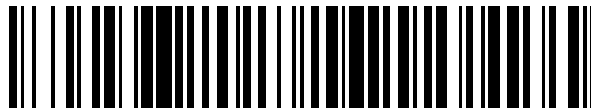


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 146**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2009 E 09778455 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2015 EP 2337950**

54 Título: **Perfil de una pala de rotor y pala de rotor de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

23.10.2008 DE 102008052858

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

16.07.2015

73 Titular/es:

**SENVION SE (100.0%)
Überseering 10 (Oval Office)
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**PETSCHÉ, MARC;
KORJAHN, MATTHIAS y
GOLLNICK, BERT**

74 Agente/Representante:

BOTELLA REYNA, Antonio

ES 2 541 146 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

Perfil de una pala de rotor y pala de rotor de una instalación de energía eólica.

- 5 La invención se refiere a un perfil de una pala de rotor de una instalación de energía eólica, una multiplicidad de perfiles de este tipo, así como una pala de rotor correspondiente de una instalación de energía eólica.

Del documento DE 10 2008 003 411 A1 se conoce un perfil correspondiente de una pala de rotor de una instalación de energía eólica, así como una familia correspondiente o una multiplicidad de perfiles. Los perfiles de ala o perfiles
10 dados a conocer en este documento presentan un borde de fuga romo, un lado de aspiración esencialmente oval y un lado de presión esencialmente en forma de S.

También se conocen otros perfiles. En particular también se conocen perfiles de baja velocidad, que se usan cerca de la raíz de la pala de rotor o cerca del buje de la instalación de energía eólica.

15 A partir de Dieter Allhaus "Niedriggeschwindigkeitsprofile [Perfiles de baja velocidad]", Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, se fabrica un perfil conocido con espesor relativamente bajo, dado que un perfil conocido en sí se obtiene mediante corte del borde de fuga o escalado alto en el espesor a los valores de espesor relativos requeridos que se necesitan cerca de la raíz de la pala. Como ejemplo se puede
20 mencionar para ello el FX 77-W-500, que se da a conocer en las páginas 162 a 163 en este libro mencionado. Este perfil obtiene con un número de Reynolds de 2,75 mill. en el estado limpio un coeficiente de sustentación máximo de $c_a = 1,6$ con un ángulo de ataque de 10° y en el estado sucio, es decir turbulento, un máximo c_a de 0,8 con un ángulo de ataque de 4° . El FX 77-W-500 tiene un espesor de perfil relativo del 50%.

25 En el marco de la invención, bajo ángulo de ataque o ángulo de flujo se entiende un ángulo del viento aparente que fluye respecto a la cuerda del perfil. Para definiciones eventuales se remite en particular al libro de texto de Erich Hau "Windkraftanlagen [Instalaciones eólicas]" 4ª edición, 2008, en particular página 126 y siguientes.

Los perfiles conocidos con espesor de perfil relativo elevado, como por ejemplo el FX 77-W-500, poseen en el
30 estado limpio un coeficiente de sustentación c_a aceptable, pero el coeficiente de sustentación máximo cae claramente con flujo turbulento, es decir, en el estado sucio. También se modifica claramente el ángulo de ataque aerodinámico con el que se obtiene el coeficiente de sustentación máximo en el estado sucio. Este comportamiento, a saber la sustentación baja en caso de ensuciamiento con una gran modificación de ángulo de ataque para el coeficiente de sustentación máximo, es muy desfavorable para las instalaciones eólicas. Si como ángulo de ataque
35 de diseño, es decir, el ángulo de ataque que se usa en el diseño de la pala de rotor durante el cálculo del perfil correspondiente, se selecciona el ángulo o un ángulo algo menor con el que el perfil limpio posee el coeficiente de sustentación máximo, lo que es razonable dado que se deben mantener pequeñas las profundidades de pala, el coeficiente de sustentación se reduce entonces en el estado sucio a una fracción del valor limpio. El perfil del FX 83-W-500 sólo tiene propiedades aerodinámicas moderadas debido al borde de fuga grueso ya con flujo laminar. Con
40 flujo turbulento presenta todavía coeficientes de sustentación elevados, pero luego tiene finezas relativamente malas. Además, el espesor máximo de este perfil está en aproximadamente el 80% de la longitud de perfil o longitud de cuerda, lo que es menos convenientemente estructuralmente para un buen desarrollo de curva de la pala de rotor. Por consiguiente sólo se puede fabricar una distancia relativamente pequeña de la banda principal en una pala con el perfil del FX 83-W-500, lo que da como resultado reducciones correspondientes en la capacidad de
45 construcción y el peso de la pala de una pala de rotor.

En los documentos GB 2 265 672 A, Standish K.J.: "Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Airfoils", Journal of Solar Energy Engineering, ASME International, DOI: 10.1115/1.1629103, DE 28 29 716 A1, DE 36 40 780 A1, EP 1 845 258 A1 y Fuglsang P. et al.: "Development of the Risø Wind Turbine Airfoils", Wind Energy, DOI: 50 10.1002/WEE.117 están representados distintos perfiles de las palas de rotor o alas.

El objetivo de la presente invención es especificar un perfil de una pala de rotor de una instalación de energía eólica y correspondientemente una multiplicidad de perfiles, así como una pala de rotor correspondiente que obtiene buenas propiedades aerodinámicas, tanto con flujos laminares como también turbulentos. En este caso también se
55 debe minimizar en particular el peso de la pala.

Este objetivo se resuelve mediante un perfil de una pala de rotor de una instalación de energía eólica con un lado superior (lado de aspiración) y un lado inferior (lado de presión) con una línea de curvatura media y una cuerda entre el borde de ataque y el borde de fuga del perfil, discurriendo la línea de curvatura media al menos por secciones por

debajo de la cuerda en la dirección del lado de presión, estando dispuesta la línea de curvatura media en una sección entre el 0% al 60% de la profundidad de perfil del perfil por debajo de la cuerda, estando dispuesta la línea de curvatura media completamente en una sección entre el 5% al 50%, en particular 2% a 60%, por debajo de la cuerda, presentando el perfil un espesor de perfil relativo de más del 49%, siendo la localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda menor del 35%.

