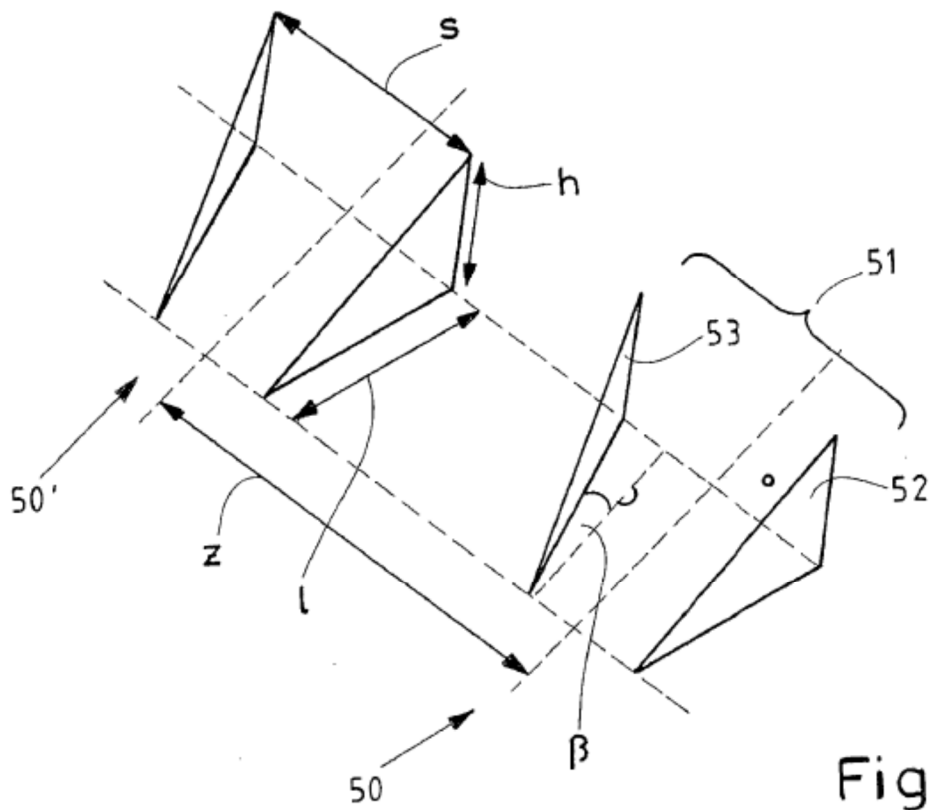


Fig. 11