

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 923 392**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.08.2018** **PCT/EP2018/072608**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.02.2019** **WO19038313**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2018** **E 18758613 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2022** **EP 3673171**

54 Título: **Una pala de turbina eólica y un método para operar dicha pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

23.08.2017 EP 17187522

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

27.09.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ARCE, CARLOS, LEÓN y
MADSEN, JESPER

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 923 392 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

Una pala de turbina eólica y un método para operar dicha pala de turbina eólica

Campo técnico

5 [0001] La presente invención se refiere a un dispositivo modificador de perfil alar que comprende un elemento deformable configurado para deformarse entre una posición retraída y una posición extendida, en el que el elemento deformable se deforma pasivamente por una presión de aire local que actúa sobre el dispositivo modificador de perfil alar.

10 [0002] La presente invención se refiere además a una pala de turbina eólica que comprende un lado de presión y un lado de succión, en el que dicho dispositivo modificador de perfil alar está dispuesto en uno de dichos lados.

[0003] La presente invención también se refiere a un método de modificación del perfil alar de una pala de turbina eólica utilizando el dispositivo de modificación del perfil anterior, en el que el perfil alar original se modifica pasivamente en función de la presión local del aire que actúa sobre la superficie de la pala.

Antecedentes

[0004] Las palas de turbina eólica pueden, en algunos casos, estar provistas de un perfil alar de elevada curvatura, en el que la curvatura local varía a lo largo de la longitud de cuerda del perfil alar. La curvatura máxima local difiere además a lo largo de la longitud de la pala de la turbina eólica. En algunos casos, pueden formarse burbujas de aire locales en la superficie de la pala debido a los gradientes de la curvatura de dicha superficie. El flujo de aire local puede pasar además por el borde de salida en un ángulo no deseado, aumentando así la generación de ruido.

[0005] Se sabe que se integran o acoplan medios de modificación de la sustentación en la pala de la turbina eólica o en ella, en un esfuerzo por mejorar el rendimiento de la sustentación. Los medios de modificación de la sustentación controlados activamente pueden incorporarse al perfil alar de la pala de la turbina eólica durante su fabricación; sin embargo, esto aumenta la complejidad del proceso de fabricación e incrementa los costes. Además, los componentes controlados activamente requieren un mantenimiento adicional regular, lo que aumenta los costes globales de servicio.

[0006] EP 31115596 A1 divulga una pala de turbina eólica con un dispositivo de sustentación acoplado al lado de presión, en el que el dispositivo de sustentación se extiende desde el borde de salida hacia el borde de ataque. El dispositivo modificador de la sustentación tiene un perfil flexible continuo y sólido que se adapta al perfil alar original de la pala de la turbina eólica. De este modo, el perfil alar original se convierte en un perfil alar modificado fijo.

[0007] EP 1952015 B1 divulga una pala de turbina eólica con un miembro elástico modificador de la sustentación dispuesto en el lado de presión, en el que el miembro elástico se extiende desde el borde de salida hacia el borde de ataque. El miembro elástico se deforma activamente por medio de actuadores lineales conectados al miembro elástico o de un sistema de distribución de fluido que bombea fluido dentro o fuera de una cámara de fluido formada entre la superficie original de la pala y el miembro elástico. El funcionamiento de los actuadores o de las bombas se controla mediante un controlador que, a su vez, utiliza señales de sensores para controlar activamente la deformación del miembro elástico. De este modo, el perfil alar original se modifica utilizando medios de actuación controlados activamente.

Objeto de la invención

45 [0008] Un objeto de la invención es proporcionar un dispositivo de modificación del perfil alar y una pala de turbina eólica que resuelva los problemas mencionados.

[0009] Otro objeto de la invención es proporcionar un dispositivo de modificación del perfil alar y una pala de turbina eólica en la que la sustentación pueda controlarse de forma pasiva.