Mediante esta medida en un perfil según la invención se puede seleccionar un ángulo de ataque elevado, pudiéndose obtener un coeficiente de sustentación elevado y una fineza elevada. De este modo se puede mantener baja la torsión de una pala de rotor provista de un perfil de este tipo o bien de una pala de rotor provista de una familia o de una multiplicidad de perfiles, de modo se puede obtener una distancia lo más grande posible de la banda principal sin una rotación de la banda principal y por consiguiente se reduce el peso de la pala de rotor.

Dado que la línea de curvatura media está dispuesta a una distancia entre el 0% al 60%, en particular el 0% al 50% de la profundidad de perfil del perfil por debajo de la cuerda, es posible un perfil con propiedades aerodinámicas muy buenas para una instalación de energía eólica.

Dado que la línea de curvatura media está dispuesta completamente en una sección entre el 5% al 50%, en particular el 2% al 60%, por debajo de la cuerda, el diseño del perfil también es relativamente poco problemático para números de Reynolds más bajos.

Preferentemente el valor de la curvatura máxima es menor de 0,015, es decir el 1,5%. La curvatura es en este caso la distancia de la línea de curvatura media respecto a la cuerda en porcentaje de la longitud de cuerda. La curvatura máxima es por consiguiente para el perfil dado la distancia mayor de la línea de curvatura media respecto a la cuerda en porcentaje de la longitud de cuerda. En el marco de la invención, la línea de curvatura media es la línea de los centros de los círculos inscritos entre el lado superior e inferior del perfil. En el marco de la invención, la cuerda está definida como la línea del centro del borde de fuga del perfil hacia el punto de perfil más alejado, lo que se corresponde con el punto de nariz. En el marco de la invención, la curvatura de la línea de curvatura media está definida como la segunda derivada de la función de la línea de curvatura media. El espesor de perfil máximo o en el marco de la invención también denominado espesor de perfil relativo es el espesor máximo de un perfil perpendicularmente a la cuerda referido a la longitud de cuerda. En el marco de la invención, la localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda está definida como la distancia entre el espesor de perfil máximo y el punto de nariz delantero referido a la longitud de cuerda, es decir, también indicado en porcentaje. En el marco de la invención, el espesor del borde de fuga está definido como el espesor del borde de fuga referido a la longitud de cuerda.

Preferentemente la segunda derivada de la línea de curvatura media (curvatura de la línea de curvatura media) es 0 o positiva del 10% al 40%, en particular del 5% al 50%, en particular del 2% al 60% de la profundidad de perfil. Este perfil también tiene un contenido inventivo propio.

Un perfil según la invención tiene propiedades aerodinámicas especialmente buenas, cuando el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 55% o igual al 55%, siendo la localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda menor que el 35%. Este perfil es apropiado en particular para los perfiles en el lado de la raíz de la pala de rotor.

Un perfil preferido y según la invención, que también tiene un contenido inventivo propio, está caracterizado porque el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más del 45%, en particular más del 50% o igual al 50%, obteniéndose con flujo turbulento una fineza mayor de 6, en particular mayor de 10, en particular mayor que 15. Al usar este perfil en la zona de la pala de rotor cerca de la raíz de la pala se usa eficientemente la energía contenida en el flujo pese a espesores de perfil relativamente elevados de más del 45%, también sin profundidad de pala extrema. Este efecto también se obtiene ampliamente con perfiles sucios, es decir, con flujo completamente turbulento de los perfiles. Además, los perfiles mencionados anteriormente y también los siguientes se han desarrollado de manera que el rango de trabajo se sitúa en ángulos de ataque aerodinámicos elevados por ejemplo $> 10^\circ$.

De este modo se evita una torsión geométrica elevada de la pala, desfavorable para la técnica de producción. Preferentemente el espesor de perfil relativo es mayor que el 65%, en particular mayor o igual al 70%.

Un perfil especialmente preferido, que también tiene un contenido inventivo propio, está caracterizado porque el perfil presenta un espesor de perfil relativo de más

del 45% con una localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda de menos del 50%, obteniéndose un coeficiente de sustentación con flujo turbulento de más de 0,9, en particular más de 1,4.

Preferentemente el espesor de perfil relativo se sitúa en más del 65%, en particular mayor

5 Preferentemente los coeficientes de sustentación se obtienen con ángulos de ataque o flujo de diseño de 6° a 15°, en particular 8° a 14°.

Otro perfil especialmente preferido, que presenta un contenido inventivo independiente, prevé un radio de nariz que es mayor del 18% de la profundidad de perfil, siendo asimétrico el perfil en la zona de nariz.

10 Preferentemente se obtiene una relación de más de 0,75 entre el coeficiente de sustentación máximo con flujo turbulento respecto al coeficiente de sustentación máximo con flujo laminar.

15 Preferentemente el lado de aspiración y el lado de presión del perfil presentan respectivamente al menos por secciones un contorno cóncavo en la zona posterior. De este modo se producen sobrevelocidades claramente menores en el lado de aspiración, mientras que en el lado de presión se genera una fracción clara de la sustentación total del perfil, mediante un asl denominado "rear loading".

20 Preferentemente se prevé una multiplicidad de perfiles según la invención, que están realizados en al menos una zona de una pala de rotor de una instalación de energía eólica.

Además, una pala de rotor de una instalación de energía eólica está provista preferentemente de una multiplicidad de perfiles según la invención. En particular la multiplicidad de perfiles está dispuesta preferentemente en una zona de transición de la pala de rotor cerca de la raíz de la pala.

25 En el marco de la invención, un flujo turbulento o flujo de perfil se considera entonces como presente cuando existe el cambio, definido aerodinámicamente limpio, del flujo de laminar a turbulento. En el marco de la invención, un flujo turbulento es en particular un estado de flujo en el que más del 90%, en particular más del 92%, de la superficie presenta una capa límite turbulenta. Esto se simula en el ensayo y también en las mediciones representadas a
30 continuación mediante la rugosidad que es suficientemente grande a fin de provocar un cambio de capa límite laminar a capa límite turbulenta. Para ello se realiza, por ejemplo, una banda de dientes en el lado de aspiración en el 5% del punto de nariz y en el lado de presión en el 10% del lado de punto de nariz, a veces también en el 5% (lado de aspiración) y 5% (lado de presión) ó 3%/5% ó 3%/3%. La localización exacta de la banda de dientes depende en este caso del radio de nariz y el ángulo de ataque a medir.

