

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 513 396**

(51) Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.03.2010 E 10002871 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.07.2014 EP 2366891**

---

(54) Título: **Pala de rotor de planta de energía eólica**

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

**27.10.2014**

(73) Titular/es:

**NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)  
Langenhorner Chaussee 600  
22419 Hamburg, DE**

(72) Inventor/es:

**FISCHER, GUNTER y  
ROCHHOLZ, HERMANN**

(74) Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 513 396 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 planta de energía eólica.

- 5 La invención se refiere a una pala de rotor de planta de energía eólica con una punta de pala, una raíz de pala, un borde de ataque, un borde de salida, un lado de presión, un lado de succión y una sección transversal que varía desde la punta de pala hacia la raíz de pala, estando formada la sección transversal por un perfil aerodinámico en el centro de la pala de rotor y presentando una forma esencialmente circular en la raíz de pala. Este tipo de palas de rotor se utiliza en particular en plantas de energía eólica con un rotor de dos o tres palas de eje horizontal. Las 10 mismas están unidas en su raíz de pala con un buje del rotor. A este respecto, en la raíz de pala de la pala de rotor puede estar configurada una brida de fijación y el ángulo de paso de la pala puede estar diseñado de manera ajustable con ayuda de un accionamiento de paso.

Las palas de rotor conocidas representan un compromiso entre la forma aerodinámica óptima, los requisitos del 15 diseño de resistencia y la intención de desarrollar una técnica de fabricación racional. En particular, el espesor relativo de los perfiles aerodinámicos utilizados se ha de seleccionar teniendo en cuenta los criterios de resistencia. En este caso, en la zona exterior de las palas de rotor, que resulta particularmente importante desde el punto de vista aerodinámico, se puede utilizar un espesor de pala relativamente pequeño con menos de 30% de la profundidad de perfil, con frecuencia entre 18% y 15% de la misma. La zona interior, más cercana al buje, de las 20 palas de rotor desempeña un papel menos decisivo desde el punto de vista aerodinámico, de modo que es posible desviarse en gran medida de un resultado aerodinámico óptimo e implementar un espesor de pala relativamente grande a fin de conseguir una resistencia suficiente. El perfil aerodinámico se transforma en la sección transversal esencialmente circular hacia la raíz de pala. Por el estado de la técnica son conocidos diferentes enfoques para mejorar el rendimiento aerodinámico de las palas de rotor en la zona interior

- 25 50 Por el documento WO02/08600A1 es conocido utilizar una pieza de montaje de forma nervada que se extiende en dirección longitudinal a lo largo del borde de salida de la pala de rotor. La pieza de montaje se encuentra principalmente en una zona de unión cilíndrica de la pala de rotor que une una sección de pala de rotor más externa, provista de un perfil aerodinámico, con el buje. De este modo, la zona de unión ineficaz en cambio 30 aerodinámicamente contribuye también al rendimiento del rotor.

Por el documento DE102006017897B4 es conocida una pala de rotor para una planta de energía eólica con un dispositivo adicional en el lado de presión, cerca de la raíz de pala. El dispositivo adicional conocido se extiende esencialmente en dirección longitudinal de la pala de rotor. Una llamada superficie de incidencia adicional del 35 40 conocido dispositivo adicional comienza en el lado de presión en un punto del perfil, en el que una tangente situada en el perfil discurre en un intervalo angular de -20° a +20° respecto a la dirección de incidencia de diseño. La superficie de incidencia adicional discurre aproximadamente en el ángulo de esta tangente hasta un borde de salida del dispositivo adicional que se diferencia del borde de salida de la pala de rotor y al que se conecta una superficie trasera del dispositivo adicional que conduce nuevamente hacia el lado de presión del perfil. Por los documentos EP2138714A1 y EP2141358A1 son conocidos dispositivos adicionales comparables.

Por el documento WO2004/097215A1 es conocida una pala de rotor de una planta de energía eólica que está concebida especialmente para una planta de energía eólica sin engranaje. Este tipo de plantas de energía eólica presenta un buje con un diámetro relativamente grande. En el caso de esta conocida pala de rotor, el perfil 45 aerodinámico de la pala de rotor se prolonga esencialmente hasta el buje, lo que genera una profundidad de perfil muy grande debido al gran espesor de perfil cerca del buje que es necesario por razones de resistencia. Para conseguir esto, la zona trasera del perfil se forma aquí mediante una pieza de montaje.

Por el documento EP1845258A1 es conocida una pala de rotor de planta de energía eólica, cuya sección transversal 50 55 presenta una sección complementaria de lado de presión cóncava en una zona de transición entre una raíz de pala circular y un perfil aerodinámico. El extremo trasero de esta sección complementaria de lado de presión está unido al borde de salida mediante una sección recta que está alineada en perpendicular a la cuerda de perfil y pertenece asimismo al lado de presión. El lado de succión de la pala de rotor conocida se forma desde el borde de ataque hasta el borde de salida mediante una sección convexa que se transforma en la sección recta en el borde de salida con la configuración de un doblez dirigido hacia afuera.

Por el documento WO2010/013024A1 es conocida una pala de rotor para una planta de energía eólica con una pieza complementaria de pala de rotor. La pieza complementaria de pala de rotor está instalada en la zona del borde de salida de una sección de pala de rotor situada en el lado de la raíz de pala. Ésta presenta una construcción de

bastidor y una envoltura con dos superficies que prolongan un lado de succión y un lado de presión de la pieza principal de pala de rotor.

La patente US4,976,587 se refiere a una pala de rotor con un perfil NASA LS(1)-04xx. Estos perfiles presentan un 5 lado de succión curvado de manera completamente convexa.

Por documento WO2007/071249A1 son conocidos otros perfiles de una pala de rotor.

Partiendo de esto, la invención tiene el objetivo de poner a disposición una pala de rotor de planta de energía eólica 10 que se pueda fabricar con facilidad y consiga un rendimiento mejorado en particular en la zona interior del rotor.

Este objetivo se consigue mediante la pala de rotor de planta de energía eólica con las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones secundarias subsiguen configuraciones ventajosas.

15 La pala de rotor de planta de energía eólica, según la invención, presenta una punta de pala, una raíz de pala, un borde de ataque, un borde de salida, un lado de presión, un lado de succión y una sección transversal que varía desde la punta de pala hacia la raíz de pala, estando formada la sección transversal en el centro de la pala de rotor por un perfil aerodinámico y presentando una forma esencialmente circular en la raíz de pala. En una sección longitudinal de la pala de rotor dispuesta entre la raíz de pala y el centro de la pala de rotor, ésta tiene una sección 20 transversal que comprende lo siguiente:

- una sección de lado de presión convexa que se extiende desde el borde de ataque hasta un punto de inflexión situado en el lado de presión,

25 - una sección complementaria de lado de presión cóncava que se conecta al punto de inflexión situado en el lado de presión con una curvatura continua y se extiende hasta el borde de salida,

- una sección de lado de succión que está curvada de forma convexa y se extiende desde el borde de ataque hasta un punto de doblado o inflexión situado en el lado de succión, y

30 - una sección complementaria de lado de succión que se extiende desde el punto de doblado o inflexión situado en el lado de succión hasta el borde de salida.

Como todas las palas de rotor de planta de energía eólica, la pala de rotor según la invención está diseñada de 35 modo que posibilita un consumo de potencia óptimo a partir del viento en caso de una relación determinada entre la velocidad de rotación en la punta de pala y la velocidad del viento, es decir, en caso de la llamada velocidad específica de diseño, y un ángulo de paso predefinido. Si la pala de rotor se opera a la velocidad específica de diseño, el aire incide en cada posición longitudinal de la pala de rotor en una dirección de incidencia definida. Ésta se identifica a continuación como dirección de incidencia de diseño. Por lo general, el lado de succión y el lado de presión convergen en un ángulo agudo en el borde de salida. En las palas de rotor con un llamado "borde de salida grueso", en la parte trasera del perfil se encuentra una sección rectilínea que está dispuesta esencialmente en perpendicular a la dirección de incidencia de diseño y forma una superficie trasera de la pala de rotor. En este caso, el borde de salida de la pala de rotor se forma por definición mediante los puntos centrales de las secciones rectilíneas que forman el "borde de salida grueso". El borde de ataque de la pala de rotor es el borde delantero de la 40 pala de rotor que está más alejado del borde de salida. Se ha de diferenciar del borde de ataque aquel punto en la zona delantera de la pala de rotor, en la que el aire incidente se divide en una corriente de aire que circula a lo largo del lado de presión y en una corriente de aire que circula a lo largo del lado de succión. Este es el punto de estancamiento. La posición del punto de estancamiento depende, a diferencia de la posición del borde de ataque, de las condiciones operativas de la pala de rotor, en particular del ángulo de paso. La raíz de pala presenta una forma 45 esencialmente circular y puede estar provista de una brida de fijación para fijarse en un buje de rotor. El lado de presión identifica la superficie de la pala de rotor que se encuentra entre el borde de ataque y el borde de salida y sobre la que se produce generalmente una sobrepresión durante el funcionamiento. Por consiguiente, el lado de succión identifica aquella superficie de la pala de rotor entre el borde de ataque y el borde de salida, en la que se produce generalmente una presión negativa durante el funcionamiento. El eje longitudinal de la pala de rotor está 50 definido como una recta a través del punto central de la sección transversal circular en la raíz de pala alineada en perpendicular a esta sección transversal circular.

El perfil aerodinámico en el centro de la pala de rotor es igual básicamente a un perfil alar de un avión. Por lo general, presenta un lado de succión convexo, una sección de lado de presión delantera convexa y una sección de

lado de presión trasera asimismo convexa o cóncava. Las dos secciones de lado de presión mencionadas se unen entre sí generalmente con una curvatura continua, es decir, sin un doblez, en el que varía bruscamente la dirección de una tangente.

5 En una sección longitudinal de la pala de rotor entre la raíz de pala y el centro de la pala de rotor, la pala de rotor presenta una sección transversal que se diferencia de un perfil aerodinámico convencional. Esto se explica mediante los términos "sección complementaria de lado de presión" y "sección complementaria de lado de succión". Con otras palabras, estas secciones representan extensiones del lado de presión o del lado de succión de un perfil convencional. Además, a los términos mencionados no se les da como tal un significado limitante.

10 10 El rendimiento aerodinámico en la zona de la sección longitudinal se mejora en particular mediante la sección complementaria de lado de presión cóncava que intensifica la sobrepresión, que se genera en el lado de presión, en la zona trasera de la sección transversal. Este efecto es conocido técnicamente como "rear loading". La sección complementaria de lado de presión cóncava se conecta con una curvatura continua a la sección de lado de presión 15 convexa, de modo que en la zona de conexión no se producen separaciones de flujo.

A diferencia de la sección complementaria de lado de presión, la sección complementaria de lado de succión no se transforma necesariamente con una curvatura continua en la sección de lado de succión situada delante y curvada de forma convexa. Más bien, entre la sección de lado de succión curvada de forma convexa y la sección 20 complementaria de lado de succión se encuentra un punto de doblado o inflexión. Si se sigue el desarrollo de la sección de lado de succión, curvada de forma convexa, desde el borde de ataque hasta este punto de doblado o inflexión, existe siempre una curvatura dirigida hacia adentro, es decir, un círculo de curvatura situado en la curva se encuentra siempre en el lado de la sección de lado de succión que está dirigido hacia el interior del perfil. En caso de 25 un punto de inflexión, esta curvatura varía su signo en el punto de doblado o inflexión y discurre primero en dirección opuesta hacia afuera. En caso de un punto de doblado varía asimismo la dirección de una tangente situada en la curva, específicamente de manera brusca, doblándose la curva hacia afuera en el punto de doblado. El borde, formado por los puntos de doblado de secciones transversales sucesivas, está dirigido hacia el interior. En ambos 30 casos, la dirección de la curva en el punto de doblado o inflexión varía hacia afuera con respecto a la sección transversal.