50 [0010] Otro objeto de la invención es proporcionar un dispositivo modificador de perfil alar y una pala de turbina eólica que mejore el rendimiento de sustentación en ángulos de ataque negativos.

Descripción detallada de la invención

55 [0011] Un objeto de la invención se consigue mediante un dispositivo modificador de perfil alar para una pala de turbina eólica, comprendiendo la pala de turbina eólica una concha de pala que tiene un perfil alar original que

define un lado de presión y un lado de succión, en el que el dispositivo modificador de perfil alar está configurado para ser dispuesto en el lado de presión o en el lado de succión de dicha pala de turbina eólica y para modificar dicho perfil alar original, el dispositivo modificador de perfil alar comprendiendo al menos un elemento deformable que se extiende a lo largo de dicho lado de presión o de succión desde un primer borde hasta un segundo borde y, además, desde un primer extremo hasta un segundo extremo cuando está acoplado, en el que dicho elemento deformable está configurado para deformarse entre una posición retraída y una posición extendida, caracterizado porque el elemento deformable se deforma pasivamente, cuando está acoplado, mediante una presión de aire local que actúa sobre dicho dispositivo modificador de perfil alar.

[0012] Esto proporciona un dispositivo modificador de perfil alar pasivo que se deforma por la presión local del aire que actúa sobre el dispositivo modificador de perfil alar. No se necesitan componentes controlados activamente para deformar el dispositivo modificador de perfil alar. Así, la deformación se determina en función de la presión atmosférica local, ya que no es necesario evaluar las señales de los sensores. Esto proporciona una forma barata y sencilla de modificar el perfil alar original de la pala de la turbina eólica, ya que no se necesitan sistemas de control complejos.

[0013] El presente dispositivo modificador de perfil alar es adecuado para palas de turbinas eólicas que tengan un perfil alar con curvatura, en particular un perfil alar con curvatura elevada. El presente dispositivo modificador de perfil alar puede disponerse en una superficie de la pala de modo que la cámara local y, por tanto, el grosor local de la pala se modifique al deformarse el dispositivo modificador de perfil alar. Dependiendo del perfil alar, el dispositivo modificador de perfil alar puede disponerse alternativamente en ambas superficies de las palas. Esto modifica el perfil alar original de la pala de la turbina eólica.

[0014] El dispositivo modificador de perfil alar comprende al menos un elemento deformable que define una superficie exterior que está configurada para deformarse en sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y salida, cuando está acoplado, en relación con una superficie de pala correspondiente. El elemento deformable está configurado para moverse elásticamente, por ejemplo, para deformarse, entre una posición retraída y una posición extendida. El elemento deformable se extiende desde un primer extremo hasta un segundo extremo y, además, desde un primer borde hasta un segundo borde. La extensión del elemento deformable modifica la superficie original de la pala y, por tanto, altera el flujo de aire local sobre la superficie de la pala.

[0015] Según una realización, el dispositivo modificador de perfil alar comprende además un elemento de relleno conectado a dicho elemento deformable, en el que dicho elemento de relleno está configurado además para deformarse entre dicha posición retraída y dicha posición extendida.

[0016] El dispositivo modificador de perfil alar puede comprender además un elemento de relleno dispuesto en relación con el elemento deformable. El elemento de relleno puede estar configurado para deformarse aún más entre la posición retraída y la posición extendida en sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y salida. El elemento de relleno puede extenderse a lo largo de la superficie interior del elemento deformable y además en sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y salida. El elemento de relleno define una superficie interior orientada hacia la superficie original de la pala, cuando está acoplado. De este modo, el elemento de relleno puede seguir el movimiento, por ejemplo la deformación, del elemento deformable.