35 Una ventaja de los perfiles según la invención se sitúa en los coeficientes de sustentación elevados, tanto en el estado limpio como también en el estado sucio, es decir, con flujo laminar como también con flujo turbulento. Esta ventaja consiste en que los puntos de trabajo de los perfiles según la invención se sitúan con ángulos de ataque aerodinámicos elevados, por lo que se puede reducir claramente la torsión geométrica de toda la pala de rotor, lo
40 que es una gran ventaja en la producción y también conduce a pesos de la pala de rotor más bajos. También puede ocurrir que la torsión de pala máxima esté predeterminada de forma fija por la técnica de producción, de modo que se obtiene con los perfiles según la invención cerca de la raíz de la pala, de manera que éstos todavía se puedan usar en el punto de trabajo óptimo, lo que no es posible en los perfiles conocidos hasta ahora en la zona próxima a la pala de rotor. En los perfiles según la invención pueden predominar entonces, con los perfiles conocidos en la
45 punta de pala, ángulos de ataque con los que se genera una sustentación óptima y simultáneamente predominan otros ángulos de ataque cerca de la raíz de la pala que allí todavía generan una sustentación óptima o al menos todavía aceptable para los perfiles.

Otra ventaja consiste en la localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda, diseñada exactamente en
50 un buen desancho de curva dentro de la pala de rotor. Esto posibilita una distancia de banda principal máxima en la zona de espesores de perfil relativos del 35% hasta el cilindro (en la raíz de la pala de rotor) con curvaturas lo más pequeñas posibles en la banda de nariz y borde de fuga.

En particular es ventajoso el espesor de perfil máximo situado en comparación más hacia delante y/o el radio de
55 nariz relativamente grande.

Todas las características también las características individuales, que se dan a conocer en combinación con otras características, se consideran por sí solas o en combinación como esenciales para la invención.

La invención se describe a continuación sin limitación de la idea general de la invención mediante ejemplos de realización en referencia a los dibujos, remitiéndose expresamente a los dibujos en relación con todas las particularidades según la invención no explicadas más en detalle en el texto. Muestran:

- 5 Fig. 1 una representación esquemática de una pala de rotor con perfiles inscritos,
 Fig. 2 un perfil según la invención en comparación a un perfil del estado de la técnica,
 10 Fig. 3 otro perfil según la invención en comparación a otro perfil del estado de la técnica,
 Fig. 4 un perfil del estado de la técnica en comparación a tres perfiles según la invención,
 Fig. 5 un diagrama esquemático referido a curvas polares de perfil calculadas de un perfil según la invención,
 15 Fig. 6 un diagrama esquemático referido a curvas polares de perfil calculadas de un perfil del estado de la técnica,
 Fig. 7 un diagrama esquemático de curvas polares de perfil medidas de un perfil según la invención, y
 20 Fig. 8 un diagrama esquemático de curvas polares de perfil medidas de un perfil del estado de la técnica.

En las figuras siguientes, los elementos iguales o similares o partes correspondientes están provistos respectivamente de las mismas referencias, de modo que se prescinde de una nueva presentación correspondiente.

- 25 La fig. 1 muestra esquemáticamente una pala de rotor 5 de una instalación de energía eólica, que no está representada, estando dibujados ya esquemáticamente algunos perfiles 1-4, así como 6.

Los perfiles según la invención 1-4 están previstos en la zona de transición 13 cerca de una raíz de una pala de rotor 12. La zona de transición 13 se puede destacar, por ejemplo, porque el borde de fuga 11 ya no acaba en punta, según está previstos en los otros perfiles 6, sino que está configurado como, y a saber por ejemplo tanto más romos cuanto más cerca están los perfiles de la raíz de la pala de rotor 12. Para la mejor visualización también está indicado el borde de ataque 10 y un lado superior o lado de aspiración 7 y un lado inferior o lado de presión 8. En el marco de la invención, son especialmente interesantes los perfiles 1-4 que se sitúan en la zona de transición 13. Estos perfiles 1-4 se deben explicar ahora adicionalmente.

- 35 La fig. 2 muestra un perfil según la invención en comparación a un perfil del estado de la técnica. El perfil 20 según la invención, que tiene la designación RE-W-50-B6, presenta una línea de curvatura media 21 curvada hacia el lado de presión 8 en la zona de perfil delantera hasta el 60% ó 0,6 de la longitud de cuerda. Sólo con aproximadamente 0,63 de la longitud de cuerda, la línea de curvatura media 21 corta la cuerda 18 y va en la dirección del lado de aspiración 7. Además, en comparación al perfil F 83-W-500 (véase Allhaus, en el lugar especificado, página 552, 553) que lleva la referencia 22, el espesor de perfil máximo se sitúa relativamente hacia lejos hacia delante. En el perfil 20, éste se sitúa en 34,4% ó 0,344 de la profundidad de perfil o longitud de cuerda. Los perfiles conocidos, que se denominan en el documento especificado anteriormente de Allhaus, tienen localizaciones del espesor máximo en porcentaje de la cuerda del 37,4% al 78,7%.

- 45 El radio de nariz del perfil 20, con 23,3% de la profundidad de perfil, también es claramente mayor que los perfiles de comparación con valores entre el 5,6% al 14,8%, debiéndose tener en cuenta aquí que el perfil también es asimétrico en la zona de la nariz. El perfil de comparación 22, a saber el FX 83-W-500, también tiene una línea de curvatura media 23 que está dispuesta completamente por encima de la cuerda 18 hacia el lado de aspiración 7. El espesor de perfil relativo del perfil 22 se sitúa en el 50%. Éste se sitúa con una profundidad de perfil del 78,7%. Existe una curvatura máxima de 0,02539 con una profundidad de perfil del 52,7%. El radio de nariz es de 0,056 ó 5,6%. Existe una superficie de sección transversal de perfil de 0,4134 y un espesor de borde de fuga de 0,479% ó 47,9%. El perfil 20 según la invención presenta un espesor de perfil relativo del 50% con una profundidad de perfil del 34,4% y una curvatura máxima de 0,0123. La curvatura máxima se sitúa con una profundidad de perfil del 82,5%. El radio de nariz es del 23,3%, la superficie de sección transversal del perfil 0,3927 y el espesor del borde de fuga se sitúa en el 25,7%. Se puede reconocer que en particular en el lado de presión 8 en la zona posterior del perfil se produce un contorno cóncavo del perfil. Éste también se da en el lado de aspiración, sin embargo, no tan intenso y acentuado prominentemente como en el lado de presión 8. Por el contrario el contorno del perfil 22 según el estado de la técnica es convexo en la zona posterior.