30 30 El punto de doblado o inflexión se puede encontrar aproximadamente a la misma distancia del borde de ataque que el punto de inflexión situado en el lado de presión. Se ha comprobado que incluso un punto de doblado en la sección transversal no es contraproducente para el rendimiento aerodinámico del perfil. Esto se debe a que en presencia de espesores de perfil relativos del orden de magnitud considerado aquí se producen generalmente en el lado de 35 succión separaciones de flujo, incluso en caso de un desarrollo superficial con una curvatura continua. En determinadas circunstancias, las mismas se pueden originar también en la sección transversal configurada según la invención. Sin embargo, el punto de doblado o inflexión en el lado de succión del perfil permite implementar un diseño de la pala de rotor con un particular ahorro de material.

40 40 En una configuración, la distancia, medida a lo largo de la cuerda de perfil, entre el punto de inflexión situado en el lado de presión y el borde de ataque es superior a 60% de la profundidad de perfil. Por tanto, la transición desde la sección de lado de presión convexa hasta la sección complementaria de lado de presión cóncava se sitúa relativamente más atrás, claramente detrás de la posición del espesor máximo del perfil. Se ha comprobado que la transición puede tener lugar también a una distancia aún mayor del borde de ataque de, por ejemplo, 65%, 70% o 45 incluso 80% de la profundidad de perfil, sin que se produzcan separaciones de flujo. Las distancias mencionadas respecto al borde de ataque se refieren respectivamente a una medición a lo largo de la cuerda de perfil, es decir, a la proyección de la distancia espacial en esta dirección. La cuerda de perfil es una unión rectilínea entre el borde de ataque y el borde de salida del perfil.

50 50 En una configuración, la sección complementaria de lado de succión es esencialmente rectilínea. La disposición y la forma de la sección complementaria de lado de presión cóncava y la disposición del borde de salida son determinantes para el efecto aerodinámico del perfil. La unión, situada en el lado de succión, entre el borde de salida y la sección de lado de succión convexa tiene una importancia secundaria desde el punto de vista aerodinámico debido a las separaciones de flujo ya mencionadas en esta zona. Una forma rectilínea de la sección complementaria 55 de lado de succión se puede realizar de manera particularmente simple y resulta ventajosa también por razones de resistencia.

Según la invención, una tangente está situada en la sección complementaria de lado de presión en el borde de salida en la dirección del plano de rotor, si la pala de rotor presenta el ángulo de paso optimizado para el

funcionamiento a carga parcial. El plano de rotor es esencialmente el plano que abarca la pala de rotor al rotar alrededor del buje de rotor. Sin embargo, esta observación se aplica estrictamente sólo a una pala de rotor dispuesta en perpendicular al eje del rotor. En la práctica, el eje longitudinal de la pala de rotor puede estar inclinado también ligeramente respecto a esta perpendicular hacia el eje del rotor, de modo que la pala de rotor no rota en un plano, 5 sino sobre un cono. No obstante, cuando se habla aquí y a continuación de "plano de rotor", se ha de entender siempre el plano que incluye el eje longitudinal de la pala de rotor en la posición de giro actual de la pala de rotor y una segunda dirección dispuesta en perpendicular al eje longitudinal de la pala de rotor y en perpendicular al eje del rotor. El ángulo de paso optimizado para el funcionamiento a carga parcial es aquel ángulo de paso, con el que se opera preferentemente la pala de rotor en el funcionamiento a carga parcial. Éste proporciona un consumo de 10 potencia óptimo a partir del viento, en particular en caso de la velocidad específica de diseño. Con el incremento de la velocidad del viento aumenta la potencia absorbida en el funcionamiento a carga parcial. Al obtenerse una potencia máxima no se puede seguir aumentando la potencia. Si la velocidad del viento sigue aumentando, se deteriora entonces la eficiencia aerodinámica debido al aumento del ángulo de paso. La potencia se puede regular mediante el control del ángulo de paso y la instalación se encuentra en el llamado funcionamiento regulado por 15 variación del ángulo de paso o funcionamiento a carga completa. En el caso del ángulo de paso optimizado para el funcionamiento a carga parcial se trata de una variable claramente definida que se tiene en cuenta en el diseño de la pala de rotor. La alineación mencionada de la tangente en la sección de lado de presión provoca que el aire, que circula alrededor de la pala de rotor en el lado de presión, circule en el borde de salida esencialmente en dirección al plano de rotor. La pala de rotor contribuye así a un par de giro óptimo en la zona del perfil según la invención.

20 Según la invención, una tangente está situada en la sección complementaria de lado de succión en el borde de salida en la dirección del plano de rotor, si la pala de rotor presenta el ángulo de paso optimizado para el funcionamiento a carga parcial. Esta disposición contribuye también a un par de giro óptimo, porque el aire, que circula alrededor de la pala de rotor en el lado de succión, circula esencialmente también en dirección del plano de 25 rotor. En particular en unión con una sección complementaria de lado de succión rectilínea, es decir, en caso de una sección complementaria de lado de succión situada completamente en el plano de pala de rotor durante el funcionamiento a carga parcial, esto se aplica de acuerdo con modelos de cálculo teniendo en consideración también las separaciones de flujo, porque la configuración de una capa de separación con un espesor casi uniforme se produce a menudo por encima de la sección complementaria de lado de succión. Esta zona de aire arremolinado 30 se separa del aire, que circula de manera laminar a una mayor distancia de la sección complementaria de lado de succión, mediante una línea de flujo divisoria. Si la sección complementaria de lado de succión y, por tanto, también la línea de flujo divisoria discurren aproximadamente en el plano de rotor, el aire circulante de manera laminar circula más allá de la línea de flujo divisoria esencialmente en dirección del plano de rotor, lo que aumenta el par de giro producido.

35 35 En una configuración no reivindicada, un ángulo agudo está formado entre la sección complementaria de lado de presión y la sección complementaria de lado de succión en el borde de salida. Esto favorece una incidencia plana del aire en el borde de salida según la condición de Kutta.

40 Según una configuración, la sección longitudinal comienza a una distancia de la raíz de pala. Entre la raíz de pala y la sección longitudinal puede haber, por ejemplo, una distancia de 0,5 m, 1,0 m o más. Dentro de este intervalo de distancia, la sección transversal de la pala de rotor puede presentar una forma circular como en la raíz de pala. Una sección, que está dispuesta cerca de la raíz de pala y en la que el perfil no está configurado aún como en la sección longitudinal, simplifica el transporte y el montaje de la pala de rotor. Por ejemplo, alrededor de esta sección se puede 45 colocar una correa, sin dañar el perfil especial en la sección longitudinal.

Según la invención, la sección longitudinal se extiende hasta una distancia de la raíz de pala, en la que la sección transversal presenta un espesor de perfil relativo de 40% o más. En una configuración, la sección longitudinal se extiende hasta una distancia de la raíz de pala, en la que la sección transversal presenta un espesor de perfil relativo de 50 de 60% o menos. Ésta se puede extender también hasta una sección transversal con un espesor de perfil relativo de 55%, 50% o 45%, de modo que el "rear loading" mejorado se consigue en una sección longitudinal mayor. En la zona incluso con espesores de perfil relativos menores, el perfil según la invención resulta en cambio menos adecuado, porque los resultados buenos o mejores desde el punto de vista aerodinámico se pueden conseguir con un perfil convencional, sin que esto provoque profundidades de perfil excesivos o un coste de fabricación muy 55 elevado.

En una configuración, la sección longitudinal se extiende hasta una distancia de la raíz de pala de 10% o más de la longitud de pala de rotor. La sección longitudinal se puede extender también hasta una distancia mayor de la raíz de pala de, por ejemplo, 15%, 20%, 25% o incluso 30% de la longitud de pala de rotor, de modo que en una sección

longitudinal mayor se pueden aprovechar las ventajas de la invención.

En una configuración, la pala de rotor presenta una profundidad de perfil constante entre una primera distancia de 10% de la longitud de pala de rotor respecto a la raíz de pala y una segunda distancia de 15% de la longitud de pala de rotor respecto a la raíz de pala. La profundidad de perfil constante puede ser en particular una profundidad de perfil máxima que no se puede superar fácilmente debido a las condiciones de fabricación o transporte. La geometría de la sección transversal según la invención en esta zona longitudinal permite mejorar las propiedades aerodinámicas, sin superarse la profundidad de perfil máxima. Al mismo tiempo se aprovecha óptimamente la profundidad de perfil máxima en el intervalo de distancia mencionado.

10

En una configuración, la sección complementaria de lado de presión y la sección complementaria de lado de succión están formadas por una pieza de montaje unida a los demás componentes de la pala de rotor. Los demás componentes de la pala de rotor pueden ser en particular los componentes de una pala de rotor convencional que después de terminada se equipa con la pieza de montaje. La pieza de montaje puede estar atornillada y/o pegada, por ejemplo, en los demás componentes. De este modo, las palas de rotor de plantas de energía eólica ya existentes se pueden proveer posteriormente con facilidad de una sección longitudinal según la invención.

En una configuración, los demás componentes de la pala de rotor presentan una profundidad de perfil máxima en una posición longitudinal de la pala de rotor, comenzando la pieza de montaje en esta posición longitudinal y extendiéndose desde aquí en dirección a la raíz de pala. La zona longitudinal con la profundidad de perfil máxima de una pala de rotor convencional identifica aquel punto, en el que comienza la transición desde un perfil óptimo aerodinámicamente hasta una sección transversal circular en la raíz de pala. Por tanto, la pieza de montaje puede comenzar de manera particularmente ventajosa en este punto.

25 En una configuración, los demás componentes de la pala de rotor presentan una profundidad de perfil máxima en una posición longitudinal de la pala de rotor, comenzando la pieza de montaje a una distancia de la raíz de pala mayor que esta posición longitudinal y extendiéndose desde aquí en dirección a la raíz de pala y aumentándose la profundidad de perfil de la pala de rotor más allá de la profundidad de perfil máxima de los demás componentes mediante la pieza de montaje al menos en una sección longitudinal. La profundidad de perfil máxima de los demás 30 componentes de la pala de rotor puede estar predefinida, por ejemplo, por las condiciones de transporte o fabricación limitantes. Si una pieza de montaje se adiciona a los demás componentes después del transporte o la fabricación, la profundidad de perfil máxima se puede superar en determinadas circunstancias, sin o con un pequeño coste adicional. De este modo se puede utilizar una profundidad de perfil mayor con ayuda de la pieza de montaje en la sección longitudinal.

35

En una configuración, la pieza de montaje está subdividida en varios segmentos, lo que facilita su manipulación y montaje. Los segmentos pueden estar yuxtapuestos en particular en dirección longitudinal de la pala de rotor, pudiendo existir entre dos segmentos respectivamente una distancia que posibilita un movimiento relativo entre los segmentos. La distancia puede estar llena, por ejemplo, de un adhesivo elástico. De este modo, la unión de la pieza 40 de montaje con los demás componentes de la pala de rotor se somete a un esfuerzo menor, en particular en caso de una torsión de estos componentes bajo carga.

En una configuración, la pieza de montaje presenta una forma de concha, es decir, está compuesta de una concha curvada con un espesor esencialmente uniforme. Un lado de la concha forma la sección complementaria de lado de presión y el lado opuesto de la concha forma la sección complementaria de lado de succión. La concha está unida a los demás componentes de la pala de rotor de tal modo que el lado de presión se prolonga con una curvatura continua mediante la superficie complementaria de lado de presión. Esta configuración se puede implementar con particular facilidad desde el punto de vista constructivo.