[0017] El elemento de relleno puede acoplarse adecuadamente al elemento deformable, por ejemplo, mediante adhesivo, soldadura, elementos de acoplamiento, pernos, remaches u otras técnicas de acoplamiento. Esto también permite fabricar cada elemento por separado en un proceso optimizado. Por ejemplo, el elemento de relleno puede fabricarse mediante extrusión, impresión tridimensional u otro proceso adecuado. Alternativamente, el elemento de relleno puede estar conectado integralmente al elemento deformable, de manera que los elementos de relleno y deformable formen una sola pieza. Esto permite una conexión segura entre el elemento de relleno y el elemento deformable y reduce las etapas totales de fabricación. Esto también permite una fácil instalación del dispositivo modificador de perfil alar.

[0018] En la posición retraída, el elemento de relleno puede transformarse en un estado compacto de modo que pueda tener una altura mínima en sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y salida. En la posición extendida, el elemento de relleno puede transformarse en un estado extendido de manera que pueda tener una altura máxima en sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y salida. El elemento de relleno y el elemento deformable pueden colocarse además en cualquier posición o estado intermedio entre las posiciones retraída y extendida.

[0019] Según una realización, dicho elemento de relleno comprende una estructura de celda abierta.

[0020] El elemento de relleno puede tener una estructura flexible, por ejemplo, elástica deformable, que le permita transformarse entre los estados compacto y extendido. Esto también le permite adaptarse a la curvatura de la superficie de la pala en la posición deseada.

[0021] El elemento de relleno puede tener una estructura de celda abierta que forme una pluralidad de celdas

abiertas dispuestas unas respecto a otras. Por ejemplo, el elemento de relleno puede tener una estructura de nido de abeja u otra estructura de celda abierta. Por ejemplo, el elemento de relleno puede comprender una pluralidad de paredes intercaladas, por ejemplo, paredes plegables o deformables, que juntas definen una pluralidad de celdas abiertas. Las paredes individuales pueden tener cualquier forma adecuada. Por ejemplo, las paredes pueden extenderse a lo largo de una superficie lateral del elemento deformable y/o estar dispuestas en un ángulo inclinado o recto con respecto al elemento deformable. Esto proporciona una estructura ligera y deformable.

[0022] Opcionalmente, un elemento interior puede extenderse a lo largo de la superficie interna del elemento de relleno. Así, el elemento de relleno puede estar intercalado entre este elemento interior y el elemento deformable. El elemento interior puede estar además acoplado o conectado integralmente al elemento de relleno, como se ha descrito anteriormente. El elemento interior puede estar acoplado además al elemento deformable a lo largo de los extremos primero y segundo y/o a lo largo de los bordes primero y segundo. De este modo, se forma una junta a lo largo del borde periférico del dispositivo modificador de perfil alar. Esto permite un mejor control de la transformación de la estructura del elemento de relleno. Esto también permite un mayor acoplamiento a la pala de la turbina eólica.

[0023] El elemento de relleno puede estar hecho de un material plástico o de caucho, como un polímero, por ejemplo, Nylon®; neopreno; silicona; elastómeros termoplásticos; EPDM; o butilo. Pueden utilizarse otros materiales adecuados para el elemento de relleno.

[0024] Según una realización, dicho elemento deformable está configurado además para funcionar como una membrana semipermeable, en la que el aire puede pasar a través de dicha membrana semipermeable.

[0025] El elemento deformable puede estar formado por un elemento flexible con una estructura semipermeable, en la que el aire puede entrar y/o salir del dispositivo modificador de perfil alar a través de esta estructura semipermeable. Por ejemplo, el elemento deformable puede comprender agujeros o espacios integrados que actúan como agujeros de respiración. La permeabilidad de esta estructura semipermeable puede seleccionarse adecuadamente para que el elemento deformable pueda al mismo tiempo ser deformado, por ejemplo, extendido o retraído, por la presión local. Esto permite una igualación entre la presión local del aire y una presión interna del dispositivo modificador de perfil alar. Dicha presión interna puede ser una presión de aire interna generada dentro de una cámara local, como se describe más adelante. Esto permite que el elemento deformable funcione como una membrana semipermeable capaz de deformarse en función de la presión local del aire.