- En la fig. 3 está representado de nuevo un perfil según la invención, a saber el perfil RE-W-70-B9, respecto a un perfil del estado de la técnica, a saber el perfil FX 79-W-660A. También están representadas las líneas de curvatura media 25 y 27 correspondientes. En este caso la línea de curvatura media 25 del RE-W-70-B9 también está dispuesta por debajo de la cuerda hacia el lado de presión 8 y la línea de curvatura media 27 del FX 79-W-660A del estado de la técnica está dispuesta por encima de la cuerda 18 hacia el lado de aspiración 7. El perfil 24 según la invención presenta un espesor de perfil relativo del 70% con una profundidad de perfil del 47,7%. Está prevista una curvatura mínima o máxima de valor de $-0,014$ con una profundidad de perfil del 39,9%. La curvatura positiva máxima es de $0,0118$ en el 85% de profundidad de perfil. El radio de nariz es del 23,87%.
- En el perfil 26 según el estado de la técnica existe un espesor de perfil relativo del 66,4% con una profundidad de perfil del 46,7%. Existe una curvatura máxima del 2,2% con una profundidad de perfil del 17,1%. El radio de nariz es del 4,1%.
- La fig. 4 muestra otros cuatro perfiles de una pala de rotor 5 de una instalación de energía eólica, siendo los perfiles 28, 29 y 30 perfiles según la invención y siendo un perfil, a saber el perfil 31, un perfil del estado de la técnica.
- El perfil 31 se corresponde con el FX 77-W-700 del estado de la técnica. Éste se puede realizar, por ejemplo, mediante el documento de Dieter Althaus "*Niedriggeschwindigkeitsprofile* [Perfiles de baja velocidad]", que está indicado arriba, de modo que el perfil FX 77-W-500, que está indicado en las páginas 162 y 163, se trunca aún más atrás, y a saber de modo que se origina un espesor relativo o espesor de perfil relativo del 70%. Éste se sitúa entonces naturalmente en una profundidad de perfil situado relativamente detrás, en este caso en aproximadamente el 68%.
- Los perfiles según la invención 28 conforme al RE-W-70-A1, 29 conforme al RE-W-70-A2 y 30 conforme al RE-W-70-B1 también tienen un espesor de perfil relativo del 70% con una localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda de aproximadamente el 34% para el perfil 28, aproximadamente el 37% para el perfil 29 y aproximadamente el 50% para el perfil 30. Aquí también se puede reconocer en los perfiles 28 a 30 según la invención que hacia el borde de fuga del perfil están previstos contornos cóncavos, que se acentúan más intensamente en particular en el lado de presión 8.
- La fig. 5 muestra un diagrama esquemático referido a las curvas polares de perfil calculadas de un perfil según la invención, a saber del RE-W-70-B9. Está representado el coeficiente de sustentación c_a respecto al ángulo de ataque α (alfa) y la relación del coeficiente de sustentación respecto al coeficiente de resistencia c_w . Esta relación es la fineza. Las curvas polares de la fig. 5 son un cálculo de las curvas polares de perfil para un número de Reynolds de 3 mill. Se han realizado cálculos correspondientes para un flujo turbulento y un flujo laminar. La curva polar de perfil 32 representa un cálculo del coeficiente de sustentación c_a con flujo laminar y la curva polar de perfil 33 el valor correspondiente con flujo turbulento. La curva polar de perfil para la fineza con flujo laminar está provista de la referencia 34 y correspondientemente con flujo turbulento de la referencia 35. Se puede reconocer que el coeficiente de sustentación presenta un máximo con aproximadamente $14,8^\circ$ del ángulo de ataque, y a saber con flujo laminar, y un máximo con aproximadamente 9° con flujo turbulento. La fineza está provista de un máximo con flujo laminar también con aproximadamente $14,8^\circ$ y con flujo turbulento con aproximadamente 11° .
- En comparación a las curvas polares de perfil correspondientes de un perfil según la invención según la fig. 5, en la fig. 6 están representadas las curvas polares de perfil 36, 37, 38 y 39 correspondientes de un perfil conocido, a saber del FW 79-W-660 A. En particular se puede reconocer que un máximo local del coeficiente de sustentación se da con flujo laminar en la curva polar de perfil 36 con aproximadamente 7° y en una curva polar de perfil referida a la fineza con flujo laminar, que está provista de la referencia 38, también existe un máximo correspondiente en 7° del ángulo de ataque α .
- En el caso de flujo turbulento, mediante la curva polar de perfil 37, que también se refiere al coeficiente de sustentación c_a , se puede reconocer claramente que la sustentación está claramente minimizada. Lo correspondiente también es válido para la curva polar de perfil 39 referida a la fineza con flujo turbulento.
- La fig. 7 muestra un diagrama esquemático de curvas polares de perfil medidas de un perfil según la invención, a saber del perfil RE-W-50-B6, que ya se ha representado en la fig. 2. La curva polar de perfil 40 representa el coeficiente de sustentación con flujo laminar con un número de Reynolds de 3 mill. Se obtiene un coeficiente de sustentación máximo de aproximadamente 1,84 con un ángulo de ataque de aproximadamente 13° .

Se puede reconocer adecuadamente que con flujo turbulento según la curva polar de perfil 41 sólo se reduce un poco el coeficiente de sustentación. Se da un máximo de 1,4 con un ángulo de ataque o flujo α de aproximadamente 10°. El número de Reynolds aquí ascendió en la medición a 3,1 milí. La curva polar de perfil 42 referido a la fineza (c_a/c_w) con flujo laminar tiene un máximo en el ángulo de ataque de aproximadamente 13°. El cociente es aquí 5 aproximadamente 22. Con flujo turbulento se reduce la fineza máxima según la curva polar de perfil 43 a 15,5 con un ángulo de ataque de aproximadamente 10°.

Para la comparación se muestra un diagrama esquemático correspondiente en la fig. 8, que representa las curvas polares de perfil medidas de un perfil del estado de la técnica, a saber del perfil FX 77-W-500. En comparación a las 10 curvas polares de perfil del coeficiente de sustentación c_a 44 con flujo laminar y la curva polar de perfil 46 referido a la fineza con flujo laminar, que ya presentan en sí valores peores que según la invención con flujo laminar, las curvas polares de perfil con flujo turbulento se vienen abajo completamente. Así aquí también se caracteriza con 45 la curva polar de perfil medida para el coeficiente de sustentación c_a con flujo turbulento y está representada la correspondiente curva polar de perfil 47 medida referido a la fineza también para flujo turbulento.

