

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 119**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2014** E 14162231 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2019** EP 2840255

54 Título: **Perfil de pala de rotor para una turbina eólica**

30 Prioridad:

**23.08.2013 EP 13181542**

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

**04.03.2020**

73 Titular/es:

**ENO ENERGY SYSTEMS GMBH (100.0%)  
Am Strande 2 e  
18055 Rostock , DE**

72 Inventor/es:

**LUTZ, THORSTEN;  
KLEINHANSL, STEFAN y  
PORM, KARSTEN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 746 119 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 pala de rotor para una turbina eólica

5 Los ejemplos de realización se refieren a una pala de rotor para un aerogenerador, a un aerogenerador y a un parque eólico.

"Parametric Airfoil Catalog - Part I", Thomas Melin, marzo de 2003, página 293, revela una pala de rotor según el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Debido a las diferentes condiciones marco y de compatibilidad, entre las que cuenta, por ejemplo, una escasez de combustibles fósiles, la importancia de las tecnologías regenerativas y/o no contaminantes para la generación de energía es cada vez mayor. Además de la tecnología solar, la generación o la obtención de energía mediante aerogeneradores desempeña un papel relevante, ya que la energía de flujo de las masas de aire se convierte en formas de energía técnicamente más fáciles de utilizar.

15 Además de la idoneidad fundamental de un lugar determinado en el que se instalan uno o varios aerogeneradores, otros factores juegan un papel importante en la determinación y el establecimiento de un emplazamiento correspondiente. En relación con la idoneidad básica de un emplazamiento de este tipo, el predominio de una velocidad media del viento suficiente, por ejemplo, desempeña un papel fundamental.

Sin embargo, también deben tenerse en cuenta otros factores al seleccionar el emplazamiento en cuestión como, por ejemplo, el coste de la aportación de la energía generada a una red eléctrica, el coste de la explotación, así como los componentes sociales como, por ejemplo, la aceptación social de un parque eólico.

20 Con la creciente importancia del uso de la energía eólica, existe el reto fundamental de que los lugares adecuados son cada vez más escasos. Por lo tanto, para poder seguir generando la mayor cantidad de energía posible, es necesario aprovechar mejor las zonas potenciales.

Una pala de rotor según la reivindicación de patente 1, un aerogenerador según la reivindicación de patente 9 y un parque eólico según la reivindicación de patente 14 tienen en cuenta esta necesidad.

25 Una pala de rotor para un aerogenerador según un ejemplo de realización comprende, al menos por secciones, un perfil en una zona exterior de la pala de rotor, extendiéndose la zona exterior, en relación con una longitud total de la pala de rotor, desde el centro de la pala de rotor hasta la punta de pala de la pala de rotor. El perfil presenta un grosor de perfil de al menos un 17,0% e inferior al 19,0% de una longitud de una cuerda de perfil, presentando el perfil, partiendo de un canto delantero del perfil, una reserva de grosor de entre el 35% y el 45% de la longitud de la cuerda de perfil, y presentando el perfil una distancia máxima entre una línea de esqueleto del perfil y la cuerda de perfil de entre el 3,5% y el 4,5% de la longitud de la cuerda de perfil. El perfil presenta además, partiendo del canto delantero, una reserva de curvatura de entre el 40% y el 50% de la longitud de la cuerda de perfil, presentando el perfil un radio de nariz de menos del 2% de la longitud de la cuerda de perfil. La cuerda de perfil y un contorno de un lado del perfil presentan un punto de intersección (210) que presenta una distancia de, como mínimo, un 75% y de, como máximo, un 85% de la longitud de la cuerda de perfil desde el canto delantero del perfil, presentando el perfil, por un canto trasero del perfil opuesto al canto delantero a lo largo de la cuerda de perfil, un ángulo entre la línea de esqueleto y la cuerda de perfil de como mínimo 18° y de como máximo 24°.

40 Un aerogenerador según un ejemplo de realización comprende al menos una pala de rotor apoyada de forma giratoria en un eje horizontal según un ejemplo de realización y un generador acoplado a la al menos una pala de rotor y configurado para convertir una parte de una energía contenida en un movimiento giratorio de la al menos una pala de rotor en otra forma de energía técnicamente utilizable.

45 Un parque eólico según un ejemplo de realización comprende al menos un aerogenerador según un ejemplo de realización y al menos otro aerogenerador, disponiéndose el al menos otro aerogenerador, con respecto a una dirección predeterminada, una dirección del viento y/o una dirección del viento principal, al menos temporalmente en una parte anterior o en una parte posterior de al menos uno de los aerogeneradores.

50 Los ejemplos de realización se basan, por consiguiente, en la idea de que, mediante la configuración descrita de una pala de rotor, es posible instalar y hacer funcionar un mayor número de aerogeneradores en una zona determinada, a fin de permitir así un mayor uso del espacio, es decir, una mayor densidad de instalaciones, en un parque eólico. De este modo cabe la posibilidad de aumentar un rendimiento total o una cantidad de energía total del parque eólico en cuestión a pesar de que el rendimiento o la cantidad de energía generada por un solo aerogenerador sea quizás menor. La potencia o la energía en cuestión es generalmente potencia o energía eléctrica, pero en su caso también puede salir del parque eólico en otra forma (opcionalmente interconectando la producción de energía eléctrica).

55 Así, una pala de rotor según un ejemplo de realización puede contribuir a reducir la intensidad de las turbulencias en la estela de un aerogenerador o en un parque eólico. Complementaria o alternativamente, también se puede lograr una carga más reducida. En su caso, también se puede obtener un coeficiente de penetración aerodinámica más bajo y/o un límite de incidencia con un coeficiente de penetración aerodinámica muy reducido. Por lo tanto, adicional o alternativamente puede ser posible soportar las altas intensidades de turbulencia causadas por las condiciones

ambientales pero también por la estela de otros aerogeneradores como consecuencia de las pequeñas distancias entre los distintos aerogeneradores en un parque eólico.

Como turbulencia se describe a menudo un estado de flujo del aire o de otro elemento que destaca debido a una formación y descomposición de remolinos. Las turbulencias del viento pueden ser provocadas, por ejemplo, por una rugosidad de la superficie, una forma del terreno o también por aerogeneradores adyacentes, por nombrar sólo algunas posibles fuentes de turbulencias.

La intensidad de la turbulencia puede utilizarse como medida de la intensidad de las fluctuaciones de la velocidad del viento en un intervalo de tiempo determinado a una velocidad de viento determinada y puede, por ejemplo, relacionarse con la desviación estándar y expresarse en porcentajes. En este caso, el conocimiento de la turbulencia ambiental de un emplazamiento puede ser de gran importancia para los cálculos de carga y estabilidad de un aerogenerador. En principio, el aumento de la intensidad de las turbulencias conlleva una mayor carga mecánica del aerogenerador.

El punto de diseño puede ser, por ejemplo, el punto de funcionamiento del aerogenerador en el que existe una relación de planeo máximo, es decir, la relación máxima entre la fuerza de elevación y la fuerza de arrastre de la pala del rotor. La velocidad del viento de diseño puede definirse, por ejemplo, de manera que sea la velocidad del viento a la que un coeficiente de rendimiento llega a su máximo. Como consecuencia, la velocidad de diseño, por ejemplo, también puede definirse como la relación entre la velocidad perimetral de la pala del rotor (velocidad de la punta de la pala) y la velocidad del viento. Naturalmente, esto también puede aplicarse a puntos distintos del punto de diseño.

El perfil de la pala de rotor puede presentar un canto delantero y un canto trasero que se unen entre sí a lo largo del perfil desde el primer lado de perfil y el segundo lado de perfil. Aquí, la cuerda de perfil representa la línea de unión recta que une el canto delantero y el canto trasero del perfil. En este caso, la línea de esqueleto representa la así llamada línea central del perfil. La línea de esqueleto puede incluir, por ejemplo, los puntos que, perpendicularmente a la cuerda de perfil, presentan la misma distancia con respecto al primer y al segundo lado de perfil.

Una distancia máxima entre la línea de esqueleto y la cuerda de perfil se denomina curvatura de perfil. Si, por ejemplo, el perfil es asimétrico, es decir, si el primer lado de perfil y el segundo lado de perfil no son simétricos, normalmente la cuerda de perfil y la línea de esqueleto se deshacen. La reserva de curvatura se refiere aquí a la distancia o la posición de la ubicación de la curvatura máxima del perfil desde el canto delantero del perfil en relación con la longitud de la cuerda de perfil. Por el contrario, en caso de un perfil simétrico, la curvatura del perfil es igual a cero, por lo que no se puede especificar ninguna reserva de curvatura.

El grosor del perfil define la distancia máxima entre el primer lado de perfil y el segundo lado de perfil perpendicularmente a la cuerda de perfil. En este caso, la reserva de grosor se refiere a la distancia o a la posición de la ubicación del grosor de perfil máximo desde el canto delantero del perfil en relación con la longitud de la cuerda de perfil, denominándose la longitud también profundidad de perfil.

Finalmente, el radio de nariz se refiere a un radio de un segmento de arco circular que describe una curvatura del perfil en el canto delantero, es decir, en la nariz del perfil. Así, el segmento de arco circular ya puede determinarse, por ejemplo, mediante tres puntos en el canto delantero situados lo más cerca posible del canto delantero. El radio de nariz también se relaciona normalmente con la profundidad del perfil, es decir, con la longitud de la cuerda del perfil.