50 La invención se explica detalladamente a continuación por medio de dos ejemplos de realización representados en las figuras. Muestran:

Fig. 1 una vista en planta del lado de succión de una pala de rotor según la invención;

55 Fig. 2 una vista en planta del lado de succión de una pala de rotor convencional según el estado de la técnica;

Fig. 3 una vista en perspectiva de una sección de la pala de rotor de la figura 1;

Fig. 4 otra vista en perspectiva de una sección de la pala de rotor de la figura 1;

- Fig. 5 una vista en planta del borde de salida de una sección de la pala de rotor de la figura 1;
- Fig. 6 una vista en planta, correspondiente a la figura 5, con otros elementos resaltados;
- 5 Fig. 7 una vista en planta del lado de presión de una sección de la pala de rotor de la figura 1;
- Fig. 8 una vista en planta del lado de succión de una sección de la pala de rotor de la figura 1;
- 10 Fig. 9 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 2 metros del eje de rotor;
- Fig. 10 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 2,5 metros del eje de rotor;
- 15 Fig. 11 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 3 metros del eje de rotor;
- Fig. 12 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 3,5 metros del eje de rotor;
- 20 Fig. 13 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 4 metros del eje de rotor;
- 25 Fig. 14 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 5 metros del eje de rotor;
- Fig. 15 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 6 metros del eje de rotor;
- 30 Fig. 16 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 7 metros del eje de rotor;
- Fig. 17 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 8 metros del eje de rotor;
- 35 Fig. 18 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 9 metros del eje de rotor;
- 40 Fig. 19 una sección transversal a través de la pala de rotor de la figura 1 en un plano de corte situado a 10 metros del eje de rotor;
- Fig. 20 las secciones transversales de las figuras 9 a 19 en una representación conjunta;
- 45 Fig. 21 una representación de las líneas de flujo en un plano de sección transversal a través de la pala de rotor según la figura 13; y
- Fig. 22 una sección transversal a través de otro ejemplo de realización de una pala de rotor según la invención con una pieza de montaje en forma de concha.
- 50 En todas las figuras se utilizan los mismos números de referencia para las piezas iguales.
- En la figura 1 está representada toda la pala de rotor en una vista en planta en el lado de succión. Ésta presenta una longitud de apenas 50 metros desde la punta de pala 10 hasta la raíz de pala 12. La pala de rotor presenta una sección transversal circular en la raíz de pala 12. La raíz de pala 12 presenta una brida de fijación circular, no representada en las figuras, que se fija en un buje de rotor. La raíz de pala 12 se encuentra entonces a una distancia de aproximadamente 1,5 m del eje de rotor.
- La pala de rotor presenta en la mayor parte de su longitud un perfil aerodinámico en la sección transversal, en

particular en el centro 14 de la pala de rotor. El borde de ataque 16 de la pala de rotor se encuentra en la representación de la figura 1 esencialmente en el borde derecho de la pala de rotor representada y el borde de salida 18 se forma mediante el borde izquierdo de la pala de rotor.

5 En una sección longitudinal de la pala de rotor está dispuesta una pieza de montaje 20 que forma el borde de salida 18 en esta sección longitudinal. La forma de la pieza de montaje 20 se describe más adelante en detalle.

La figura 2 muestra una pala de rotor convencional según el estado de la técnica, que se puede completar con una pieza de montaje 20 para formar una pala de rotor según la invención de acuerdo con la figura 1. Si la invención se 10 implementa mediante la unión de la pieza de montaje 20 con una pala de rotor convencional, por ejemplo, de acuerdo con la figura 2, la pala de rotor convencional forma en el lenguaje usado de esta solicitud los demás componentes de la pala de rotor. La pieza de montaje 20 se puede, por ejemplo, atornillar y/o pegar en estos otros componentes.

15 Una comparación de las figuras 1 y 2 muestra que la pala de rotor, según la invención, con la pieza de montaje 20 de acuerdo con la figura 1 se diferencia entre otros de la pala de rotor convencional de la figura 2 por el desarrollo de su profundidad de perfil. En la pala de rotor convencional de la figura 2, la profundidad de perfil aumenta primero de manera monótona a partir de la punta de pala 10 en dirección a la raíz de pala 12, hasta alcanzarse una profundidad de perfil máxima en la posición longitudinal identificada con el número 22. La profundidad de perfil vuelve a disminuir 20 a partir de la posición longitudinal 22 hacia la raíz de pala 12, transformándose el perfil aerodinámico en una tercera sección transversal, identificada con el número 24, en la sección transversal circular que éste presenta también en la zona de la raíz de pala 12. La transición de la profundidad de perfil tiene lugar de manera continua a lo largo de una curva diferenciable continuamente. En el caso de la invención según la figura 1, la profundidad de perfil presenta el mismo desarrollo que en la figura 2 desde la punta de pala 10 hasta la posición longitudinal 22 con la profundidad de 25 perfil máxima. Sin embargo, desde la posición longitudinal 22 hacia la raíz de pala, la profundidad de perfil permanece primero constante en la sección longitudinal 26 para reducirse a continuación hasta la sección transversal circular. La transición desde el perfil aerodinámico hasta la sección transversal circular tiene lugar a su vez en la tercera sección transversal 24, variándose la profundidad de perfil en esta posición con la configuración de un doblez. Por tanto, la curva, que describe el borde de salida 18, no es diferenciable de manera continua en este 30 punto.

La sección longitudinal 26 con una profundidad de perfil constante se extiende aproximadamente en una zona situada entre una primera distancia de 10% de la longitud de pala de rotor respecto a la raíz de pala y una segunda distancia aproximadamente 20% de la longitud de pala de rotor respecto a la raíz de pala.

35 En la vista en perspectiva de la figura 3 se puede observar más claramente la forma de la pieza de montaje. La sección representada de la pala de rotor comienza en la raíz de pala 12 y muestra aproximadamente la tercera parte de la pala de rotor situada en el lado de la raíz de pala. Al igual que en las figuras 4 a 8, la representación procede de un modelo de cálculo aerodinámico, en el que el buje del rotor se representa mediante una esfera 28. Una parte 40 de esta esfera 28 está representada también en las figuras 3 a 8, pero no pertenece a la pala de rotor. En la figura 3 se observa la sección transversal circular de la pala de rotor en la zona de la raíz de pala 12 y en el borde derecho de la figura se puede intuir el perfil aerodinámico de la pala de rotor que corresponde esencialmente al de una superficie alar de avión. El lado de la pala de rotor, situado arriba en la representación, es el lado de succión 30. El lado de presión 32 se encuentra en el lado inferior y es visible sólo parcialmente en la figura 3.

45 Una parte del lado de succión 30 y una parte del lado de presión 32 se forman mediante la pieza de montaje 20. A tal efecto, la pieza de montaje 20 presenta una superficie complementaria de lado de succión 34 curvada una vez de manera convexa, así como una superficie complementaria de lado de presión 36 curvada dos veces de manera concava. La superficie complementaria de lado de succión 34 y la superficie complementaria de lado de presión 36 50 convergen en una configuración no reivindicada en el borde de salida 18 con la configuración de un ángulo agudo. La superficie complementaria de lado de succión 34 se transforma en una línea curvada 38 en las partes del lado de succión 30 formadas por los demás componentes de la pala de rotor. La superficie complementaria de lado de presión 36 se transforma en otra línea curvada 40 en las partes del lado de presión 32 formadas por los demás componentes de la pala de rotor.

55 Visto a partir de la raíz de pala 12, la pieza de montaje 20 comienza en un punto 42, en el que convergen las líneas curvadas 38 y 40, así como el borde de salida 18. La pieza de montaje finaliza en otro punto 44, en el que convergen una vez más las líneas curvadas 38 y 40, así como el borde de salida 18. El punto 42 forma el extremo de la pieza de montaje 20 situado en el lado de la raíz de pala. El punto 44 forma el extremo de la pieza de montaje 20 situado

en el lado de la punta de pala. En el caso del número 46, los demás componentes de la pala de rotor presentan un borde de salida grueso, es decir, en esta zona, el borde de salida de los demás componentes de la pala de rotor se forma mediante una superficie situada esencialmente en perpendicular a la dirección de incidencia. En la zona de la pieza de montaje 20, esta superficie no forma, sin embargo, el borde de salida 18 de la pala de rotor que está 5 formado por la pieza de montaje 20.

En vez de con ayuda de una pieza de montaje 20, la geometría de la pala de rotor según la invención se puede tener en cuenta en el diseño de una nueva pala de rotor. En este caso, las conchas superiores e inferiores se pueden 10 fabricar respectivamente, por ejemplo, en forma de una sola pieza con una superficie complementaria de lado de succión 34 y una superficie complementaria de lado de presión 36.

La figura 4 muestra otra vista en perspectiva de la sección de pala de rotor de la figura 3. Se puede observar perfectamente la parte de la superficie complementaria de lado de succión 34 que está situada en el lado de la raíz de pala y que termina en punta en el punto 42 que marca el extremo de la pieza de montaje 20 situado en el lado de 15 la raíz de pala. Asimismo, se puede observar que la línea curvada 38, que marca la transición de la superficie complementaria de lado de succión 34 a las partes del lado de succión 30 formadas por los demás componentes de la pala de rotor, está situada relativamente más atrás con respecto a la profundidad de perfil. Ésta se encuentra en cada posición longitudinal de la pala de rotor claramente detrás de la posición del espesor máximo del perfil.

20 En la vista en planta de la figura 5 se puede observar el borde de salida 18 de la pala de rotor. Si la misma está formada por la pieza de montaje 20, la superficie complementaria de lado de succión 34, que conduce hacia el borde de salida 18, discurre en perpendicular al plano del dibujo, de modo que la misma desaparece por detrás del borde de salida 18. Por el contrario, se puede observar bien la superficie complementaria de lado de presión 36. Asimismo, 25 se puede observar el extremo de la pieza de montaje 20, situado en el lado de la raíz de pala, en el punto 42, así como el extremo de la pieza de montaje 20, situado en la punta de pala, en el punto 44. En la representación de la figura 5, el plano del dibujo discurre en perpendicular al plano del rotor, asumiéndose un ángulo de paso de la pala de rotor en correspondencia con el ángulo de paso optimizado para el funcionamiento a carga parcial. El ángulo dibujado  $\alpha_1$  se mide en el plano del dibujo, o sea, en un plano dispuesto en perpendicular al plano de rotor y en paralelo al eje longitudinal de la pala de rotor. Este ángulo está definido entre el plano de rotor, cuya dirección se 30 indica con el número 48, y el plano tangencial 50. El plano tangencial 50 está situado en el lado de presión, específicamente en el borde de salida 18 en la tercera sección transversal 24, es decir, esencialmente en el punto 42. El ángulo  $\alpha_1$  está situado convenientemente en un intervalo de  $30^\circ$  a  $90^\circ$  y en el ejemplo de realización es de aproximadamente  $45^\circ$ .

35 La figura 6 muestra la misma vista de la figura 5, en la que se ha resaltado, sin embargo, el desarrollo del borde de salida 18. En la proyección sobre el plano del dibujo representado, es decir, sobre un plano dispuesto en perpendicular al plano de rotor y en paralelo al eje longitudinal de la pala de rotor, el borde salida 18 aumenta primero estrictamente de manera monótona a partir de la punta de pala 10, hasta alcanzar un valor máximo en una segunda sección transversal 52, y disminuye después estrictamente de manera monótona hacia la raíz de pala 40 12 hasta la tercera sección transversal 24. En la zona situada entre la segunda sección transversal 52 y la tercera sección transversal 24, el desarrollo del borde de salida 18 y, por tanto, la alineación de la cuerda de perfil no siguen la dirección de incidencia que sigue girando continuamente en dirección del eje de rotor. El borde de salida, que sigue esta dirección de incidencia giratoria, asumiría aproximadamente el desarrollo indicado con el número 54, como ocurre, por ejemplo, en el caso de la pala de rotor conocida por el documento WO2004/097215A1 analizado al 45 inicio.