15

Lista de referencias

1 - 4	Perfil
5	Pala de rotor
20 6	Perfil
7	Lado de aspiración
8	Lado de presión
10	Borde de ataque
11	Borde de fuga
25 12	Raiz de la pala
13	Zona de transición
18	Cuerda
20	Perfil RE-W-50-B6
21	Línea de curvatura media del RE-W-50-B6
30 22	Perfil FX 83-W-500
23	Línea de curvatura media del perfil FX 83-W-500
24	Perfil RE-W-70-B9
25	Línea de curvatura media del RE-W-70-B9
26	Perfil FX 79-W-660 A
35 27	Línea de curvatura media del FX 79-W-660A
28	Perfil RE-W-70-A1
29	Perfil RE-W-70-A2
30	Perfil RE-W-70-B1
31	Perfil FX 70-W-700
40 32	Curva polar de perfil c_a laminar
33	Curva polar de perfil c_a turbulento
34	Curva polar de perfil c_a/c_w laminar
35	Curva polar de perfil c_a/c_w turbulento
36	Curva polar de perfil c_a laminar
45 37	Curva polar de perfil c_a turbulento
38	Curva polar de perfil c_a/c_w laminar
39	Curva polar de perfil c_a/c_w turbulento
40	Curva polar de perfil c_a laminar
41	Curva polar de perfil c_a turbulento
50 42	Curva polar de perfil c_a/c_w laminar
43	Curva polar de perfil c_a/c_w turbulento
44	Curva polar de perfil c_a laminar
45	Curva polar de perfil c_a turbulento
46	Curva polar de perfil c_a/c_w laminar
55 47	Curva polar de perfil c_a/c_w turbulento

REIVINDICACIONES

1. Perfil (1-4) de una pala de rotor (5) de una instalación de energía eólica con un lado superior (lado de aspiración) (7) y un lado inferior (lado de presión) (8) con una línea de curvatura media (21, 25) y una cuerda (18) entre el borde de ataque (10) y el borde de fuga (11) del perfil (1-4), en el que la línea de curvatura media (21, 25) discurre al menos por secciones por debajo de la cuerda (18) en la dirección del lado de presión (8), en el que la línea de curvatura media (21, 25) está dispuesta en una sección entre el 0% al 60% de la profundidad de perfil del perfil (1-4) por debajo de la cuerda (18), caracterizado porque la línea de curvatura media (21, 25) está dispuesta completamente en una sección entre el 5% al 50%, en particular 2% a 60%, por debajo de la cuerda (18), presentando el perfil (1-4) un espesor de perfil relativo de más del 49%, siendo la localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda menor del 35%.
2. Perfil (1-4) según la reivindicación 1, caracterizado porque el valor de la curvatura máxima es menor del 1,5%.
3. Perfil (1-4) según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la segunda derivada de la línea de curvatura media (21, 25) (curvatura de la línea de curvatura media) es igual a cero o positiva del 10% al 40%, en particular del 5% al 50%, en particular del 2% al 60% de la profundidad de perfil.
4. Perfil (1-4) según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el perfil (1-4) presenta un espesor de perfil relativo de más del 55% o igual al 55%, siendo la localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda menor del 35%.
5. Perfil (1-4) según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el perfil (1-4) presenta un espesor de perfil relativo de más del 49%, en particular más del 50% o igual al 50%, obteniéndose con flujo turbulento una fineza mayor de 6, en particular mayor de 10, en particular mayor de 15.
6. Perfil según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el perfil (1-4) presenta un espesor de perfil relativo de más del 49% con una localización del espesor máximo en porcentaje de la cuerda de menos del 35%, obteniéndose un coeficiente de sustentación (ca) con flujo turbulento de más de 0,9, en particular más de 1,4.
7. Perfil (1-4) según la reivindicación 5 ó 6, caracterizado porque el espesor de perfil relativo se sitúa en más del 65%, en particular mayor o igual al 70%.
8. Perfil (1-4) según la reivindicación 6 ó 7, caracterizado por obtener con ángulos de ataque de 6° a 15°, en particular 8° a 14°.
9. Perfil según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque está previsto un radio de nariz que es mayor que el 18% de la profundidad de perfil, siendo asimétrico el perfil (1-4) en la zona de nariz.
10. Perfil (1-4) según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque se obtiene una relación de más de 0,75 entre el coeficiente de sustentación (ca) máximo con flujo turbulento respecto al coeficiente de sustentación (ca) máximo con flujo laminar.
11. Perfil (1-4) según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque el lado de aspiración (7) y el lado de presión (8) del perfil (1-4) presentan respectivamente al menos por zonas un contorno cóncavo en la zona posterior.
12. Multiplicidad de perfiles (1-4) según una de las reivindicaciones 1 a 11, que están realizados en al menos una zona de la pala de rotor (5) de una instalación de energía eólica.
13. Pala de rotor (5) de una instalación de energía eólica con una multiplicidad de perfiles (1-4) según la reivindicación 12, en la que en particular la multiplicidad de perfiles (1-4) está dispuesta en una zona de transición (13) de la pala de rotor (5) cerca de la raíz de la pala (12).