Una pala de rotor como ésta según un ejemplo de realización puede presentar además una zona en la que un primer lado de perfil y un segundo lado de perfil, que forman al menos parcialmente el contorno de la pala de rotor, se encuentran en un semiespacio común separado por debajo de la cuerda de perfil. Esta zona puede encontrarse, por ejemplo, al menos parcialmente partiendo del canto delantero del perfil, en una zona de extensión de entre el 75% y el 100% de la longitud de la cuerda de perfil.

Dicho de otra forma, la cuerda de perfil puede situarse fuera de su perfil. El punto de intersección del lado de perfil en cuestión o del contorno y de la cuerda de perfil se encuentra, por consiguiente, en un rango de entre el 75% y el 85%, opcionalmente también en un rango que comienza, por ejemplo, en el 77% y/o termina en el 83%.

Opcionalmente, en caso de una pala de rotor según un ejemplo de realización, el perfil puede presentar un canto trasero configurado como tiene un grosor de al menos un 0,05% de la longitud de la cuerda de perfil. En este caso, el canto trasero se encuentra a lo largo de la cuerda de perfil en un lado de la pala de rotor opuesto al canto delantero. De este modo es posible mejorar, en su caso, un desprendimiento del flujo en la pala de rotor.

Así, en caso de una pala de rotor según un ejemplo de realización, el primer lado de perfil y el segundo lado de perfil en el canto trasero del perfil pueden unirse entre sí a través de una superficie de canto trasero que presenta una altura de al menos el 0,05% de la longitud de la cuerda de perfil. De este modo se facilita la fabricación de una pala de rotor sin influir significativamente en las propiedades aerodinámicas de la pala de rotor. En su caso, opcionalmente se puede ahorrar material y, por lo tanto, peso. En este caso, la superficie de canto trasero también puede presentar, por ejemplo, una longitud de al menos un 0,1%, de al menos un 0,5% o de al menos un 1% de la longitud de la cuerda de perfil. Ésta también puede limitarse en la parte superior. Por ejemplo, puede ser de un máximo del 10%, un máximo del 5% o también un máximo del 1% de la longitud de la cuerda de perfil. Así, la

- superficie de canto trasero 170 con la cuerda de perfil 110 puede formar, por ejemplo, un ángulo de aproximadamente 90°. Con otras palabras, la superficie de canto trasero 170 es perpendicular o casi perpendicular a la cuerda de perfil 110. Sin embargo, en otros ejemplos de realización este ángulo también puede desviarse de este ángulo recto en un máximo de 80°. El ángulo también puede desviarse como máximo 45° de este ángulo recto. Por consiguiente, también se puede configurar en su caso un comportamiento de separación del flujo en el canto trasero, de manera que se produzcan menos turbulencias.
- En caso de una pala de rotor según un ejemplo de realización, la longitud de la cuerda de perfil en la zona exterior puede corresponder a menos del 7% de la longitud total de la pala de rotor. En otro ejemplo de realización, la longitud de la cuerda de perfil en la zona exterior de la pala de rotor también puede ser inferior al 6%. Por lo tanto, puede tratarse de una pala de rotor comparativamente estrecha, con lo que, en su caso, se puede influir positivamente en la relación entre la fuerza de elevación y la fuerza de arrastre, también conocida como relación de planeo, y (adicional o alternativamente) reducir la formación de turbulencias de la pala de rotor.
- Complementaria o alternativamente, una pala de rotor según un ejemplo de realización puede presentar una conexión de cubo con un perfil de conexión de cubo circular o prácticamente circular. Así puede ser posible, en su caso, reducir las cargas mecánicas en la zona del cubo de la pala de rotor, también conocida como raíz.
- La conexión de cubo representa aquí una zona de la pala de rotor a través de la cual se puede llevar a cabo una unión de la pala de rotor a un cubo del aerogenerador. En este caso, el cubo puede apoyarse de forma giratoria alrededor del eje horizontal y, según un ejemplo de realización, contribuir así, al menos parcialmente, al apoyo giratorio de la pala de rotor sobre el eje horizontal en un aerogenerador.
- Opcionalmente, en caso de una pala de rotor según un ejemplo de realización, el perfil de conexión de cubo puede extenderse a lo largo de una dirección de extensión principal de la pala de rotor partiendo de la conexión de cubo hasta un máximo del 10% de la longitud total de la pala de rotor (330). De este modo puede ser posible, por una parte, provocar una descarga de la estructura mecánica de la pala de rotor, pero sin utilizar en gran medida el espacio constructivo disponible de la pala de rotor para una estructura de conexión de este tipo ni la zona de transición mecánica al perfil de rotor que contribuye en menor grado a la generación de energía. En este caso, la pala de rotor presenta su mayor expansión a lo largo de la dirección de extensión principal.
- Adicional o alternativamente, una pala de rotor de este tipo según un ejemplo de realización puede presentar, en un punto separado de la conexión de cubo como máximo un 30% de la longitud total de la pala de rotor, un perfil de transición con un grosor del 50% del grosor del perfil de conexión de cubo. Así puede ser posible, en su caso, conseguir un componente de elevación técnicamente utilizable también en esta zona de la pala de rotor.
- Complementaria o alternativamente, una pala de rotor como ésta según un ejemplo de realización puede presentar en otro punto que no exceda del 35% de la longitud total de la pala de rotor partiendo de una conexión de cubo, un perfil que comprenda una profundidad de perfil máxima de la pala de rotor. De este modo también puede ser posible, en su caso, aumentar una elevación de la pala de rotor.
- Adicional o alternativamente, en caso de una pala de rotor según un ejemplo de realización puede llevarse a cabo al menos una transición entre diferentes perfiles de forma armoniosa. En su caso, todas las transiciones entre los diferentes perfiles también pueden tener lugar de forma armoniosa. Así puede ser posible, en su caso, reducir una formación de turbulencias.
- Aquí una transición armoniosa puede ser, por ejemplo, una que sólo presenta superficies fundamentalmente lisas que pueden desarrollarse rectas y/o curvas por secciones. En caso de una transición armoniosa se puede evitar, en su caso, un canto transversalmente a la dirección de extensión de la pala de rotor, lo que podría causar un aumento de las turbulencias al moverse la pala de rotor. Naturalmente, aquí se incluyen las desviaciones de una superficie lisa como ésta debidas a la fabricación, al montaje o a otras razones. También se incluyen los recubrimientos, los barnizados y otros tratamientos de superficie que dan lugar a una estructura definida o especificada de una superficie que, de otro modo, se desarrollaría fundamentalmente lisa.
- Opcionalmente, en caso de un aerogenerador según un ejemplo de realización, el perfil comprendido al menos por secciones en la zona exterior de al menos una pala de rotor en un punto de diseño definido por una relación de planeo máxima y en un estado limpio de la pala de rotor puede alcanzar un coeficiente de elevación de como máximo un 1,3 y un coeficiente de resistencia de como máximo un 0,01.
- Adicional o alternativamente, en caso de un aerogenerador según un ejemplo de realización, el perfil comprendido al menos por secciones en la zona exterior de al menos una pala de rotor, puede presentar un límite de incidencia de más de 5° en el que el coeficiente de resistencia no rebasa en un 50% un coeficiente de resistencia mínimo de como máximo 0,007. De este modo puede ser posible, en su caso, minimizar la formación de turbulencias en el flujo oblicuo como consecuencia de los rápidos cambios de dirección del viento.
- Complementaria o alternativamente, un aerogenerador según un ejemplo de realización puede configurarse para una turbulencia de diseño de acuerdo con la definición para el valor característico de la intensidad de turbulencia a 15 m/s conforme a la norma IEC 61400-1, 3ª edición, de más del 16% y menos del 24%. Así cabe la posibilidad de que el aerogenerador resista mejor las turbulencias inducidas por una distancia más corta entre las instalaciones.

Adicional o alternativamente, un aerogenerador según un ejemplo de realización puede presentar, durante un funcionamiento normal a una velocidad del viento de más de 4 m/s, un coeficiente de empuje estático de no más de 0,8. De este modo puede ser posible, en su caso, lograr una reducción de una turbulencia inducida por la instalación con un empuje de rotor bajo.

- 5 Opcionalmente, en caso de un parque eólico según un ejemplo de realización, el al menos otro aerogenerador puede comprender también un aerogenerador según un ejemplo de realización. Un parque eólico puede incluir, por ejemplo, una serie de ejemplos de realización idénticos o diferentes de un aerogenerador.

10 El coeficiente de empuje  $c_s$  también se denomina valor  $c_T$  (thrust). El coeficiente de elevación  $c_A$  también se denomina valor  $c_L$  (lift) y el coeficiente de resistencia  $c_w$  también se denomina valor  $c_D$  (drag). Dicho de otro modo, el símbolo de fórmula  $c_T$  también se utiliza para el símbolo de fórmula  $c_s$ , el símbolo de fórmula  $c_L$  también se utiliza para el símbolo de fórmula  $c_A$  y el símbolo de fórmula  $c_D$  también se utiliza para el símbolo de fórmula  $c_w$ .

Un acoplamiento mecánico de dos componentes comprende tanto un acoplamiento directo, como también uno indirecto.