[0026] La estructura semipermeable puede extenderse a lo largo de toda la superficie exterior para que el aire pueda entrar y/o salir a lo largo de toda la superficie exterior. El elemento deformable puede así estar formado como una pieza semipermeable continua. Alternativamente, el elemento deformable puede comprender una serie de áreas semipermeables distribuidas a lo largo de la superficie exterior, permitiendo así que el aire entre y/o salga a través de estas áreas. Estas zonas semipermeables pueden estar parcial o totalmente rodeadas por una serie de zonas no permeables dispuestas además en la superficie exterior. Por ejemplo, las zonas semipermeables pueden estar formadas por agujeros mecanizados en una sola pieza. Por ejemplo, una serie de subpiezas semipermeables y una serie de piezas no permeables pueden estar interconectadas, por ejemplo, soldadas o cosidas, para formar el elemento deformable.

[0027] El elemento deformable y/o el elemento interior pueden estar formados como un tejido o una lámina de un material o compuesto adecuado. Por ejemplo, el elemento deformable y/o el elemento interior pueden estar hechos de un material plástico o de caucho, como un polímero, por ejemplo, Nylon®; neopreno; silicona; elastómeros termoplásticos; EPDM; o butilo. Pueden utilizarse otros materiales o compuestos adecuados para el elemento deformable y/o el elemento interior.

[0028] Según una realización, dicho elemento deformable comprende medios para guiar pasivamente el aire hacia el interior y el exterior de una cámara local, cuando está acoplado, formada por dicho elemento deformable y una superficie original de la pala de la turbina eólica.

[0029] El dispositivo modificador de perfil alar puede comprender medios integrados para guiar pasivamente el aire hacia el interior y/o el exterior de la cámara local. Esto también permite una ecualización entre la presión del aire local y la presión interna del dispositivo modificador de perfil alar.

[0030] Por ejemplo, los medios pueden estar formados por orificios de ventilación dispuestos en el elemento deformable y/o en la junta que se extiende a lo largo del borde periférico del dispositivo modificador de perfil alar. Los orificios de ventilación pueden estar configurados para guiar el aire hacia la cámara local y/o guiar el aire fuera de la cámara local. Alternativamente, el dispositivo modificador de perfil alar puede comprender unos primeros orificios de ventilación para guiar el aire hacia la cámara local y unos segundos orificios de ventilación para guiar el aire hacia fuera de la cámara local.

[0031] Por ejemplo, dichos medios también pueden estar formados por elementos de válvula activados pasivamente y dispuestos en el elemento deformable y/o en la junta que se extiende a lo largo del borde periférico

del dispositivo modificador de perfil alar. Pueden utilizarse otros tipos de medios para guiar el aire hacia el interior o el exterior de la cámara local.

[0032] Si el dispositivo modificador de perfil alar está provisto de medios integrados para guiar pasivamente el aire hacia el interior y/o el exterior de la cámara local, el elemento deformable puede comprender una estructura no permeable o una estructura semipermeable.

[0033] Un objeto de la invención se consigue también mediante una pala de turbina eólica que se extiende desde una raíz de pala hasta un extremo de punta en una dirección longitudinal y, además, desde un borde de ataque hasta un borde de salida en una dirección de cuerda, comprendiendo la pala de turbina eólica una concha de pala que tiene un perfil alar original que define un lado de presión y un lado de succión, en el que al menos un dispositivo modificador de perfil alar está dispuesto en uno de dichos lados de presión y succión, y acoplado a dicha pala de turbina eólica, el al menos un dispositivo modificador de perfil alar estando configurado para deformarse entre una posición retraída y una posición extendida, caracterizado porque dicho al menos un dispositivo modificador de perfil alar está configurado como se ha descrito anteriormente y se deforma pasivamente mediante una presión de aire local que actúa sobre dicho lado de presión y succión, en el que dicho perfil alar original se modifica mediante la deformación del al menos un dispositivo modificador de perfil alar con respecto a una superficie original de la pala en un sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y salida.