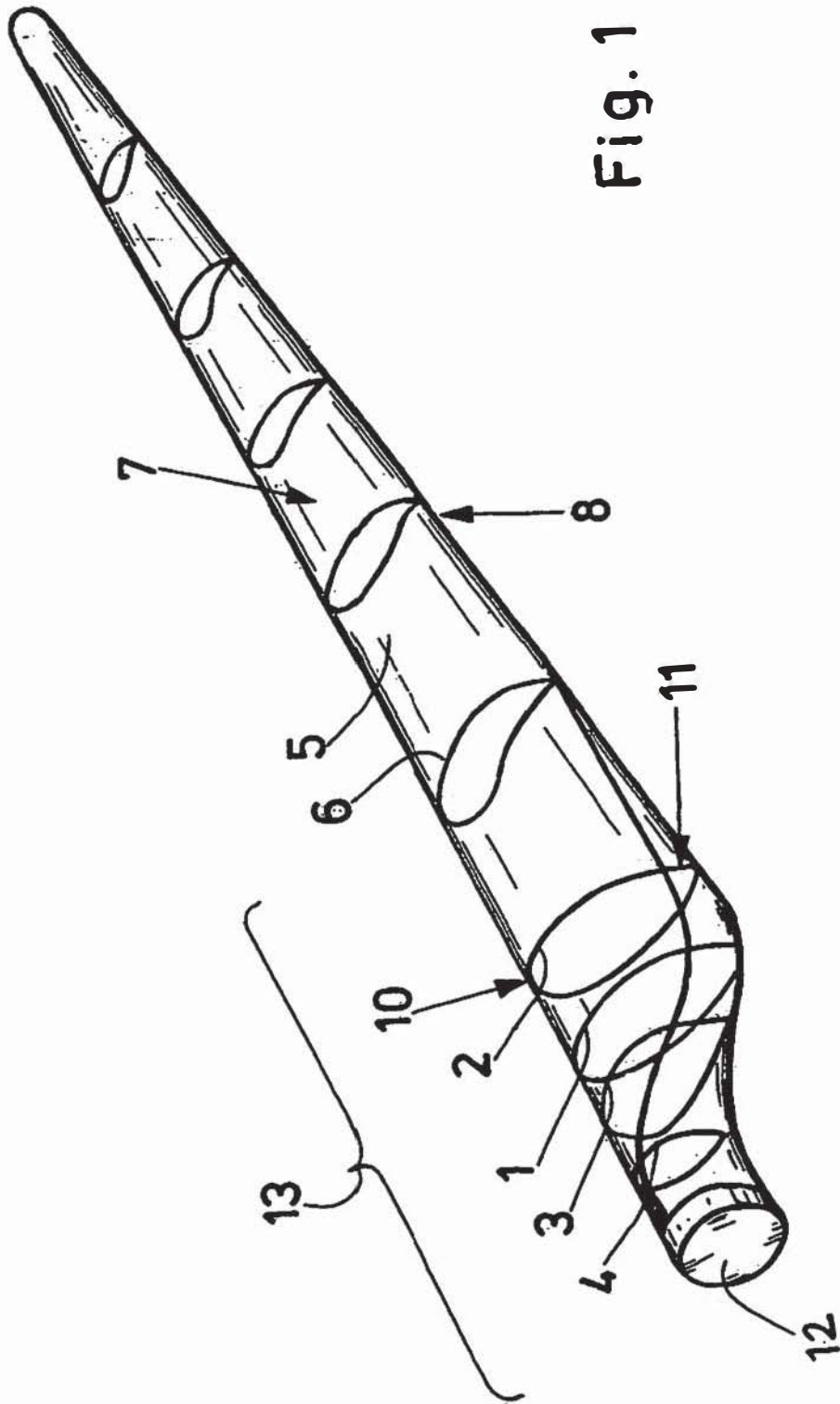


Fig. 1

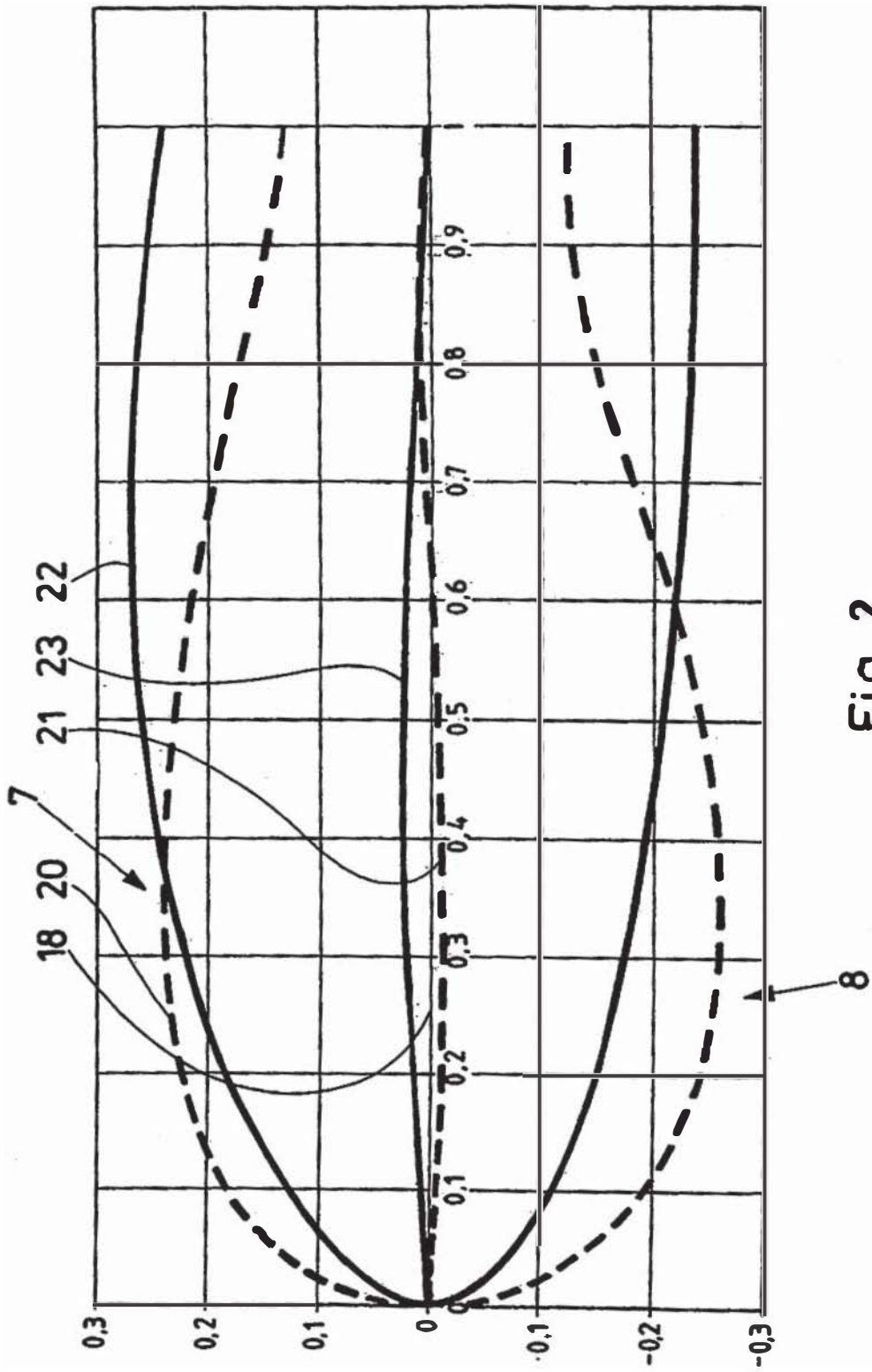


Fig. 2