- 15 A continuación se describen y explican con más detalle los ejemplos de realización con referencia a las figuras adjuntas.

Figura 1 muestra un perfil de una pala de rotor según un ejemplo de realización en una zona exterior;

Figura 2 muestra una representación ampliada del canto trasero del perfil de una pala de rotor según un ejemplo de realización;

- 20 Figura 3 muestra una representación parcial en perspectiva de un cubo de un aerogenerador según un ejemplo de realización con varias palas de rotor según un ejemplo de realización en la zona de la conexión de cubo de la pala de rotor;

Figura 4 muestra una representación esquemáticamente simplificada de un aerogenerador según un ejemplo de realización; y

- 25 Figura 5 muestra una representación esquemáticamente simplificada de un parque eólico según un ejemplo de realización.

A continuación se describen más detalladamente algunos ejemplos de realización haciéndose referencia a las figuras adjuntas. En las figuras, las dimensiones del grosor de las líneas, zonas, capas y/o regiones se pueden representar exageradas para una mayor claridad.

- 30 En la siguiente descripción de las figuras adjuntas, que sólo muestran algunos ejemplos de realización, las mismas referencias pueden designar los mismos componentes o componentes comparables. Los grupos de referencias se pueden utilizar además para componentes y objetos que aparecen más de una vez en un ejemplo de realización o en un dibujo, pero que se describen juntos en relación con una o varias características. Los componentes u objetos descritos con las mismas referencias o con los mismos grupos de referencias pueden realizarse iguales o, en su caso, también diferentes con respecto a una, a varias o a todas las características, por ejemplo, sus dimensiones, siempre que la descripción no indique explícita o implícitamente otra cosa.

- 35 Aunque los ejemplos de realización pueden modificarse y alterarse de varias maneras, los ejemplos de realización en las figuras se representan como ejemplos y se describen aquí en detalle. No obstante, debe quedar claro que no se pretende limitar los ejemplos de realización a las respectivas formas reveladas, sino que los ejemplos de realización deben abarcar más bien todas las modificaciones funcionales y/o estructurales, equivalentes y alternativas que se encuentren dentro del alcance de la invención. En toda la descripción de las figuras, las mismas referencias designan elementos iguales o similares.

- 40 La figura 1 muestra una representación de un perfil 100 de una pala de rotor según un ejemplo de realización para un aerogenerador. En este caso, el perfil 100 se dispone, al menos por secciones, en una zona exterior de la pala de rotor, extendiéndose la zona exterior de la pala de rotor desde un centro de la pala de rotor. Aquí, la pala de rotor se extiende a lo largo de una dirección de extensión principal que en la representación mostrada en la figura 1 es fundamentalmente perpendicular. Por lo tanto, la pala de rotor presenta, al menos por secciones en la zona exterior de la pala de rotor, el perfil que se muestra en la figura 1 y que se describe más adelante.

- 45 En este caso, la representación en la figura 1 se elige de manera que la abscisa corresponda a una cuerda de perfil 110. Aquí, la cuerda de perfil 110 une como línea recta un canto delantero 120 del perfil a un canto trasero 130. En lo que respecta a las dimensiones del perfil, se utiliza un dimensionamiento relacionado con la longitud total o con la longitud de la cuerda de perfil 110. Por consiguiente, el canto delantero 120 del perfil 100 tiene una longitud de 0,00 y el canto trasero una longitud de 1,00. El mismo dimensionamiento se utiliza también para las especificaciones del grosor y otras indicaciones perpendicularmente a la dirección de la cuerda de perfil 110.

- 55 Además, el canto delantero 120 y el canto trasero 130 están unidos entre sí por una línea de esqueleto 140. A diferencia de la cuerda de perfil 110, en el caso de la línea de esqueleto 140 no se trata necesariamente de una línea recta. La línea de esqueleto 140 es una línea que relaciona los lados del perfil 100 entre sí. El perfil 100 presenta un primer lado de perfil 150 y un segundo lado de perfil 160 que coinciden en el canto delantero 120.

Dependiendo de la configuración concreta de un perfil 100 según un ejemplo de realización, el primer y el segundo lado de perfil 150, 160 también pueden coincidir en el canto trasero 130, aunque también se puede disponer en el canto trasero 130 una superficie de canto trasero 170 que abarca el canto trasero 130 y que une entre sí el primer y el segundo lado de perfil 150, 160. El primer lado de perfil 150 se denomina a menudo lado inferior de perfil o cara inferior del perfil 100, mientras que el segundo lado de perfil 160 se denomina lado superior de perfil o cara superior del perfil 100.

Por consiguiente, la línea de esqueleto 140 designa los puntos perpendiculares a la cuerda de perfil 110 que presentan una distancia igual entre el primer lado de perfil 150 y el segundo lado de perfil 160. Si en el caso del perfil 100 se trata de un perfil 100 asimétrico, en el que los puntos del primer lado de perfil 150 y los puntos del segundo lado de perfil 160 se disponen a la misma distancia con respecto a la cuerda de perfil 110, en el caso de la línea de esqueleto 140 no se trata normalmente de una línea recta, sino de una línea curva.

Como se ha explicado antes, la figura 1 muestra el perfil en la zona exterior de la pala de rotor. El perfil presenta en la zona exterior, al menos por secciones, un grosor de perfil, es decir, una distancia máxima perpendicularmente a la cuerda de perfil 110 entre el primer lado de perfil 150 y el segundo lado de perfil 160 de al menos el 17,0% y de menos del 19,0% de la longitud de la cuerda del perfil 100. En otros ejemplos de realización, el grosor de perfil también puede encontrarse en el rango del 17,5% al 18,5% inclusive. Más concretamente, el ejemplo de realización de un perfil 100 mostrado en la figura 1 presenta un grosor de perfil aproximadamente del 18%.

En este caso, el valor máximo del grosor de perfil se alcanza partiendo del canto delantero del perfil 100, también llamado nariz de perfil, en un rango de entre el 35% y el 45% de la longitud de la cuerda de perfil. Este valor también se denomina reserva de grosor, siendo de un modo más específico la reserva de grosor en el ejemplo de realización aquí mostrado aproximadamente del 40% de la longitud de la cuerda de perfil.

El perfil 100 presenta además una distancia máxima entre la línea de esqueleto 140 y la cuerda de perfil 110 perpendicularmente con respecto a ésta que se encuentra en un rango de entre el 3,5% y el 4,5% de la longitud de la cuerda de perfil. Esta curvatura de la línea de esqueleto 140 también se denomina curvatura. En el ejemplo de realización aquí mostrado, la curvatura es de aproximadamente un 4%.

Un perfil 100 de la pala de rotor según un ejemplo de realización adopta el valor de una curvatura máxima, es decir, la distancia máxima entre la línea de esqueleto 140 y la cuerda de perfil 110, en un rango de entre el 40% y el 50% de la longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil 100. En otros ejemplos de realización, este valor, también conocido como reserva de curvatura, es del 48% como máximo. Dependiendo de la configuración concreta, también puede ocurrir que la reserva de curvatura en los ejemplos de realización sea de al menos un 42%. La figura 1 muestra concretamente un perfil con una reserva de curvatura de aproximadamente el 45%.

El perfil 100 presenta además en el canto delantero 120 un radio de nariz que corresponde a menos del 2% de la longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil. En otros ejemplos de realización, este valor también puede ser de un máximo del 1,5%. Para ilustrarlo, la figura 1 muestra un círculo 180 que toca tangencialmente el perfil 100 en la zona del canto delantero 120, describiendo allí su forma. El círculo 180, como se muestra en la figura 1, presenta en este caso un radio de aproximadamente el 1% de la longitud de la cuerda de perfil 110 y se puede determinar, por ejemplo, mediante tres puntos en la zona del canto delantero 120 del perfil.

En la zona del canto delantero 120, el primer lado del perfil 150 y el segundo lado del perfil 160 se sitúan directamente uno al lado de otro, presentando aquí un contorno que puede describirse, al menos por secciones, mediante el círculo 180 y los radios de nariz antes citados.

Sin embargo, antes de describir las posibles configuraciones del canto trasero 130, en primer lugar resulta aconsejable describir más detalladamente un desarrollo básico del primer y del segundo lado de perfil 150, 160.

Al igual que el primer lado de perfil 150, el segundo lado de perfil 160 presenta en el canto delantero 120 una tangente que se desarrolla fundamentalmente perpendicular a la línea de esqueleto 140. El segundo lado de perfil 160, es decir, el lado superior de perfil del perfil 100, presenta un ángulo de inclinación que decrece a medida que aumenta la distancia desde el canto delantero 120 y que, en un punto entre el canto delantero 120 y el canto trasero 130, presenta una tangente paralelamente a la cuerda de perfil 110. El segundo lado de perfil 160 presenta, por consiguiente, una superficie fundamentalmente curvada de forma similar que se extiende desde el canto delantero 120 hasta la zona del canto trasero 130.