La figura 7 muestra otra vista en planta de la sección de la pala de rotor, según la invención, que aparece representada en las figuras anteriores. El plano del dibujo es el plano de rotor, asumiéndose a su vez un ángulo de paso en correspondencia con el valor optimizado para el funcionamiento a media carga. La vista se centra en el lado de presión 32 de la pala de rotor. Se puede observar bien la sección longitudinal 26, en la que es constante la profundidad de perfil de la pala de rotor.

El ángulo dibujado  $\alpha_2$  se mide en el plano del dibujo, es decir, en el plano de rotor. Este ángulo está definido entre el eje longitudinal de la pala de rotor que discurre en paralelo a la línea 56, y la proyección de la tangente 58 en el 55 borde de salida de la pala de rotor en la tercera sección transversal 24 sobre el plano de rotor. El ángulo  $\alpha_2$  está situado convenientemente en un intervalo de  $25^\circ$  a  $90^\circ$ . En el ejemplo de realización representado, el ángulo  $\alpha_2$  es de aproximadamente  $45^\circ$ . A diferencia de una pala de rotor convencional según la figura 2, el borde de salida 18 no desemboca en una curva diferenciable continuamente en la zona de la tercera sección transversal 24 con la configuración de un ángulo en la sección cilíndrica de la pala de rotor situada en el lado de la raíz de pala.

La figura 8 muestra en particular los planos de corte seleccionados para las figuras 9 a 19 en una vista en planta del lado de succión 32. Las secciones transversales, mostradas en estas figuras, cubren esencialmente la sección longitudinal de la pala de rotor provista de la pieza de montaje 20 al presentar la pala de rotor un perfil especial. La 5 sección transversal de la figura 9 discurre en la posición longitudinal de la tercera sección transversal 24 ya explicada, es decir, en el extremo de la pieza de montaje 20 situado en el lado de la raíz de pala. Las otras secciones transversales de las figuras 10 a 19 presentan una distancia creciente respecto a la raíz de pala, estando dispuesta la sección transversal de la figura 19 cerca del extremo de la pieza de montaje 20 situado en el lado de la punta de pala, es decir, cerca del punto 44. En el punto 44, en el que la pieza de montaje 20 y, por tanto, la sección 10 longitudinal de la pala de rotor finalizan con el perfil especial, el espesor de perfil relativo es de 60% o menos. El punto 44 está alejado además de la raíz de pala 12 a una distancia de 10% o más de la longitud de pala de rotor.

La sección longitudinal de la pala de rotor con el perfil especial comienza en la tercera sección transversal 24 a una distancia de la raíz de pala 12 de al menos 0,5 metros, en el ejemplo a una distancia aproximada de 1 metro. En la 15 figura 8 se puede observar asimismo la línea curvada 38, en la que la superficie complementaria de lado de succión 34 se transforma en las partes del lado de succión 30 que forman los demás componentes de la pala de rotor.

Las características del perfil especial en la zona de la sección longitudinal mencionada se explican primero por medio de la figura 11. En la sección transversal de la figura 11 está dibujada la posición del eje longitudinal 60 de la 20 pala de rotor aproximadamente en el centro de la sección transversal representada, así como la posición del borde de salida 18. El borde de salida 18 y el eje longitudinal 60 se unen entre sí mediante una recta 62. El borde de ataque 16 de la pala de rotor está marcado con una cruz en la sección transversal. Asimismo, está dibujado el punto de estancamiento delantero 64 del perfil, así como la dirección de incidencia de diseño 66 identificada mediante una línea dirigida hacia el punto de estancamiento delantero 64. El plano de rotor 68 está dibujado también como plano 25 de referencia. El plano de rotor 68 incluye el eje longitudinal 60 y está alineado en perpendicular al eje de rotor 70 dibujado con líneas discontinuas. Se entiende que el eje de rotor 70 está situado por fuera del plano de corte representado.

El perfil representado en la figura 11 presenta una sección de lado de succión convexa 72 que se extiende desde el 30 borde de ataque 16 hasta un punto de doblado 74 situado en el lado de succión. Una sección complementaria de lado de succión 76 discurre en línea recta desde el punto de doblado 74 hasta el borde de salida 18. El lado de presión del perfil se forma mediante una sección de lado de presión convexa 78 que se extiende desde el borde de ataque 16 hasta un punto de inflexión 80 situado en el lado de presión, y mediante una sección complementaria de lado de presión cóncava 82 que se extiende desde el punto de inflexión 80 situado en el lado de presión hasta el 35 borde de salida 18.

Una tangente, situada en la zona del borde de salida 18 en la sección complementaria de lado de presión cóncava 82, está alineada en la dirección del plano de rotor 68. En la dirección del plano de rotor 68 discurre también la sección complementaria de lado de succión 76. Entre los extremos de la sección complementaria de lado de succión 40 76 y de la sección complementaria de lado de presión 82, que colindan con el borde de salida 18, está configurado un ángulo agudo en una configuración no reivindicada.

El ángulo  $\alpha_3$  está definido entre el plano de rotor 68 como plano de referencia y las rectas 62. Mediante el ángulo  $\alpha_3$  se describe la posición del borde de salida 18 en la sección transversal. 45

Las características mencionadas están presentes también en las demás secciones transversales de las figuras 9 a 19 y provistas de los mismos números de referencia. En la figura 12 está dibujada de manera complementaria la cuerda de perfil 84 que discurre desde el borde de ataque 16 hasta el borde de salida 18. Asimismo, aparece representada la proyección del punto de inflexión 80, situado en el lado de presión, sobre la cuerda de perfil 84. La 50 distancia 86, identificada con el número 86 y medida a lo largo de la cuerda de perfil 84, entre el punto de inflexión 80 situado en el lado de presión y el borde de ataque 16 es igual aproximadamente a 75% de la profundidad de perfil en la posición longitudinal de pala de rotor mostrada en la figura 12.

El ángulo  $\alpha_3$  asume en las posiciones de las secciones transversales mostradas en las figuras 9 a 19 55 aproximadamente los siguientes valores: Fig. 9: -22,5°, Fig. 10: -2°, Fig. 11: 8°, Fig. 12: 13°, Fig. 13: 15,5°, Fig. 14: 16°, Fig. 15: 12°, Fig. 16: 7°, Fig. 17: 3,5°, Fig. 18: 2°, Fig. 19: 0°. El ángulo  $\alpha_3$  asume así un valor máximo aproximadamente en la posición longitudinal de la sección transversal de la figura 14. Esta posición longitudinal corresponde a la segunda sección transversal 52. A partir de una posición longitudinal, no representada, cerca de la punta de pala, el ángulo  $\alpha_3$  aumenta estrictamente de manera monótona hacia la raíz de pala hasta la posición

longitudinal de la segunda sección transversal 52, alcanza un valor máximo en la segunda sección transversal 52 y disminuye después de manera estrictamente monótona hacia la tercera sección transversal 24.

La sección transversal de la figura 19 se encuentra en una posición longitudinal de la pala de rotor cerca del extremo 5 de la pieza de montaje 20 situado en el lado de la punta de pala. En esta posición, el espesor de perfil relativo es aproximadamente de 50%.

En las figuras 17, 18 y 19 se puede observar además el “borde de salida grueso” de los demás componentes de la 10 pala de rotor y el mismo está provisto del número de referencia 46. Éste se puede diferenciar del borde de salida 18 de la pala de rotor.

En la figura 20 están representadas las secciones transversales de las figuras 9 a 19 con el eje longitudinal 15 superpuesto 60. En esta representación se puede observar la transición desde una sección transversal aproximadamente circular, como aparece representada en la figura 9, hasta la sección transversal de la figura 19 que corresponde en gran medida a un perfil aerodinámico de tipo alar. Asimismo, se puede observar la dirección de 20 incidencia de diseño 66 que gira a distancia decreciente de la raíz de pala en dirección al eje de rotor 70. Este giro de la dirección de incidencia de diseño 66 está indicado con la flecha 85. En la representación de la figura 20 se puede observar también el desarrollo curvado del borde de salida 18 que alcanza un valor máximo en la sección transversal de la figura 14.

La figura 21 muestra en un plano de sección transversal la corriente de aire generada alrededor de la pala de rotor durante el funcionamiento. Se puede observar bien el punto de estancamiento delantero 64, en el que el aire se divide en una parte que circula en el lado de succión y una parte que circula en el lado de presión. En la zona del lado de presión, el flujo se encuentra muy cerca del perfil. El mismo circula de manera plana en el borde de salida 18 25 en dirección del plano de rotor, nuevamente con el ángulo de paso optimizado para el funcionamiento a carga parcial. Por encima de la sección complementaria de lado de succión rectilínea 76, a partir aproximadamente del punto 86 de la sección de lado de succión convexa 72, se producen separaciones de flujo y la configuración de una zona arremolinada 88. La línea de flujo divisoria 90 separa la zona arremolinada 88 del flujo que discurre nuevamente de manera laminar a mayor distancia de la sección complementaria de lado de succión 76 en la zona 30 92. La línea de flujo divisoria 90 discurre aproximadamente en paralelo a la sección complementaria de lado de succión 76 y al plano de rotor.

La figura 22 muestra otro ejemplo de realización de una pala de rotor en una sección transversal. La sección transversal presenta las características ya explicadas que están identificadas con los mismos números de referencia 35 que en el primer ejemplo de realización. La pieza de montaje 20, que presenta la superficie complementaria de lado de succión 76 y la superficie complementaria de lado de presión 82, está formada por un componente en forma de concha. El componente en forma de concha presenta un espesor uniforme, de modo que la superficie complementaria de lado de succión 76 y la superficie complementaria de lado de presión 82 se encuentran a una 40 distancia constante una de otra. La transición desde la pieza de montaje 20 hasta los demás componentes de la pala de rotor discurre en el punto de inflexión 80 situado en el lado de presión con una curvatura constante, en el punto de doblado 74 situado en el lado de succión con la configuración de un doblez dirigido hacia adentro.

## REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor de planta de energía eólica con una punta de pala (10), una raíz de pala (12), un borde de ataque (16), un borde de salida (18), un lado de presión (32), un lado de succión (30) y una sección transversal 5 que varía desde la punta de pala (10) hacia la raíz de pala (12), presentando la pala de rotor de planta de energía eólica una velocidad específica de diseño y operándose en un funcionamiento a carga parcial preferentemente con un ángulo de paso óptimo predefinido que posibilita un consumo de potencia óptimo a partir del viento a la velocidad específica de diseño, estando formada la sección transversal por un perfil aerodinámico en el centro (14) de la pala de rotor y presentando una forma circular en la raíz de pala (12) y comprendiendo la sección transversal en una 10 sección longitudinal de la pala de rotor, que está dispuesta entre la raíz de pala (12) y el centro (14) de la pala de rotor y que se extiende en dirección al centro (14) de la pala de rotor como máximo hasta una distancia de la raíz de pala (12), en la que el espesor de perfil relativo es de 40%, lo siguiente:

- una sección de lado de presión convexa (78) que se extiende desde el borde de ataque (16) hasta un punto de inflexión (80) situado en el lado de presión,

- una sección complementaria de lado de presión cóncava (82) que se conecta al punto de inflexión (80) situado en el lado de presión con una curvatura continua y se extiende hasta el borde de salida (18),

20 - una sección de lado de succión convexa (72) que se extiende desde el borde de ataque (16) hasta un punto de doblado o inflexión (74) situado en el lado de succión, y

- una sección complementaria de lado de succión (76) que se extiende desde el punto de doblado o inflexión (74) situado en el lado de succión hasta el borde de salida (18), **caracterizada porque**

25 - una tangente está situada en la sección complementaria de lado de presión (82) en el borde de salida (18) y una tangente está situada en la sección complementaria de lado de succión (76) en el borde de salida (18) en la dirección del plano de rotor, si la pala de rotor presenta el ángulo de paso optimizado para el funcionamiento a carga parcial.