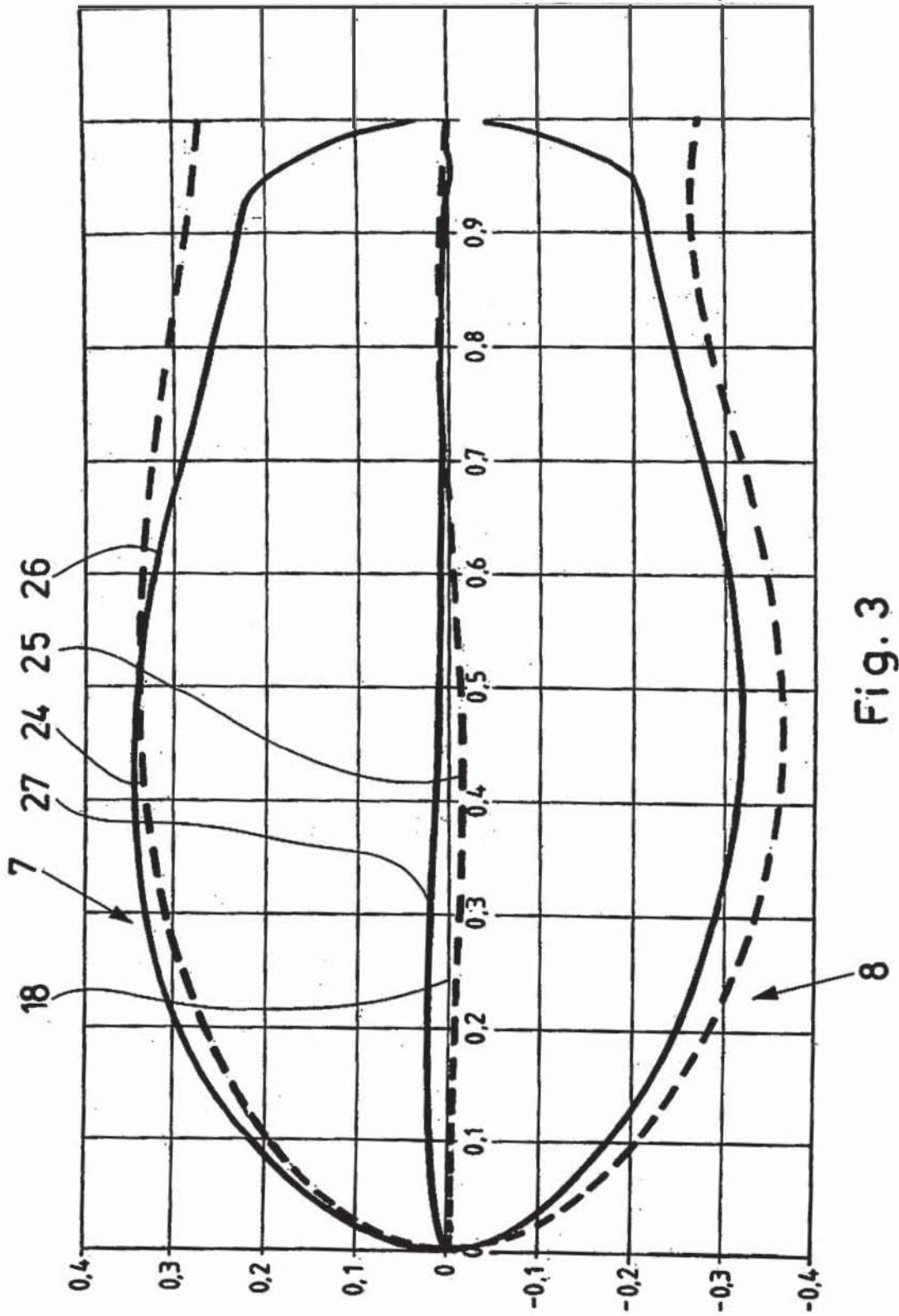


Fig. 3

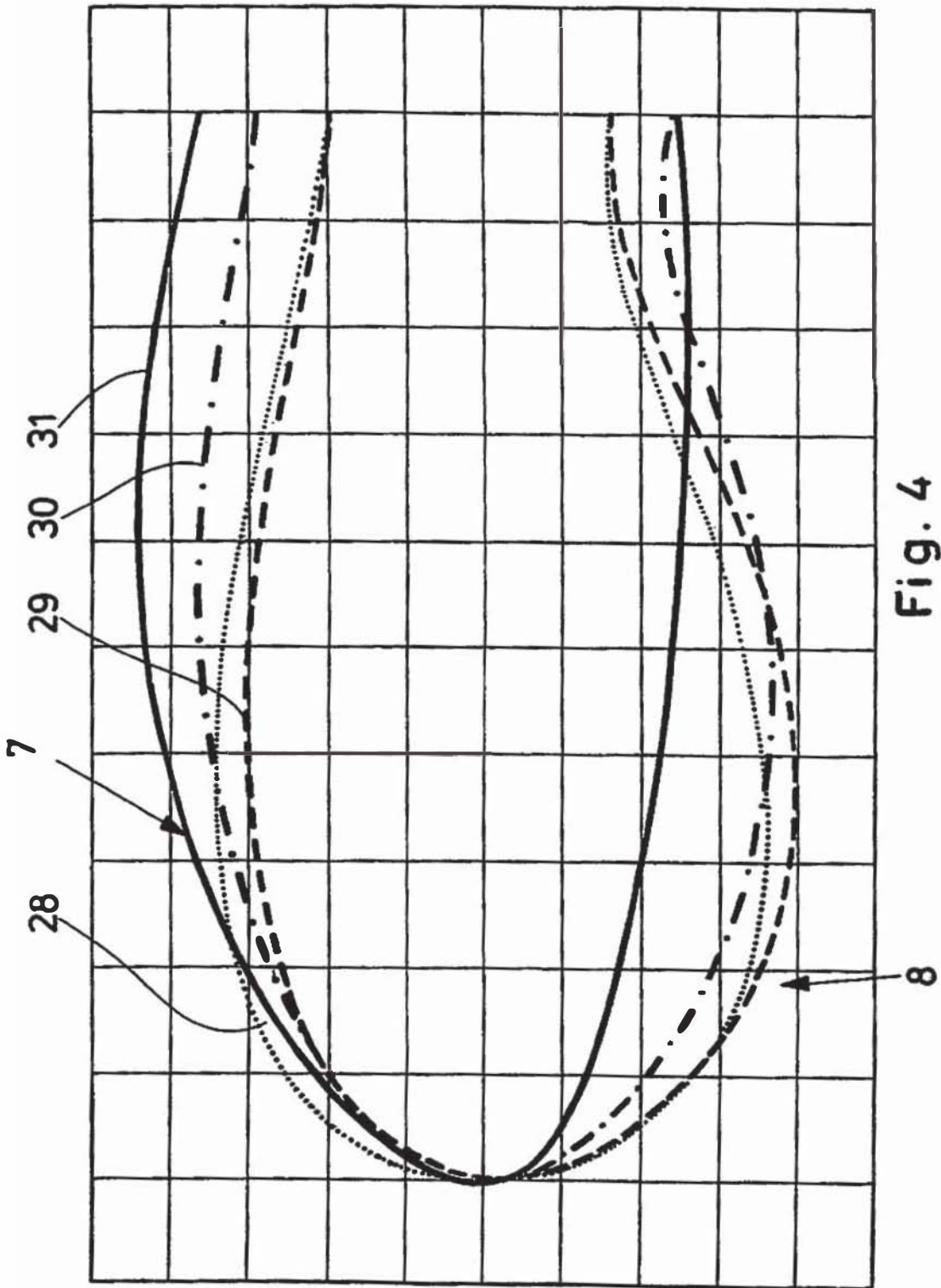


Fig. 4