Por el contrario, el primer lado de perfil 150, en cuyo caso se trata del lado inferior de perfil, presenta una forma más compleja. Partiendo de la tangente en el canto delantero 120, que se desarrolla fundamentalmente perpendicular a la cuerda de perfil 110, el primer lado de perfil 150 describe en primer lugar una curvatura fundamentalmente uniforme, en la que una tangente orientada paralelamente a la cuerda de perfil 110 también está presente en un punto determinado. No obstante, el primer lado de perfil 150 corta la cuerda de perfil 110 claramente delante del canto trasero 130 del perfil 100. De este modo se crea una zona 190 en la que el primer lado de perfil 150 y el segundo lado de perfil 160 se encuentran en un semiespacio común 200 separado de la cuerda de perfil 110.

Dicho de otra forma, el perfil 100 presenta un punto de intersección 210 en el que el primer lado de perfil 150 corta la cuerda de perfil 110, entrando así en el semiespacio común 200. Por lo tanto, en la zona 190 la cuerda de perfil 110 se desarrolla fuera del contorno del perfil 100 de la pala de rotor. Antes de la intersección 210, el primer lado de

perfil 150 se desarrolla en otro semiespacio 220 también separado de la cuerda de perfil 110 y que, junto con el semiespacio 200 y los puntos de la cuerda de perfil 110, describe y abarca todo el espacio del perfil o del plano de sección transversal correspondiente. En este caso, la cuerda de perfil 110 se desarrolla en el interior del contorno.

5 Dependiendo de la configuración concreta, el punto de intersección 210 de un perfil 100 se encuentra dentro de un rango de entre aproximadamente el 75% y el 85% de la longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil 100.

Si se implementa una superficie de canto trasero 170, el primer lado de perfil 150 puede, en su caso, cambiar al otro semiespacio 220 en la zona 190. Precisamente con respecto al límite trasero de la zona 190 puede ocurrir que el primer lado de perfil 150 no se encuentre completamente en el semiespacio 200, sino que cambie con anterioridad al otro semiespacio 220.

10 Por consiguiente, el primer lado de perfil 150 presenta en la zona 190 otro punto en el que tiene una tangente que se desarrolla paralelamente a la cuerda de perfil 110. En general, el primer lado de perfil 150 describe una configuración en forma de S del lado de perfil. Con otras palabras, en una zona próxima al canto trasero 130, el lado inferior de perfil (primer lado de perfil 150) se encuentra por encima de la cuerda de perfil 110.

15 Esta configuración del perfil en la zona del canto trasero 130 puede contribuir a reducir una formación de turbulencias. Gracias al flujo laminar asociado puede ser posible, en su caso, reducir una distancia de un aerogenerador que está dispuesto en la estela de un aerogenerador según un ejemplo de realización con una pala de rotor de este tipo según un ejemplo de realización. Por lo tanto, en su caso puede ser posible aumentar una densidad de instalación de aerogeneradores en un área determinada.

20 La figura 2 muestra una representación esquemática del perfil 100 en una zona del canto trasero 130. La figura 2 muestra una representación ampliada del desarrollo del primer lado de perfil 150 y del segundo lado de perfil 160, así como del desarrollo de la línea de esqueleto 140 y de la cuerda de perfil 110. Aquí, el perfil 100 presenta, entre la cuerda de perfil 110 y la línea de esqueleto 140, un ángulo 230 que en el presente caso es de entre 18° y 24°.

25 Sin embargo, la representación de la figura 2 muestra especialmente que en el caso de este perfil 100 se dispone opcionalmente una superficie de canto trasero 170 entre el primer lado de perfil 150 y el segundo lado de perfil 160. Aquí, la superficie de canto trasero 170 se desarrolla fundamentalmente vertical o perpendicular a la cuerda de perfil 110. No obstante, en otros ejemplos de realización, la superficie de canto trasero 170 con la cuerda de perfil 110 también puede formar un ángulo diferente. Por ejemplo, éste puede desviarse del ángulo recto en un máximo de 80° o también en un máximo de 45°.

30 La superficie de canto trasero 170 del perfil 100 presenta una altura de al menos un 0,05% de la longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil 100. De este modo, la pala de rotor 330 puede fabricarse, en su caso, más fácilmente sin influir de forma significativa en las propiedades aerodinámicas de la pala de rotor 330. Opcionalmente también se puede ahorrar material y, por lo tanto, peso. La superficie de canto trasero 170 puede presentar, por ejemplo, una longitud de al menos un 0,1%, de al menos un 0,5% o de al menos un 1% de la longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil 100. La misma también puede limitarse en la parte superior. Por ejemplo, puede ser de un 10% como máximo, de un 5% como máximo o de un 1% como máximo de la longitud de la cuerda de perfil 110.

35 Si se implementa una superficie de canto trasero 170 como ésta, el punto de intersección de la cuerda de perfil 110, es decir, el propio canto trasero 130, puede definirse, por ejemplo, de manera que corte la superficie de canto trasero 170 por la mitad. Sin embargo, esto puede dar lugar a que el primer lado de perfil 150, es decir, el lado inferior de perfil, corte de nuevo la cuerda de perfil 110 y pase de nuevo del semiespacio 200 al otro semiespacio 220.

Dependiendo de la configuración concreta del perfil 100, especialmente con respecto a su extremo orientado hacia el canto trasero 130, la zona 190 puede, en su caso, no encontrarse completamente dentro de la zona de extensión.

En función de la configuración concreta de un ejemplo de realización de una pala de rotor, ésta puede configurarse en el canto delantero, en el canto trasero o también en ambos cantos de un modo diferente al antes descrito.

45 Como ya se ha explicado anteriormente, se pueden utilizar palas de rotor con diferentes secciones transversales. Éstas presentan generalmente una conicidad hacia la punta de la pala y se configuran comparativamente estrechas. En el caso de una pala de rotor según un ejemplo de realización, la longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil 100 en la zona exterior de la pala de rotor puede corresponder, por ejemplo, a menos del 7% de la longitud total de la pala de rotor, es decir, de la longitud de la pala de rotor a lo largo de la dirección de extensión principal.

50 La figura 3 muestra una vista en perspectiva de un aerogenerador 300 según un ejemplo de realización en una zona de un cubo 310 del aerogenerador 300. En este caso, el cubo 310 se apoya de forma giratoria alrededor de un eje horizontal 320. En la configuración de un aerogenerador 300 mostrada en la figura 3, tres palas de rotor 330 según un ejemplo de realización se acoplan a través del cubo 310. Aquí, el acoplamiento de las palas de rotor 330 se realiza de manera que éstas puedan girar sobre un eje horizontal 320. Dicho de otro modo, en el ejemplo de realización aquí mostrado, el cubo 310 proporciona el apoyo giratorio de las palas de rotor 330 que en una zona exterior pueden presentar, por ejemplo, el perfil 100 mostrado en las figuras 1 y 2.

55 El cubo 310 se apoya con posibilidad de giro a través de un árbol principal, no mostrado en la figura 3, en una góndola 340 del aerogenerador 300. En este caso, el árbol principal se extiende paralelamente al eje horizontal 320.

Para permitir una adaptación del aerogenerador a las condiciones de flujo del viento reinantes, las palas de rotor 330 se apoyan a menudo de forma giratoria en el cubo 310. De este modo, las palas de rotor 330 pueden adaptarse a las condiciones del viento reinantes con respecto a un ángulo de incidencia de las palas de rotor 330, girándolas desde el cubo alrededor de un eje pivotante 350 que se desarrolla fundamentalmente perpendicular al eje horizontal 330.

Para facilitar una sujeción y fijación más sencillas de las palas de rotor 330, las palas de rotor 330 presentan, partiendo de una conexión de cubo 360, a través de la cual las palas de rotor 330 pueden unirse mecánicamente al cubo 310, una sección transversal circular o prácticamente circular de como máximo el 10% de la longitud total de la pala de rotor a lo largo de una dirección de extensión principal 355 de la pala de rotor 330 a partir de la conexión de cubo 360. La dirección de extensión principal 355 a menudo coincide o casi coincide fundamentalmente con el eje pivotante 350, mediante el cual se pueden ajustar las palas del rotor 330 en relación con su ángulo de incidencia. Dependiendo de la implementación concreta, la unión entre el cubo y la punta de pala puede, en su caso, no ser idéntica al eje pivotante mediante un doblado previo de la pala de rotor 330.

Una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización puede presentar en su punta de pala, es decir, partiendo de la conexión de cubo 360 a lo largo de la dirección de extensión principal 355 de al menos el 95% de la longitud total de la pala de rotor, una zona separada de punta de pala en la que se dispone al menos una estructura de punta de pala. Estas estructuras de pala pueden tener una influencia positiva en las propiedades aerodinámicas de la pala de rotor 330. Por ejemplo, también puede ser posible, alternativa o adicionalmente, reducir el esfuerzo técnico, por motivos de fabricación o logísticos y, en su caso, los costes y/o aumentar la seguridad.

La figura 4 muestra una representación esquemática de un aerogenerador 300 según un ejemplo de realización. Este aerogenerador 300 también presenta un cubo 310 apoyado en una góndola 340 del aerogenerador 300 que puede girar sobre el eje horizontal 320. Este aerogenerador 300 también comprende varias palas de rotor 330 que se extienden fundamentalmente perpendiculares desde el eje horizontal 320. También en este caso, las palas de rotor 330 se apoyan con posibilidad de giro alrededor del eje pivotante 350 en la zona del cubo 310, a fin de modificar el ángulo de incidencia de las palas de rotor 330.