30 2. Pala de rotor de planta de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la distancia, medida a lo largo de la cuerda de perfil (84), entre el punto de inflexión (80) situado en el lado de presión y el borde de ataque (16) es superior a 60% de la profundidad de perfil

35 3. Pala de rotor de planta de energía eólica según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada porque** la sección complementaria de lado de succión (76) es esencialmente rectilínea.

40 4. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** la sección longitudinal comienza a una distancia de la raíz de pala (12).

45 5. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada porque** la sección longitudinal se extiende en dirección al centro (14) de la pala de rotor hasta una distancia de la raíz de pala (12), en la que la sección transversal presenta un espesor de perfil relativo de 60% o menos.

50 6. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** la sección longitudinal se extiende respecto a la raíz de pala (12) en dirección al centro (14) de la pala de rotor hasta una distancia de 10% o más de la longitud de pala de rotor.

7. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada porque** la pala de rotor presenta una profundidad de perfil constante entre una primera distancia de 10% de la longitud de pala de rotor respecto a la raíz de pala (12) y una segunda distancia de 15% de la longitud de pala de rotor respecto a la raíz de pala (12).

55 8. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque** la sección complementaria de lado de presión (82) y la sección complementaria de lado de succión (76) están formadas por una pieza de montaje (20) unida a los demás componentes de la pala de rotor.

9. Pala de rotor de planta de energía eólica según la reivindicación 8, **caracterizada porque** los demás componentes de la pala de rotor presentan una profundidad de perfil máxima en una posición longitudinal (22) de la

pala de rotor, comenzando la pieza de montaje (20) en esta posición longitudinal (22) y extendiéndose desde aquí en dirección a la raíz de pala (12).

10. Pala de rotor de planta de energía eólica según la reivindicación 8, **caracterizada porque** los demás
- 5 componentes de la pala de rotor presentan una profundidad de perfil máxima en una posición longitudinal (22) de la pala de rotor, comenzando la pieza de montaje (20) a una distancia de la raíz de pala (12) mayor que esta posición longitudinal (22) y extendiéndose desde aquí en dirección a la raíz de pala (12) y aumentándose la profundidad de perfil de la pala de rotor más allá de la profundidad de perfil máxima de los demás componentes mediante la pieza de montaje (20) al menos en una sección longitudinal.
- 10
11. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizada porque** la pieza de montaje (20) está subdividida en varios segmentos.
12. Pala de rotor de planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizada porque** la pieza de montaje (20) presenta una forma de concha.
- 15

Fig. 1

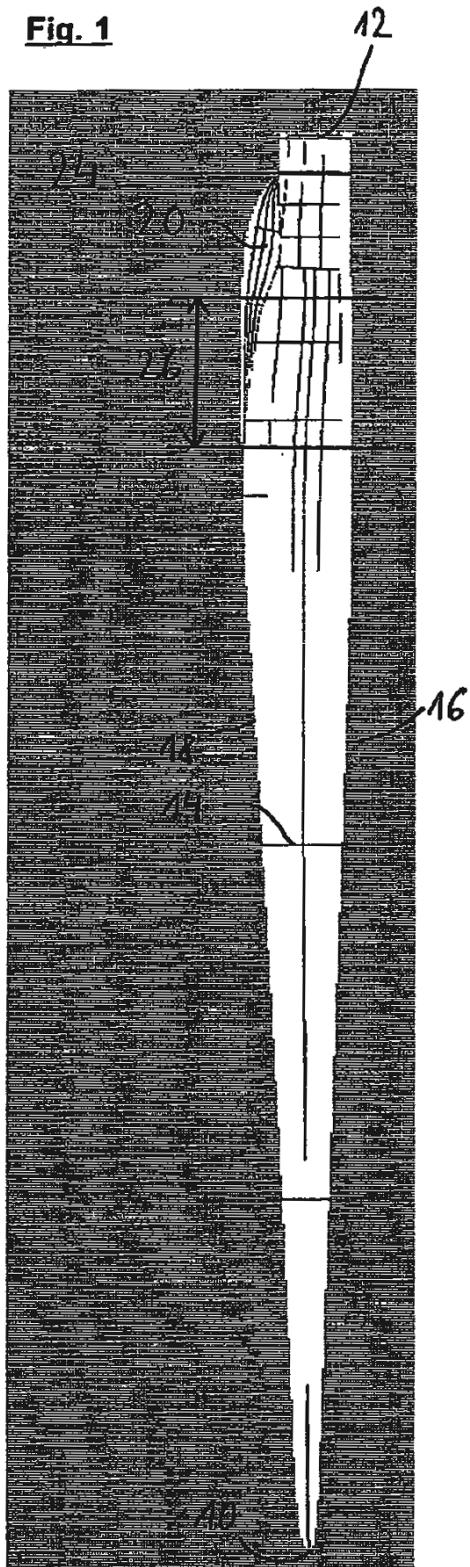
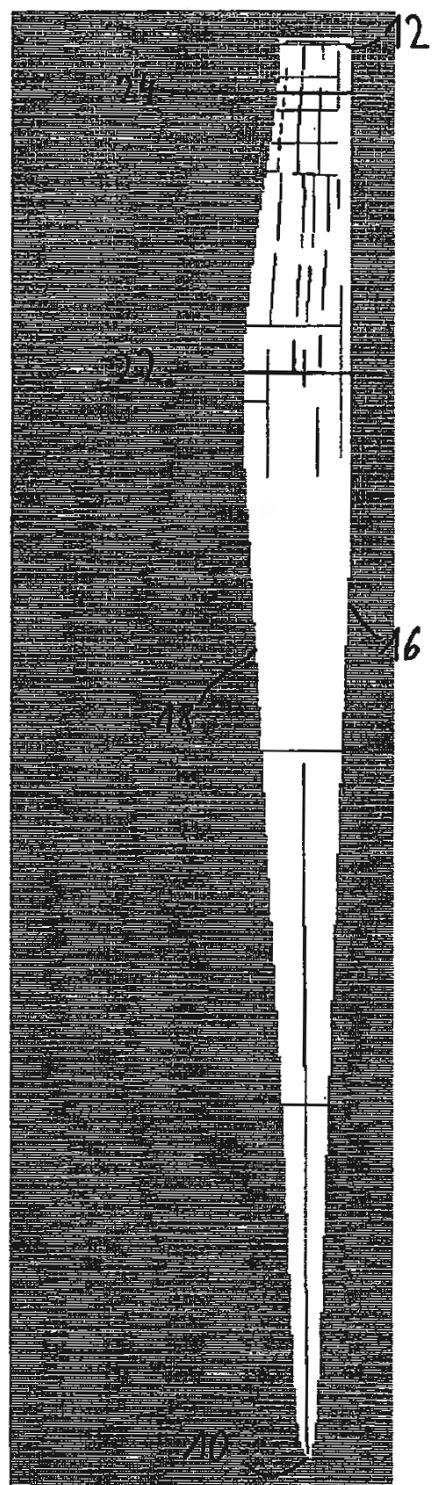
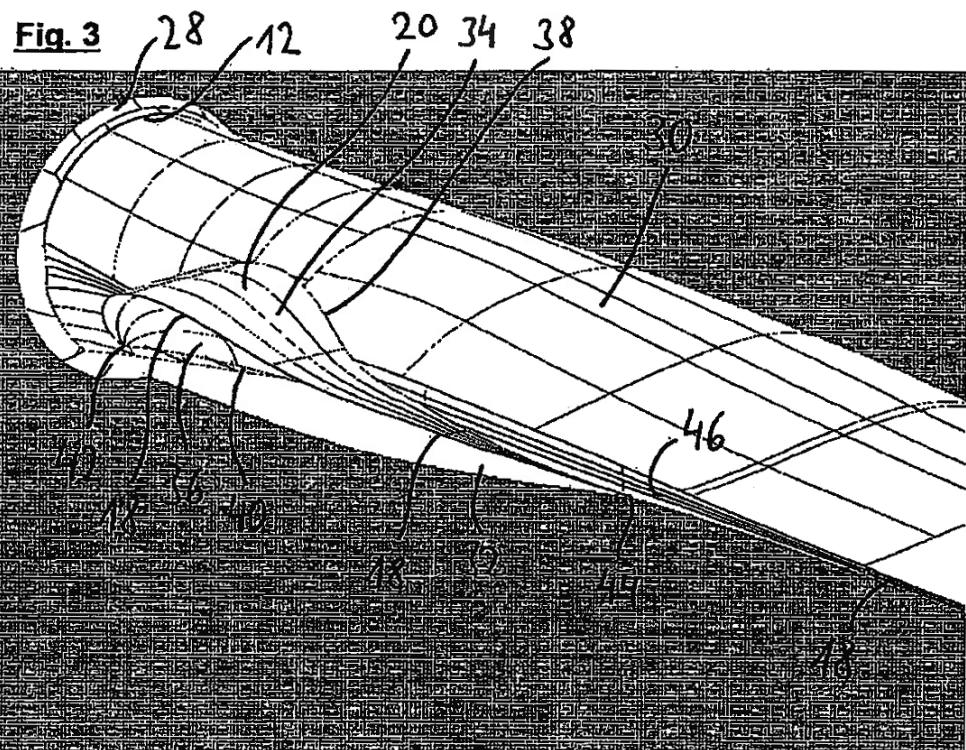
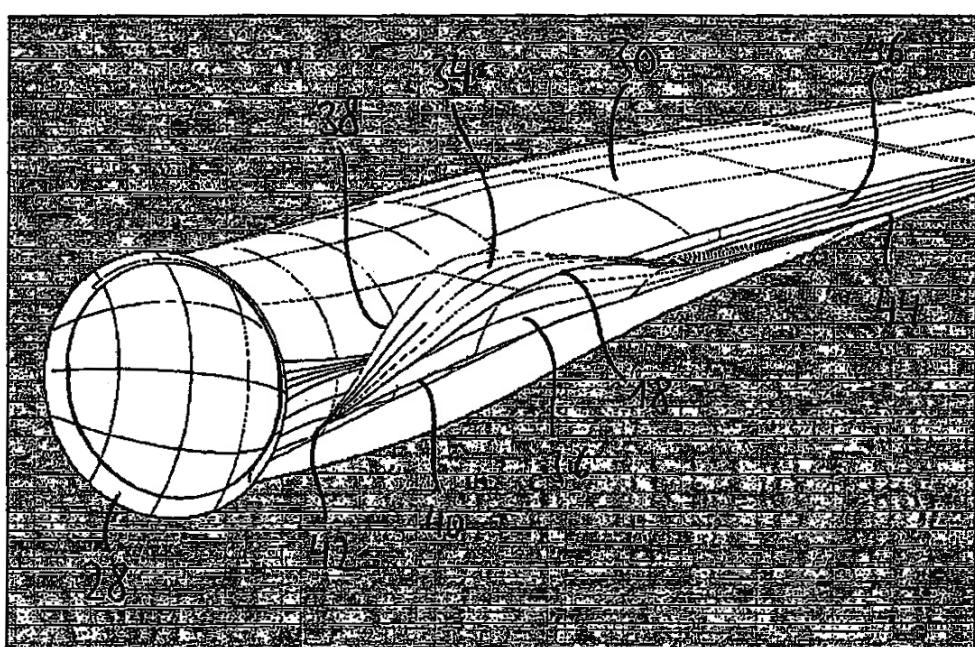