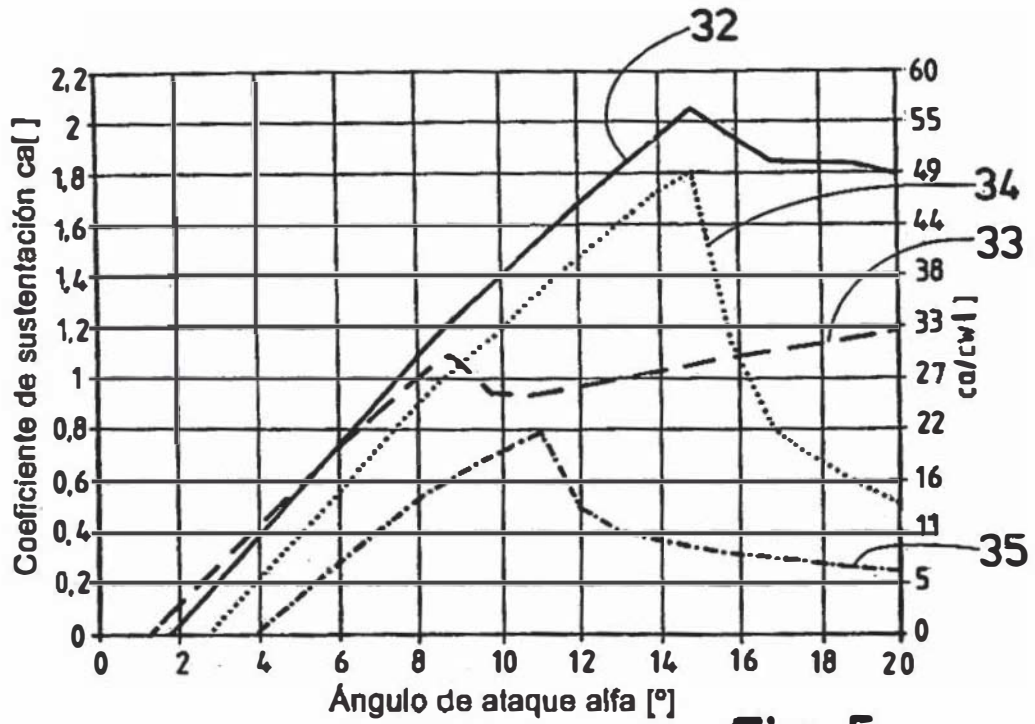


Fig. 5

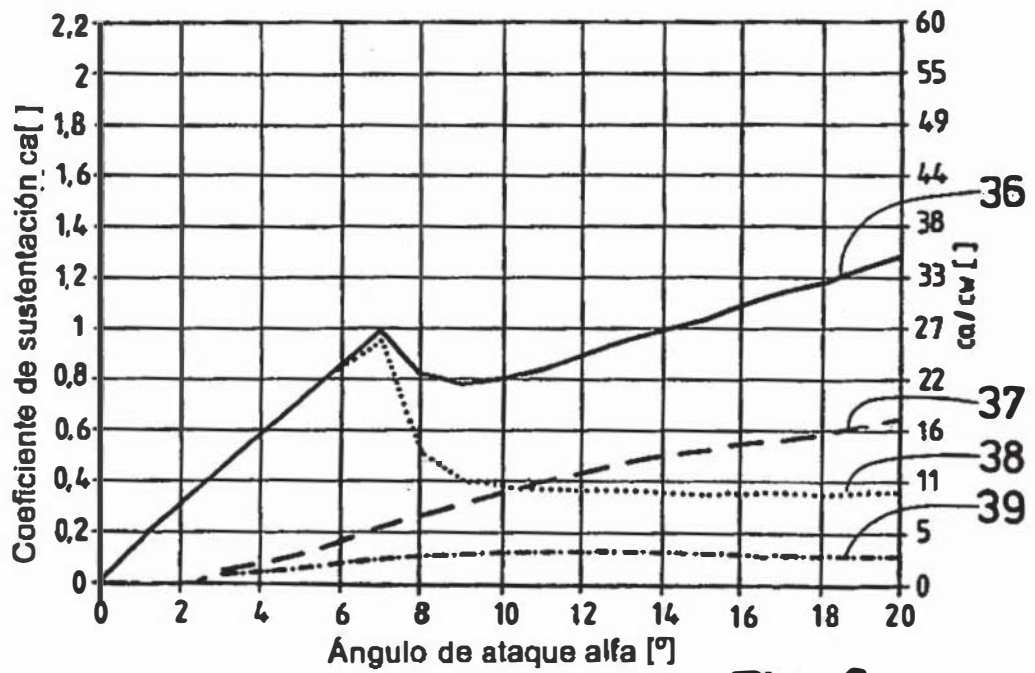


Fig. 6