El cubo 310 se acopla a través del árbol principal 370 a un generador 380 dispuesto en el interior de la góndola 340. El generador se acopla a las palas de rotor 330 a través del árbol principal 370 y del cubo 310, de manera que pueda convertir al menos una parte de una energía contenida en un movimiento giratorio de las palas de rotor 330 en una energía técnicamente más fácil de utilizar. Por ejemplo, puede tratarse de energía eléctrica, pero también de una energía de rotación o similar.

Para permitir un ajuste mejorado de la góndola 340 y, por lo tanto, de las palas de rotor 330, a las condiciones del viento reinantes, la góndola 340 se puede apoyar, con respecto a una torre 390, con posibilidad de giro alrededor de un eje vertical 400 en cuyo extremo se encuentra mecánicamente fijada. En un lado de la torre 390, opuesto a la góndola, ésta se une normalmente de forma mecánica a una base 410. En este caso, la base 410 se puede disponer tanto en tierra, como también debajo de una superficie de agua, por ejemplo, debajo de una superficie marina.

Gracias a la capacidad de giro de la góndola 340 alrededor del eje vertical 400, las palas de rotor 330 pueden orientarse fundamentalmente perpendiculares a la dirección del viento reinante. Se puede tener en cuenta un cambio en la velocidad del viento mediante una modificación del ángulo de incidencia y, por consiguiente, mediante un giro de las palas de rotor 330 alrededor del eje pivotante 350. De este modo puede ser posible, mediante una orientación correspondiente de la góndola 340 y de las palas de rotor 330, que el generador 380 genere una energía técnicamente más fácil de utilizar, como la energía eléctrica antes citada, que es compatible con las especificaciones del aerogenerador en cuestión y con las condiciones de viento reinantes.

Aunque en los ejemplos de realización antes descritos siempre se ha indicado un aerogenerador 300 con tres palas de rotor 330, en otros ejemplos de realización también se puede prever un número mayor o menor de palas de rotor. Por consiguiente, un aerogenerador 300 puede presentar, por ejemplo, sólo una única pala de rotor 330, dos palas de rotor 330 o cuatro o más palas de rotor 330.

Mediante el uso de una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización, el aerogenerador 100 también puede configurarse, por ejemplo, de manera que el mismo siempre presente un coeficiente de empuje estático  $c_s$  nunca superior a 0,8 en un funcionamiento normal a una velocidad del viento de más de 4 m/s. En su caso, mediante el uso de un perfil 100 en una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización también puede ser posible configurar un aerogenerador 300 de manera que la pala de rotor 330 no rebase un valor de elevación de aproximadamente 1,3 y un coeficiente de resistencia  $c_w$  de 0,01 en un punto de diseño definido por una relación de planeo máxima en la zona exterior y en un estado limpio de la pala de rotor 330. En tal caso, el perfil 100 de la pala de rotor 330 puede presentar, por ejemplo, un límite de incidencia de más de 5° en el que el coeficiente de resistencia  $c_w$  no rebase en un 50% un coeficiente mínimo de resistencia de como máximo 0,007. Dicho de otra forma, en el límite de incidencia de al menos 5° no se puede rebasar 1,5 veces el coeficiente mínimo de resistencia, siendo el coeficiente mínimo de resistencia de 0,007 como máximo.

Finalmente, la figura 5 muestra una vista esquemática de un parque eólico 500 según un ejemplo de realización. El parque eólico 500 comprende, por lo tanto, al menos un aerogenerador 330 según un ejemplo de realización, así como al menos otro aerogenerador 330' que está dispuesto en una estela de al menos uno de los aerogeneradores 330 según un ejemplo de realización con respecto a una dirección predeterminada 510 que puede ser, por ejemplo,



una dirección del viento. En este caso, el aerogenerador 330' dispuesto en la estela también puede ser opcionalmente un aerogenerador 300 según un ejemplo de realización. Con otras palabras, en caso de un parque eólico 500 según un ejemplo de realización, el al menos otro aerogenerador 300' también puede representar o comprender un aerogenerador 300 según un ejemplo de realización. La dirección predeterminada 510 también puede formar un ángulo distinto de  $0^\circ$  con respecto a una dirección del viento, por ejemplo, una dirección del viento principal o secundario. Dicho de otro modo, una dirección del viento como ésta y la dirección predeterminada 510 no pueden ser colineales.

En la configuración del parque eólico 500 mostrada en la figura 5, éste presenta un total de ocho aerogeneradores 300 o 300' que se disponen en un esquema fundamentalmente en ángulo recto con respecto a la dirección predeterminada 510, que puede ser la dirección principal del viento, y a otra dirección predeterminada 520 que opcionalmente también puede coincidir con una dirección del viento, por ejemplo, la dirección del viento secundaria. A lo largo de la dirección predeterminada 510, los aerogeneradores 300, 300' presentan una distancia  $a \cdot D_R$  relativa a un diámetro de rotor  $D_R$ . De forma correspondiente, los aerogeneradores 300, 300' también presentan una distancia  $b \cdot D_R$  relativa al diámetro de rotor  $D_R$  a lo largo de la otra dirección predeterminada 520.

Aquí, los coeficientes  $a$  y  $b$  son números reales positivos que normalmente se pueden elegir más pequeños con respecto a los sistemas convencionales y los aerogeneradores convencionales, dado que, mediante el uso de una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización en un aerogenerador 300 según un ejemplo de realización, puede ser posible reducir una formación de turbulencias en la estela del aerogenerador en cuestión 300. De este modo se puede mejorar el flujo de los aerogeneradores adicionales 300' dispuestos en la estela, de manera que éstos puedan ofrecer un rendimiento superior al que sería posible, en su caso, con las instalaciones convencionales si estuvieran dispuestas en la parte anterior delante de los aerogeneradores adicionales en cuestión 300'. Más concretamente, en el caso del parque eólico 500 mostrado en la figura 5 sólo se utilizan aerogeneradores 300 según un ejemplo de realización.

Naturalmente, en otros parques eólicos 500 según un ejemplo de realización es posible desviarse de la configuración del parque eólico mostrada en la figura 5. Así, por ejemplo, los aerogeneradores 300 según un ejemplo de realización, así como los aerogeneradores convencionales, pueden utilizarse perfectamente como aerogeneradores adicionales 300'. En su caso, también es posible utilizar configuraciones de parques eólicos que no estén dispuestas en ángulo recto, sino que estén orientadas en las direcciones 510 y 520 que se desarrollan fundamentalmente perpendiculares entre sí. Igualmente, en caso de un parque eólico 500 según un ejemplo de realización puede, en su caso, resultar aconsejable no implementar ninguna disposición regular de los aerogeneradores 300, 300'. Esto puede ser aconsejable, por ejemplo, en virtud de la naturaleza geográfica del área en cuestión.

También es posible adaptar libremente un número de aerogeneradores 300, 300' para diferentes parques eólicos según un ejemplo de realización. Por un parque eólico debe entenderse siempre una disposición de al menos dos aerogeneradores cercanos uno del otro. Dicho de otro modo, no sólo se pueden utilizar configuraciones de parques eólicos rectangulares, por ejemplo, rectangulares o cuadradas, sino también otras configuraciones de parques eólicos. En el marco de los parques eólicos 500 según un ejemplo de realización se pueden aplicar incluso configuraciones de parques eólicos irregulares o al menos parcialmente irregulares.

Mediante el uso de una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización, de un aerogenerador 300 según un ejemplo de realización y de un parque eólico 500 según un ejemplo de realización, se puede conseguir, en su caso, una mayor densidad de instalación en un parque eólico 500 de este tipo. Una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización con un perfil 100 puede contribuir así a minimizar o al menos reducir las turbulencias en el parque eólico 500 y, por consiguiente, a reducir las cargas. Gracias al uso de una pala de rotor 330 adecuada, es posible configurar el mayor flujo laminar posible en la estela. También puede ser posible alcanzar los coeficientes de resistencia más bajos posibles, así como un límite de incidencia con un coeficiente de resistencia muy reducido. Utilizando una pala de rotor 330 adecuada se puede reducir, en su caso, una distancia  $a \cdot D_R$  o  $b \cdot D_R$  sin dimensiones con respecto al diámetro de rotor  $D_R$ , con lo que se puede aumentar la rentabilidad de superficie en comparación con una configuración con instalaciones convencionales para una ubicación determinada del parque eólico 500.

En caso de una pala de rotor 330 según un ejemplo de realización, el perfil 100 puede alcanzar los valores característicos citados, por ejemplo, utilizando en la zona exterior un perfil de pala más bien estrecho, delgado y curvado. El perfil 100 presenta en la zona exterior un grosor de perfil inferior al 19,0% y de al menos un 17,0%, una reserva de grosor del 35% al 45%, una curvatura de perfil del 3,5% al 4,5%, una reserva de curvatura del 40% al 50%, y un radio de la nariz de menos del 2% de la longitud de la cuerda de perfil 110. En este caso, el perfil puede presentar además una zona 190 próxima al canto trasero 130 en la que el lado inferior de perfil 150 se encuentra por encima de la cuerda de perfil 110, estando el punto de intersección 210, entre el canto inferior de perfil 150 y la cuerda de perfil 110, separado del canto delantero aproximadamente en un 75% a un 85% de la longitud de la cuerda de perfil 110. Aquí, el ángulo 230 entre la línea de esqueleto 140 y la cuerda 110 en el canto trasero 130 del perfil 100 de la pala de rotor 330 es de entre  $18^\circ$  y  $24^\circ$ . El perfil 100 se encuentra, al menos por secciones, en la zona exterior de la pala de rotor 330 que se extiende desde el centro de la pala de rotor 330 hasta la punta de pala de la pala de rotor 330.