Fig. 2





**Fig. 4**



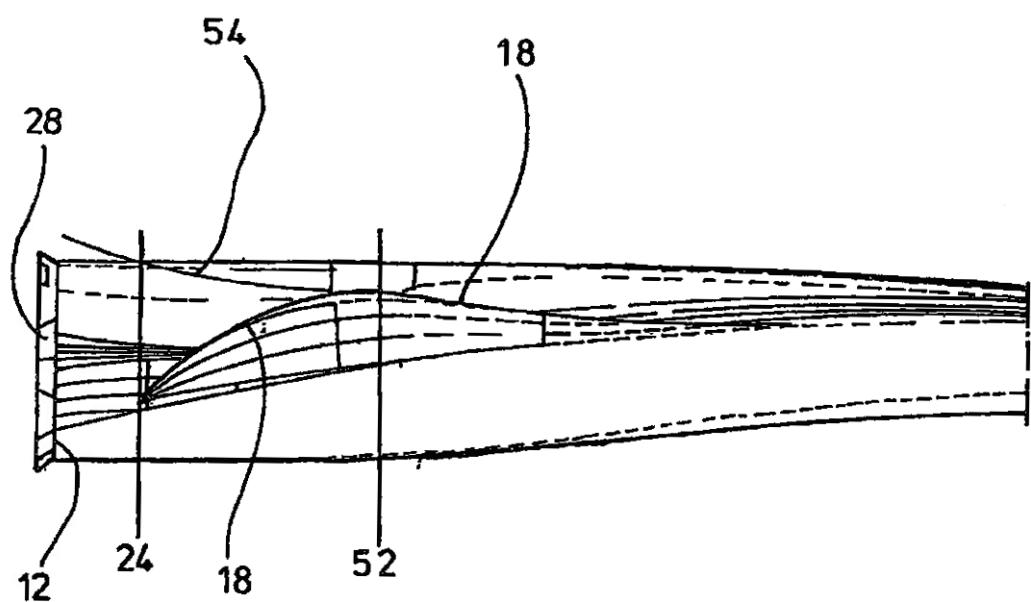
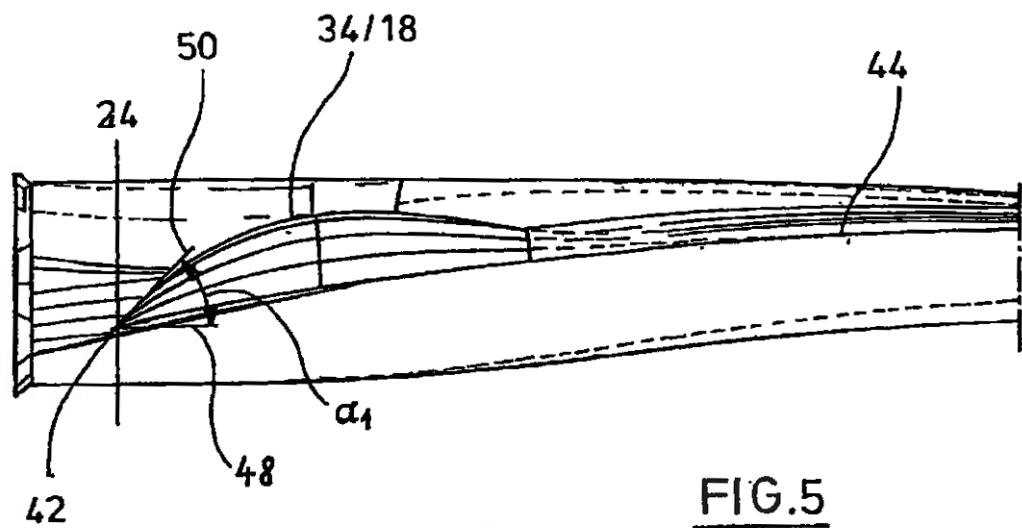


Fig. 7

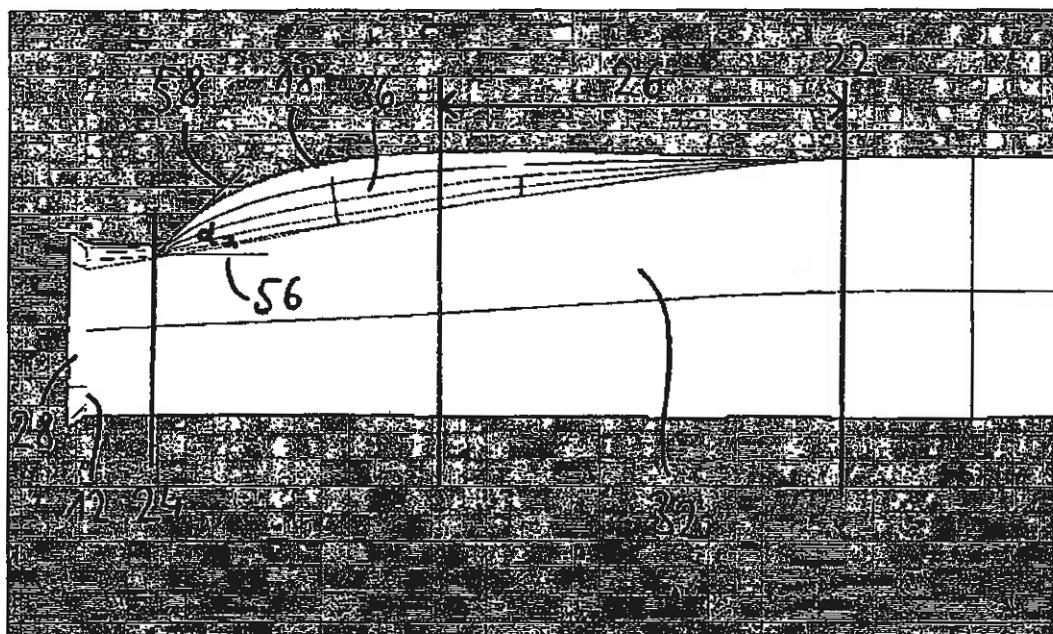


Fig. 8

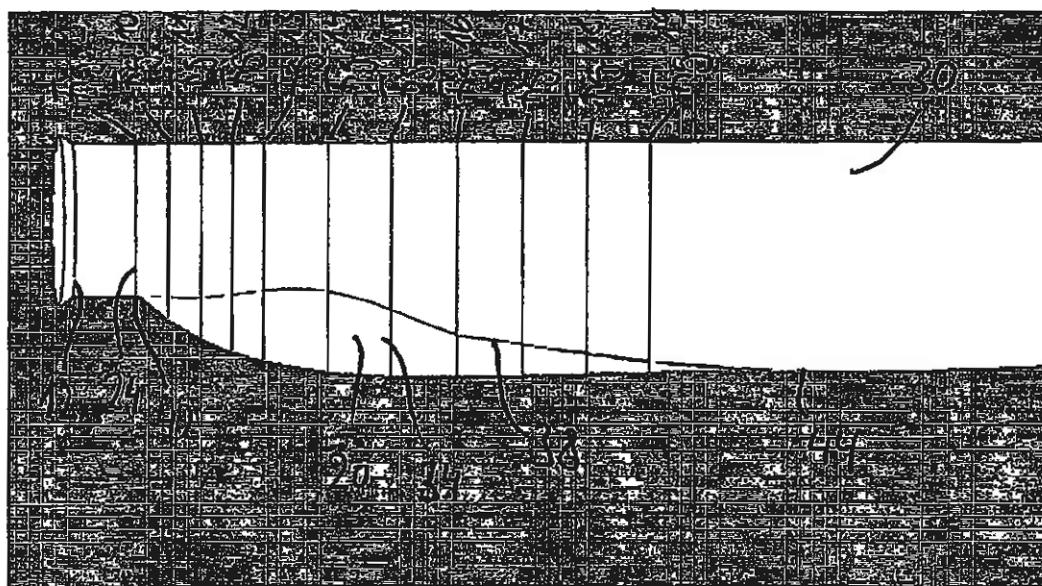


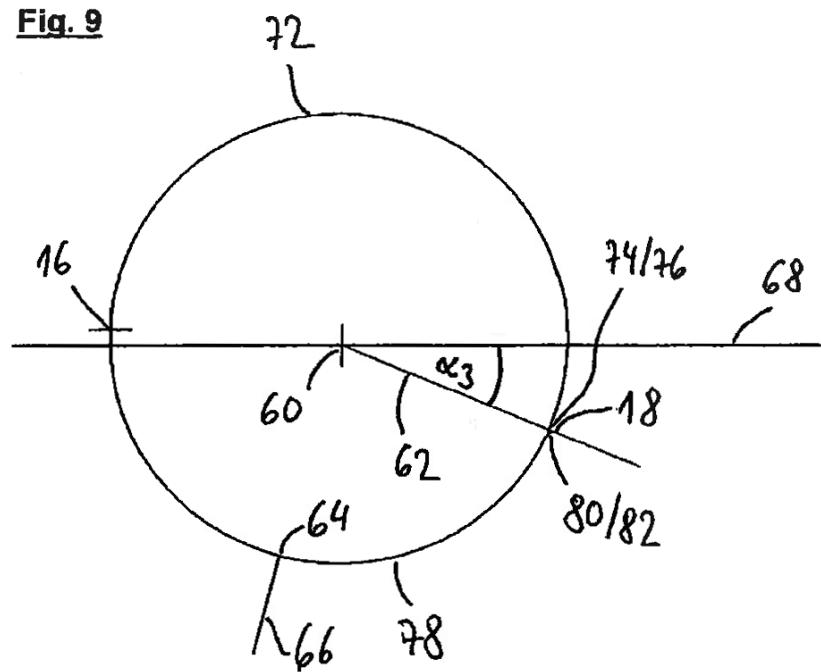
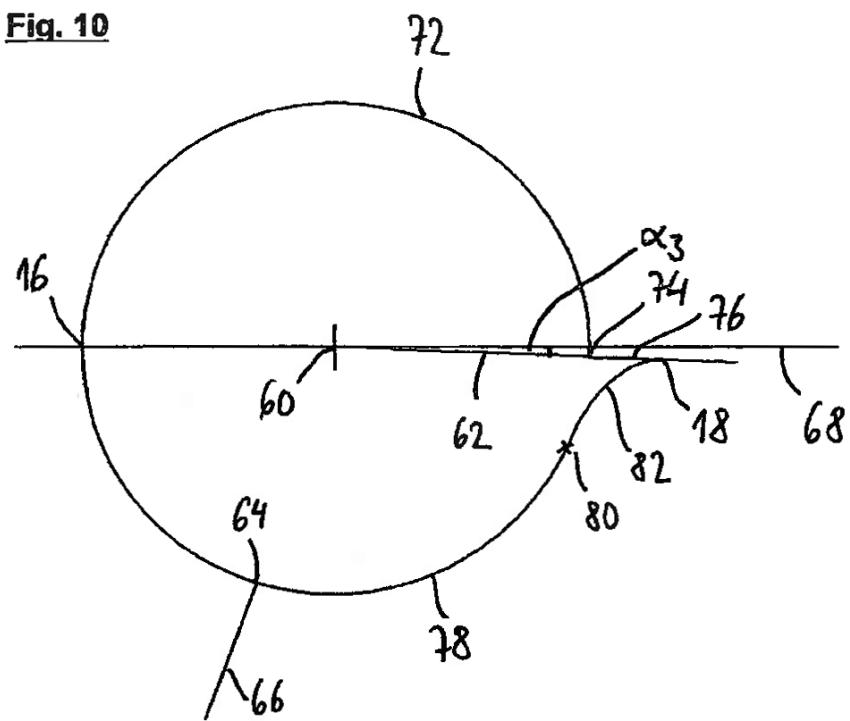
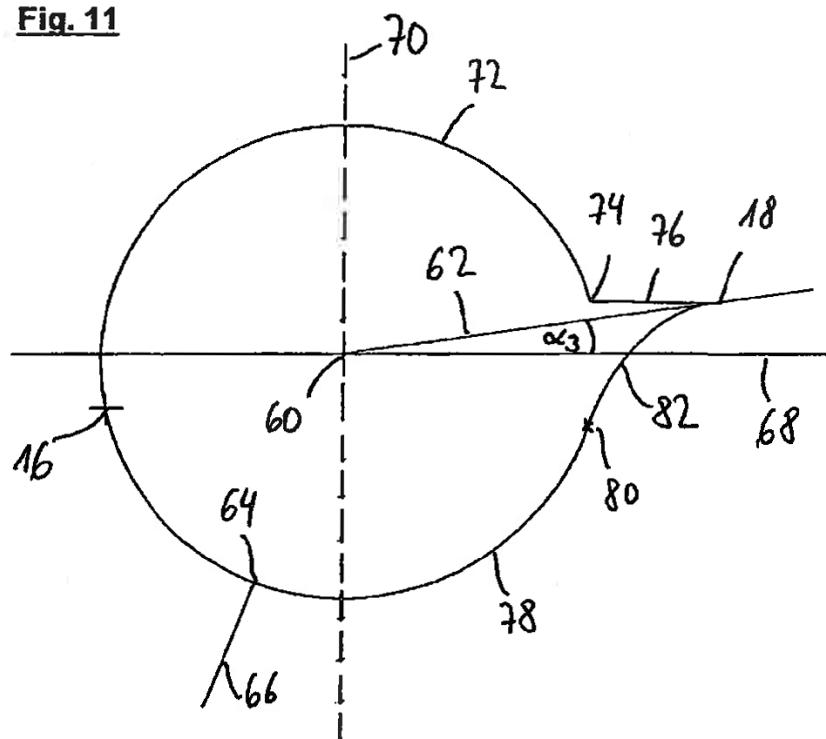
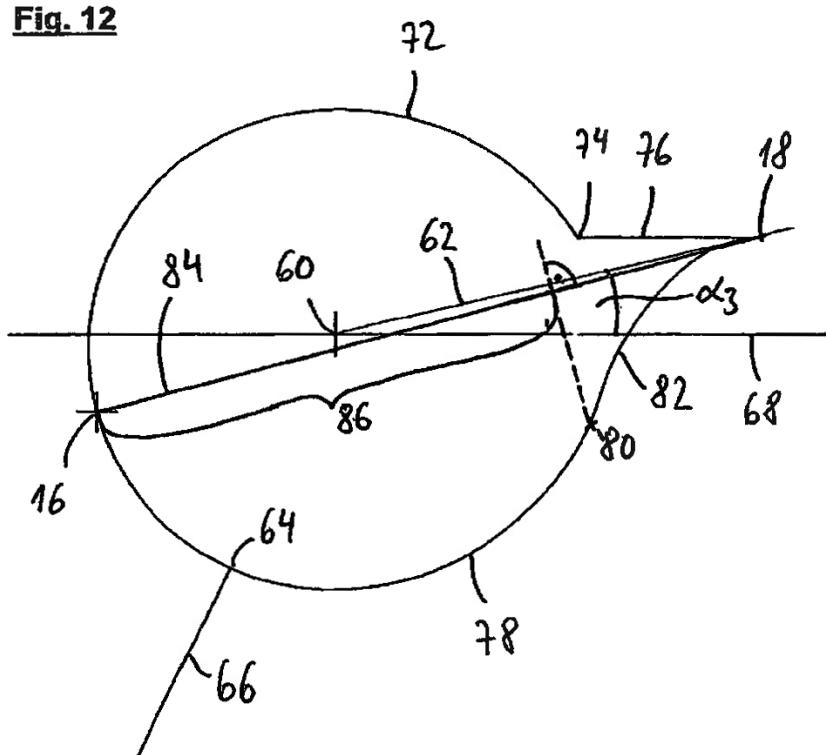
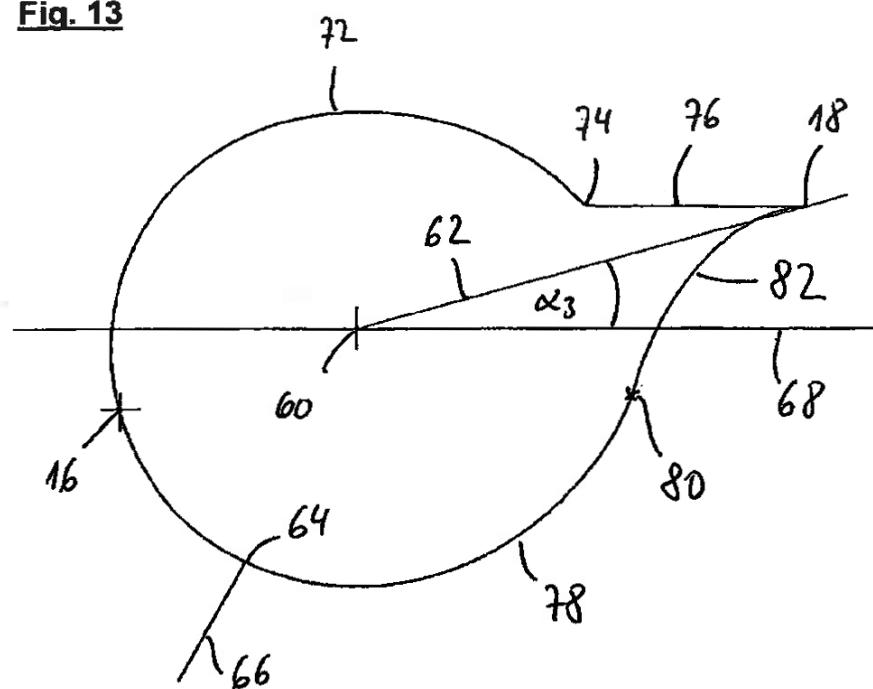
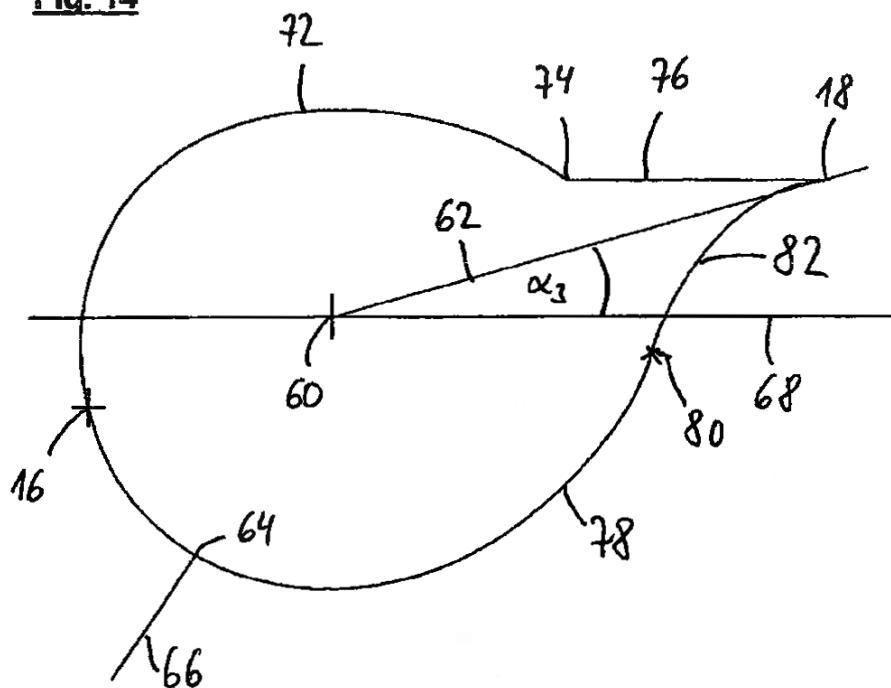
Fig. 9Fig. 10

Fig. 11Fig. 12

**Fig. 13****Fig. 14**

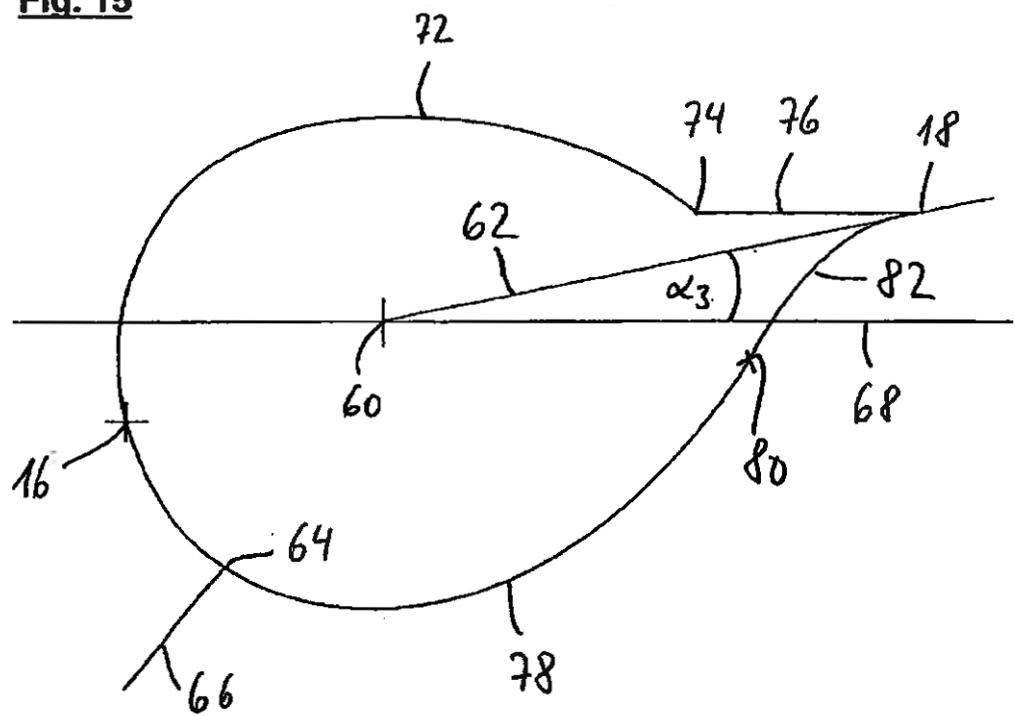
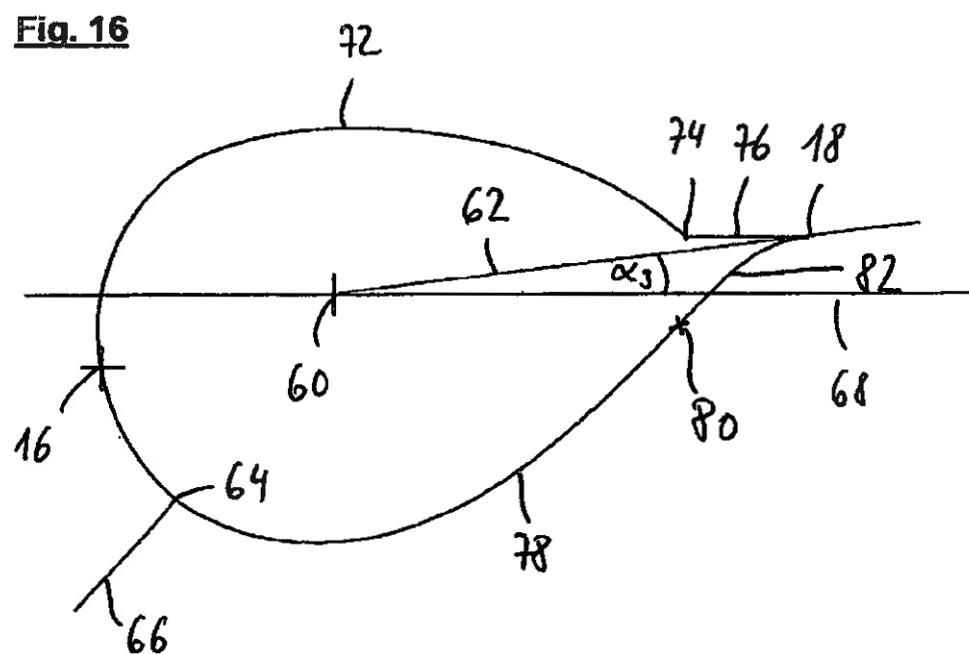
**Fig. 15****Fig. 16**