En este caso puede ser aconsejable cumplir los requisitos técnicos de fabricación. Así, en caso de una pala de rotor 330 de este tipo, el perfil puede presentar un canto trasero 130 configurado como que tiene un grosor de al menos

un 0,05% de la longitud de la cuerda de perfil 110. De este modo se mejora la capacidad de fabricación de una pala de rotor 330 según la invención a partir de al menos dos componentes unidos entre sí.

5 La longitud de la cuerda de perfil 110 del perfil 100 en la zona exterior de la pala de rotor 330 puede corresponder a menos del 7% de la longitud de pala. Mediante una reducción como ésta de la profundidad de pala de rotor es posible lograr una reducción de las turbulencias.

Además, la pala de rotor 330 puede presentar en la conexión de cubo 360 una sección transversal circular o prácticamente circular.

10 Por razones de capacidad de carga, debido a la necesidad de insertar elementos de conexión o por motivos logísticos, la conexión de cubo circular o prácticamente circular puede continuar hasta un máximo del 10% de la longitud de pala partiendo de la conexión de cubo 360.

Entre la conexión de cubo circular con un grosor de perfil correspondiente de un máximo del 100% y con el perfil de la zona exterior con un grosor de perfil de un mínimo del 17% y un máximo del 19%, resulta un perfil que presenta un grosor de perfil del 50%.

15 Aquí, para incrementar la elevación en la zona de la conexión de cubo se puede aumentar la profundidad del perfil, de manera que la pala de rotor presente una profundidad de perfil mayor que la de la conexión de cubo. La mayor profundidad de perfil se alcanza en un punto separado de la conexión de cubo como máximo un 35% de la longitud de la pala de rotor.

20 Las transiciones entre los puntos de la conexión de cubo, entre el perfil con la mayor profundidad de perfil, el perfil con un grosor de perfil del 50% y el perfil 100 de la zona exterior, se pueden mantener armónicas, dado que en caso contrario pueden producirse turbulencias adicionales.

25 Mediante el uso de una pala de rotor 330, de un aerogenerador 300 o de un parque eólico 500 según un ejemplo de realización es posible conseguir, en su caso, un mayor rendimiento energético en una zona preestablecida. En el caso de la energía eólica, normalmente sólo están disponibles superficies limitadas, por lo que resulta deseable un aumento de la densidad de las instalaciones en las superficies disponibles, siendo el objetivo, por lo tanto, una minimización de las distancias entre los distintos aerogeneradores.

30 Sin embargo, además de las consideraciones económicas también se determinan las distancias entre las instalaciones mediante las turbulencias que se generan en el parque eólico y las cargas de las instalaciones asociadas a las mismas, produciéndose turbulencias como consecuencia de las turbulencias inducidas por el medio ambiente y las instalaciones. Un diseño de una instalación para una determinada intensidad de turbulencia se realiza de forma convencional según una norma (IEC 61400).

35 En este caso, las medidas para mejorar la densidad de instalación según un ejemplo de realización se llevan a cabo, en su caso, mediante una configuración más allá de los requisitos de la norma. Así, un aerogenerador puede configurarse, por ejemplo, para una intensidad de turbulencia de diseño de acuerdo con la definición del valor característico de la intensidad de turbulencia a 15 m/s según la norma IEC 61400-1, 3ª edición, superior al 16% e inferior al 24%.

40 En su caso también es posible alcanzar una reducción de la turbulencia inducida por la instalación mediante aerogeneradores 300 con un empuje de rotor bajo. Por consiguiente, una pala de rotor 330 puede presentar, por ejemplo, un coeficiente de empuje estático nunca superior de 0,8 en un funcionamiento normal a una velocidad del viento de más de 4 m/s.

45 Además del diseño real de la instalación, las propiedades aerodinámicas de las palas de rotor 330 también pueden ser aquí relevantes. Normalmente, la mayor contribución a la generación de energía se realiza a través de la zona exterior de la pala de rotor 330, dado que, en principio, la potencia es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor. Por este motivo, el perfil de pala de rotor 100 en la zona exterior es muy importante o, al menos, no es insignificante. Por lo tanto, la generación de una gran fuerza ascendente con el menor coeficiente de resistencia posible puede ser un objetivo.

Del mismo modo o alternativamente se puede intentar lograr el menor número posible de variaciones fundamentales en el comportamiento del flujo con pequeños cambios en la dirección de flujo, a fin de influir positivamente en el rendimiento de un aerogenerador en condiciones de viento turbulentas.

50 Las características reveladas en la descripción anterior, en las siguientes reivindicaciones y en las figuras adjuntas pueden ser importantes y aplicarse tanto individualmente, como también en cualquier combinación para la realización de un ejemplo de realización en sus diversas configuraciones.

55 A pesar de haberse descrito algunos aspectos en relación con un dispositivo, se entiende que estos aspectos también representan una descripción del procedimiento correspondiente, de manera que un bloque o un elemento constructivo de un dispositivo también debe entenderse como un paso de procedimiento correspondiente o como una característica de un paso del procedimiento. Análogamente, los aspectos descritos en relación con o como un paso del procedimiento también representan una descripción de un bloque o de un detalle o de una característica correspondiente de un dispositivo correspondiente.

Los ejemplos de realización antes descritos sólo representan una ilustración de los principios de la presente invención. Se entiende que las modificaciones y las variaciones de las disposiciones y detalles aquí descritos resultan obvias para otros especialistas. Por este motivo se pretende que la invención esté limitada únicamente por el alcance de la protección de las reivindicaciones de patente que figuran a continuación y no por los detalles específicos que se han presentado aquí por medio de la descripción y de la explicación de los ejemplos de realización.

5

Lista de referencias

- 100 Perfil
- 110 Cuerda de perfil
- 10 120 Canto delantero
- 130 Canto trasero
- 140 Línea de esqueleto
- 150 Primer lado de perfil
- 160 Segundo lado de perfil
- 15 160 Superficie de canto trasero
- 180 Círculo
- 190 Zona
- 200 Semiespacio
- 210 Punto de intersección
- 20 220 Otro semiespacio
- 230 Ángulo
- 300 Aerogenerador
- 310 Cubo
- 320 Eje horizontal
- 25 330 Pala de rotor
- 340 Góndola
- 350 Eje pivotante
- 355 Dirección de extensión principal
- 360 Conexión de cubo
- 30 370 Árbol principal
- 380 Generador
- 390 Torre
- 400 Eje vertical
- 410 Base
- 35 500 Parque eólico
- 510 Dirección predeterminada
- 520 Dirección predeterminada adicional

## REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor (330) para un aerogenerador (300) con las siguientes características:  
 al menos por secciones, un perfil (100) en una zona exterior de la pala de rotor (330),  
 5 extendiéndose la zona exterior, en relación con una longitud total de la pala de rotor (330), desde un centro de la pala de rotor (330) hasta una punta de pala de la pala de rotor (330);  
 presentando el perfil (100) un grosor de perfil de al menos un 17,0% e inferior al 19,0% de una longitud de una cuerda de perfil (110) del perfil (100);  
 presentando el perfil (100), partiendo de un canto delantero (120) del perfil (100), una reserva de grosor de entre el  
 10 35% y el 45% de la longitud de la cuerda de perfil (110) del perfil (100);  
 presentando el perfil (100) una distancia máxima entre una línea de esqueleto (140) del perfil (100) y la cuerda de perfil (110) de entre un 3,5% y un 4,5% de la longitud de la cuerda de perfil (110) del perfil (100);  
 presentando el perfil (100), partiendo del canto delantero (120), una reserva de curvatura de entre el 40% y el 50% de la longitud de la cuerda de perfil (110) del perfil (100);  
 15 caracterizada por que el perfil (100) presenta un radio de nariz de menos del 2% de la longitud de la cuerda de perfil (110) del perfil (100);  
 por que la cuerda de perfil del perfil (100) y un contorno de un lado de perfil (150) presentan un punto de intersección (210) que presenta una distancia de, como mínimo, un 75% y de, como máximo, un 85% de la longitud de la cuerda de perfil (110) del perfil (100) desde el canto delantero (120) del perfil (100); y  
 20 por que el perfil (100) presenta, por un canto trasero (130) del perfil (100) opuesto al canto delantero (120) a lo largo de la cuerda de perfil (110), un ángulo entre la línea de esqueleto (140) y la cuerda de perfil (110) de como mínimo 18° y de como máximo 24°.
2. Pala de rotor (330) según la reivindicación 1, en la que el perfil presenta un canto trasero (130) configurado como con un grosor de al menos un 0,05% de la longitud de la cuerda de perfil (110).  
 25
3. Pala de rotor (330) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la longitud de la cuerda de perfil (100) del perfil (100) en la zona exterior de la pala de rotor (330) corresponde a menos del 7% de la longitud total de la pala de rotor (330).  
 30
4. Pala de rotor (330) según una de las reivindicaciones anteriores que presenta una conexión de cubo (360) con un perfil de conexión de cubo circular o prácticamente circular.
5. Pala de rotor (330) según la reivindicación 4, en la que el perfil de conexión de cubo se extiende a lo largo de una dirección de extensión principal (355) de la pala de rotor (330) partiendo de la conexión de cubo (360) hasta un máximo del 10% de la longitud total de la pala de rotor (330).  
 35
6. Pala de rotor (330) según una de las reivindicaciones 4 o 5 que, en un punto separado de la conexión de cubo (360) como máximo un 30% de la longitud total de la pala de rotor (330), presenta un perfil de transición con un grosor de perfil del 50% del grosor del perfil de conexión de cubo.  
 40
7. Pala de rotor (330) según una de las reivindicaciones 4 a 6 que, en otro punto que es como máximo un 35% de la longitud total de la pala de rotor (330) partiendo de una conexión de cubo (360), presenta un perfil que comprende una profundidad de perfil máxima de la pala de rotor (330).  
 45
8. Pala de rotor (330) según una de las reivindicaciones 4 a 7, en la que al menos una transición entre diferentes perfiles se realiza de forma armoniosa o en la que todas las transiciones entre diferentes perfiles se realizan de forma armoniosa.
9. Aerogenerador (300) con las siguientes características:  
 al menos una pala de rotor (330) apoyada con posibilidad de giro alrededor de un eje horizontal (320) según una de las reivindicaciones anteriores; y  
 un generador (380) que se acopla a la al menos una pala de rotor (330) y que se configura para convertir una parte de una energía contenida en un movimiento giratorio de la al menos una pala de rotor (330) en otra forma de energía técnicamente utilizable.  
 50  
 55
10. Aerogenerador (300) según la reivindicación 9 en el que el perfil (100), comprendido al menos por secciones en la zona exterior de al menos una pala de rotor (330) en un punto de diseño definido por una relación de planeo máxima y en un estado limpio de la pala de rotor (330), no rebasa un coeficiente de elevación de 1,3 ni un coeficiente de resistencia de 0,01.  
 60
11. Aerogenerador (300) según una de las reivindicaciones 9 o 10 en el que el perfil (100), comprendido al menos por secciones en la zona exterior de la al menos una pala de rotor (330), presenta un límite de incidencia de más de 5° en el que el coeficiente de resistencia no rebasa en un 50% un coeficiente de resistencia mínimo de como máximo 0,007.  
 65

## ES 2 746 119 T3

12. Aerogenerador (300) según una de las reivindicaciones 9 a 11 diseñado para una turbulencia de diseño de acuerdo con la definición para el valor característico de la intensidad de turbulencia a 15 m/s conforme a la norma IEC 61400-1, 3ª edición, de más del 16% y de menos del 24%.
- 5 13. Aerogenerador (300) según una de las reivindicaciones 9 a 12 que, durante un funcionamiento normal a una velocidad del viento de más de 4 m/s, presenta un coeficiente de empuje estático nunca mayor de 0,8.
14. Parque eólico (500) con las siguientes características:  
al menos un aerogenerador (300) según una de las reivindicaciones 9 a 13; y
- 10 al menos otro aerogenerador (300),  
disponiéndose el al menos otro aerogenerador (300), con respecto a una dirección predeterminada (510), a una dirección del viento y/o a una dirección del viento principal, al menos temporalmente en una parte anterior o en una parte posterior de al menos uno de los aerogeneradores (300).
- 15 15. Parque eólico (500) según la reivindicación 14 en el que el al menos otro aerogenerador (300) también comprende un aerogenerador (300) según una de las reivindicaciones 9 a 13.

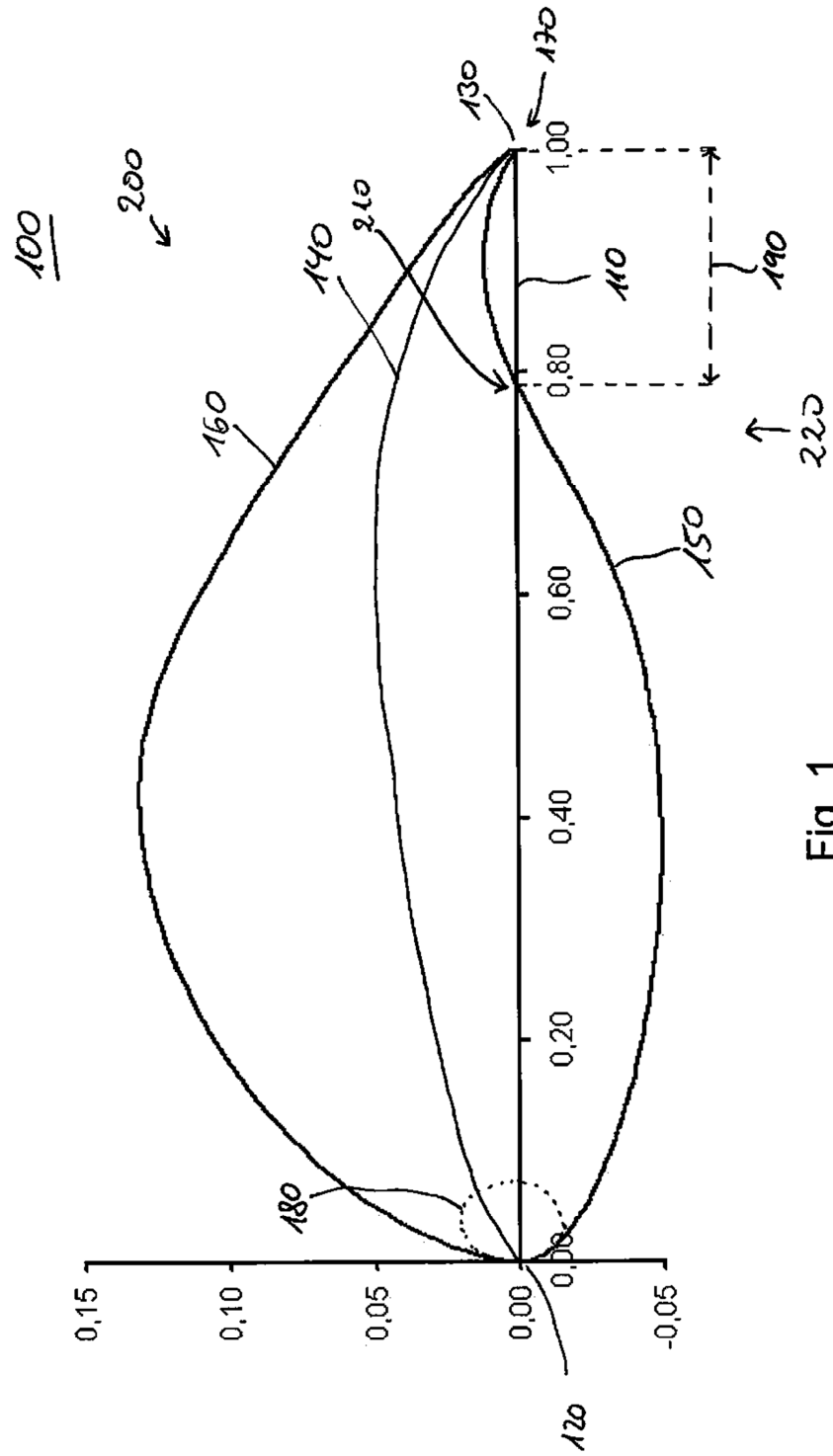


Fig. 1

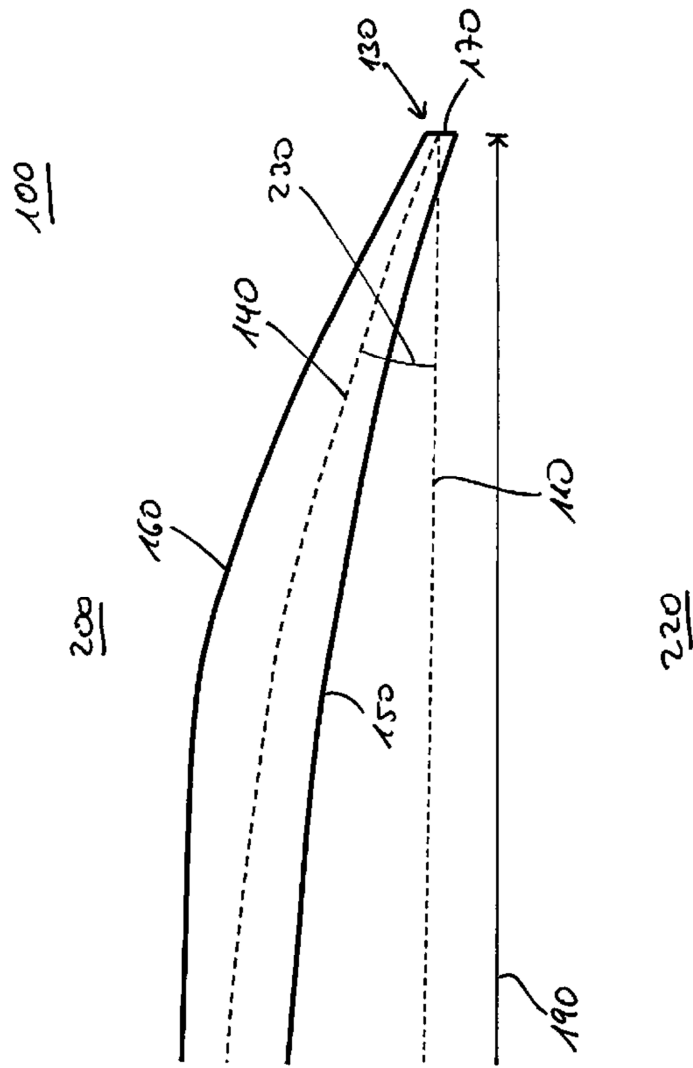


Fig. 2

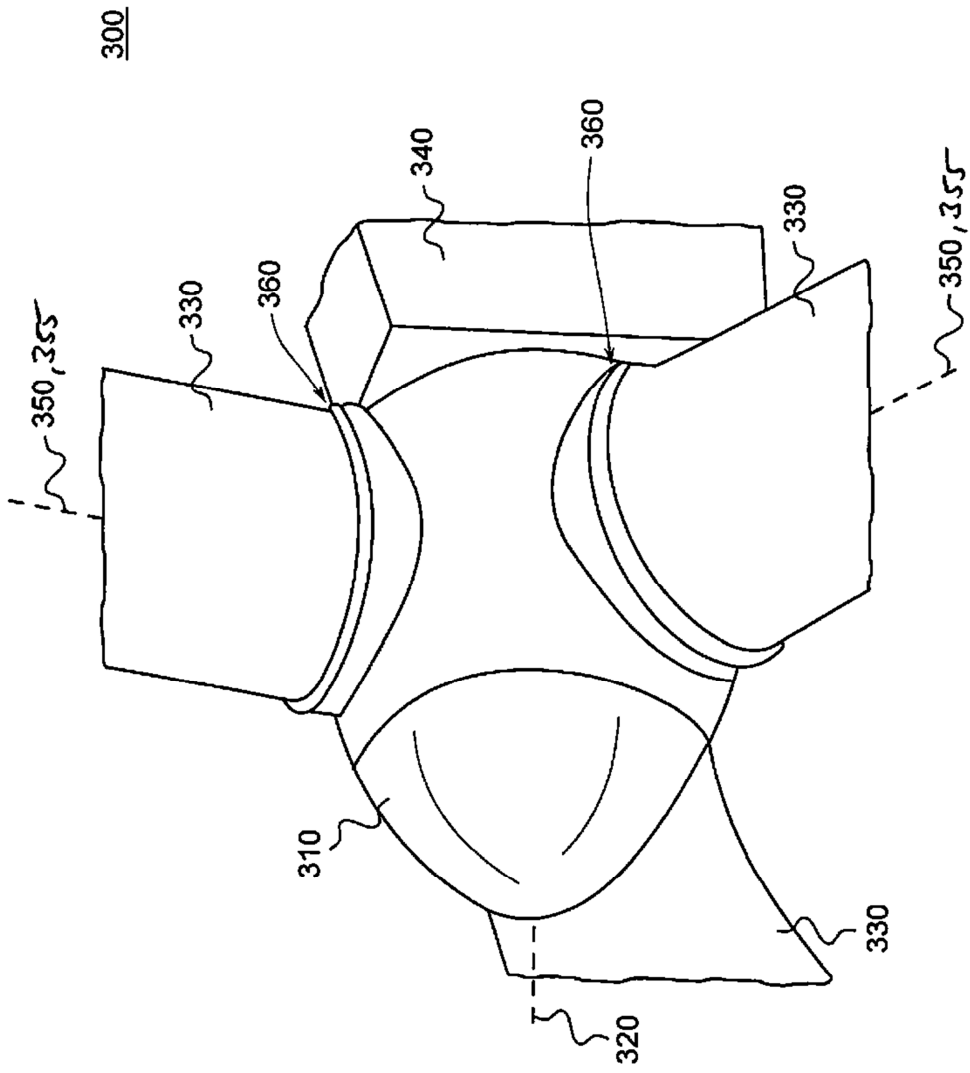


Fig. 3



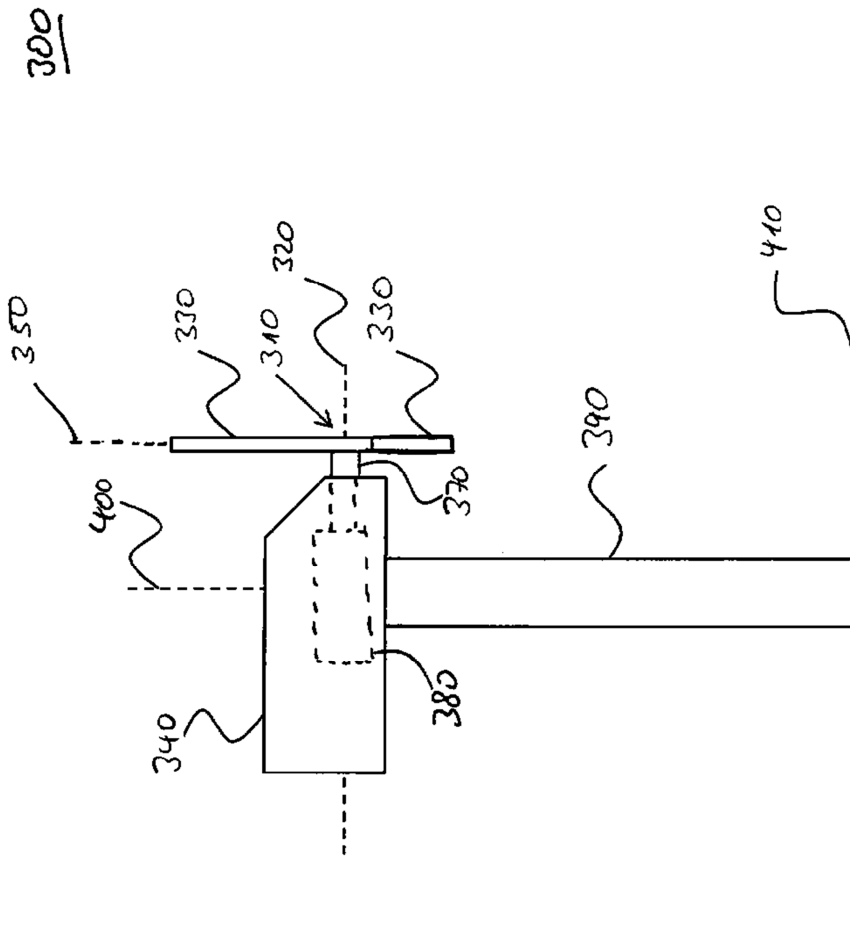


Fig. 4

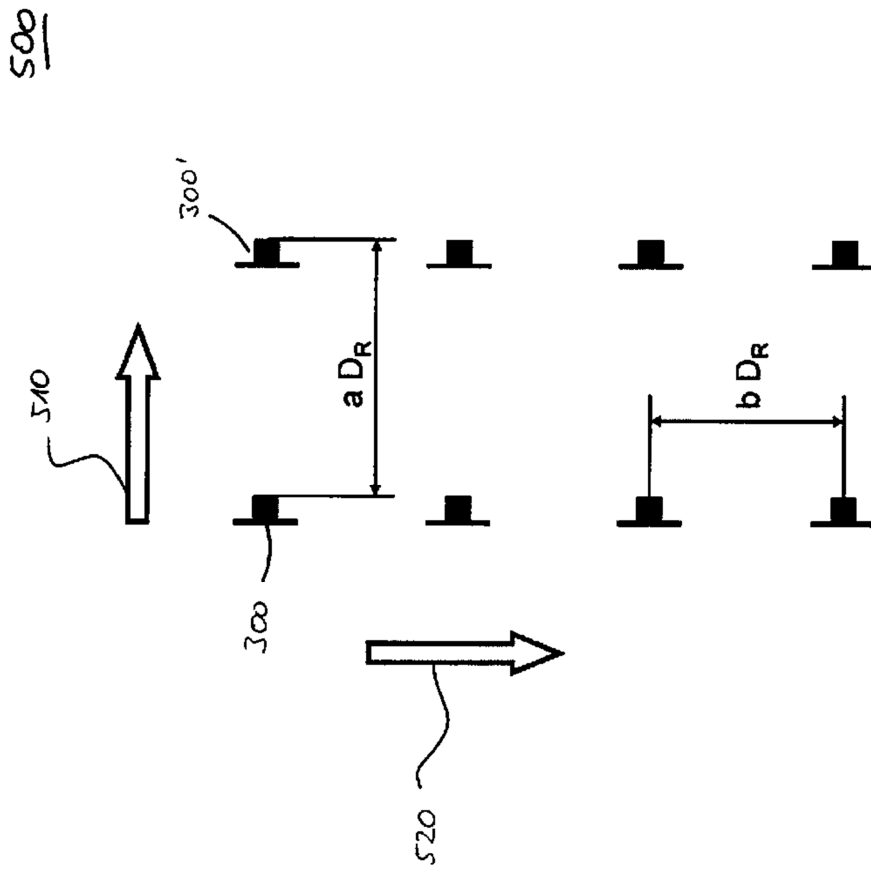


Fig. 5