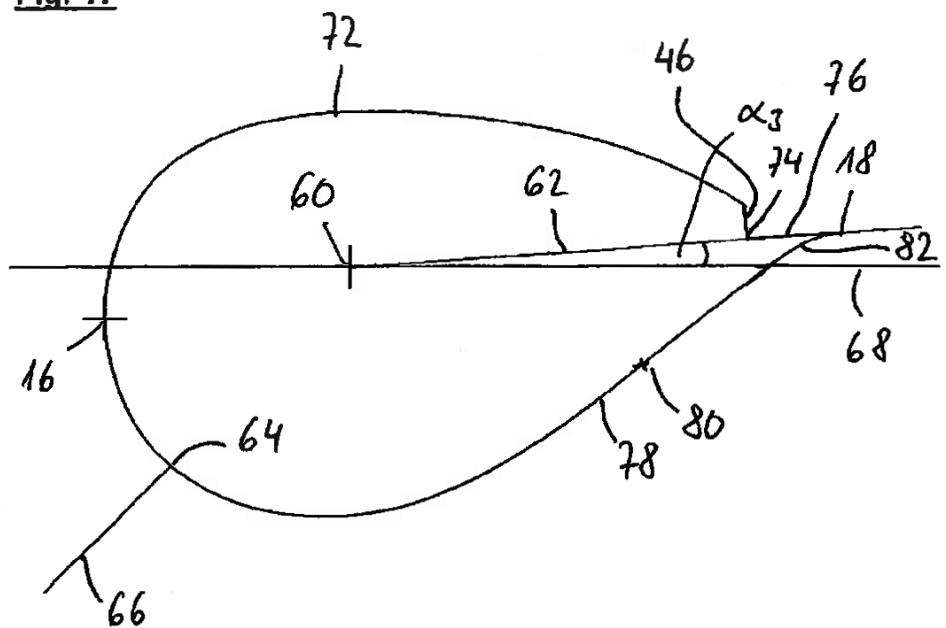
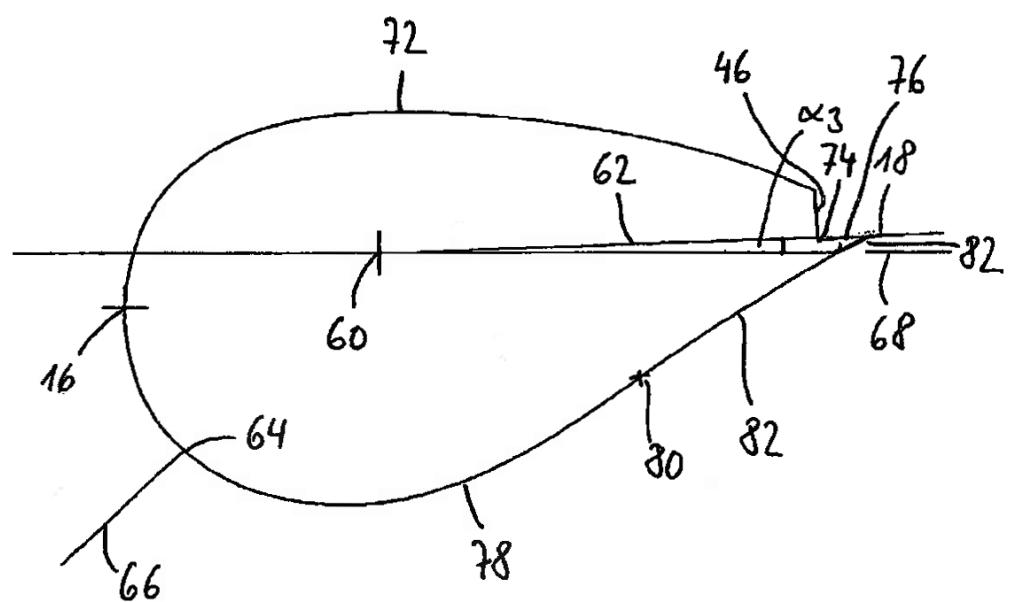
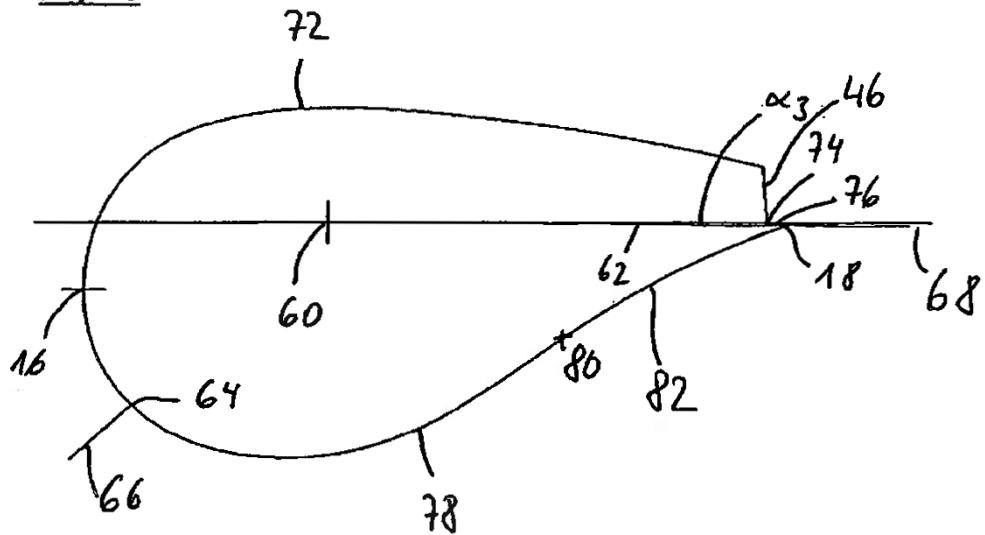
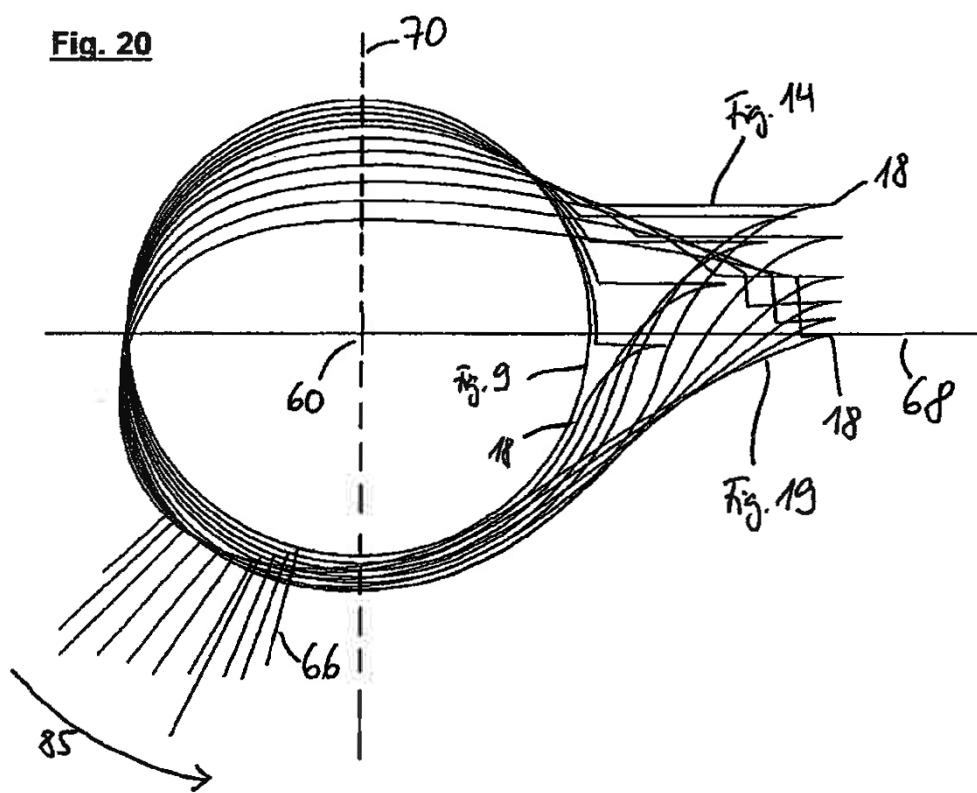
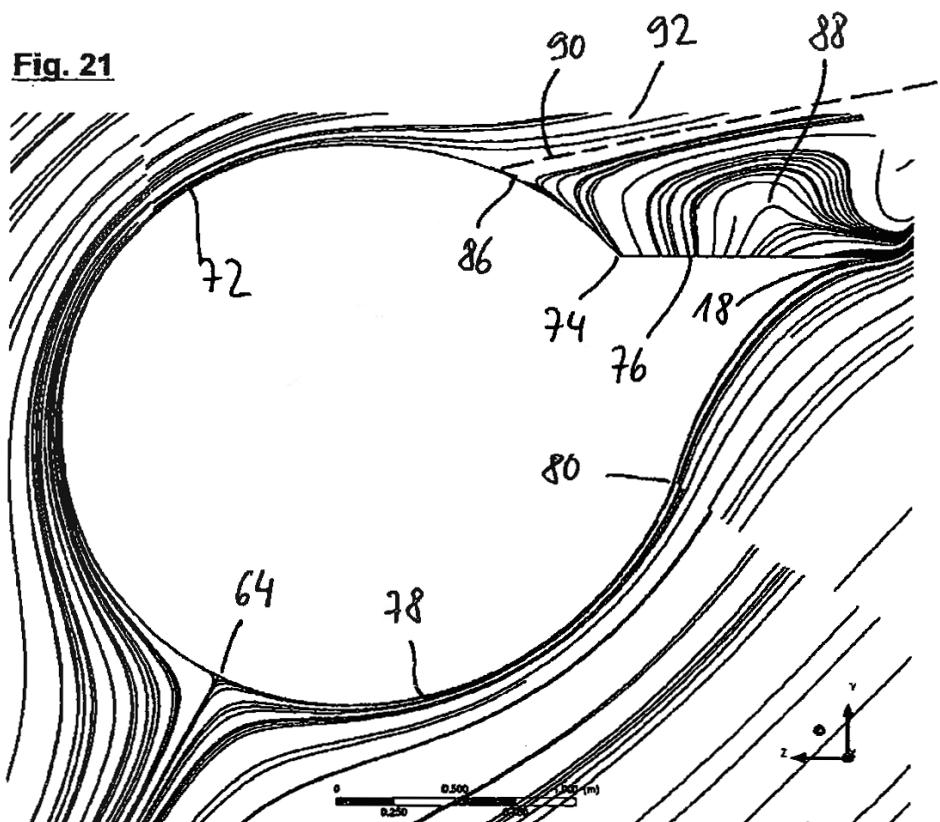
Fig. 17Fig. 18

Fig. 19Fig. 20

**Fig. 21****Fig. 22**