[0034] Esto proporciona una pala de turbina eólica en la que el perfil alar original se modifica pasivamente en función de la distribución local de la presión del aire sobre la superficie de la pala en la que está dispuesto el dispositivo modificador de perfil alar. La pala de la turbina eólica puede incluir un perfil alar curvado, preferentemente un perfil de elevada curvatura. Esto reduce el riesgo de que se formen burbujas de aire en la superficie curvada de la pala. Esto también mejora el rendimiento aerodinámico de la pala de la turbina eólica en ángulos de ataque negativos, especialmente en ángulos de ataque muy negativos.

[0035] El dispositivo modificador de perfil alar puede estar dispuesto en el lado de presión, alternativamente, en el lado de succión, dependiendo del perfil alar concreto. El dispositivo modificador de perfil alar puede colocarse adecuadamente en la parte aerodinámica de la pala de la turbina eólica, o bien en la parte de transición de la pala. El dispositivo modificador de perfil alar también puede colocarse de manera que se extienda parcialmente tanto en la porción aerodinámica como en la porción de transición. El dispositivo modificador de perfil alar puede utilizarse así para mejorar la relación entre sustentación y arrastre en determinados ángulos de ataque.

[0036] Según una realización, el elemento deformable de dicho dispositivo modificador de perfil alar y la superficie original de la pala forman una cámara local, en la que un volumen de dicha cámara se modifica en función de dicha presión local del aire.

[0037] Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo modificador de perfil alar puede formar una cámara local cuando se acopla a la pala de la turbina eólica. Por ejemplo, la cámara local puede formarse entre el elemento deformable y la superficie original de la pala. Por ejemplo, la cámara local puede formarse entre el elemento deformable y el elemento interior. El aire puede entrar o salir pasivamente de esta cámara local a medida que el dispositivo modificador de perfil alar se deforma debido a la presión local del aire. Esto permite igualar el diferencial de presión entre la presión del aire interior y la presión del aire local.

[0038] Cuando la presión de aire local supera la presión interna, el elemento deformable puede deformarse y, por tanto, ser empujado hacia la posición de retracción. Cuando la presión interna y las presiones locales de aire se igualan a través de la estructura semipermeable o de los medios anteriores, la deformación puede detenerse. Cuando la presión local del aire desciende por debajo de la presión interna, el elemento deformable puede deformarse y, por tanto, ser aspirado hacia la posición extendida. Cuando la presión interna y las presiones locales de aire se igualan de nuevo o cuando el elemento deformable alcanza su perfil exterior, la deformación puede detenerse.

[0039] El elemento deformable puede estar dispuesto para deformarse libremente con respecto a la superficie original de la pala, lo que le permite adaptarse libremente a la distribución de la presión sobre la superficie de la pala. Esto permite moldear el elemento deformable en cualquier perfil exterior.

[0040] Según una realización, un elemento de relleno de dicho dispositivo modificador de perfil alar se dispone sustancialmente dentro de dicha cámara local, en la que dicho elemento de relleno, cuando se extiende, forma un perfil exterior predeterminado del elemento deformable.

[0041] El elemento de relleno puede estar dispuesto dentro de esta cámara local, en la que el elemento de relleno puede deformarse junto con el elemento deformable. El elemento de relleno puede, en su estado compacto, definir un perfil exterior retraído del elemento deformable. Este perfil exterior retraído puede seguir sustancialmente el perfil de la superficie de la pala original, de modo que el dispositivo modificador de perfil alar no influya en el rendimiento aerodinámico cuando esté retraído. El elemento de relleno puede, en su estado extendido, definir un perfil exterior extendido del elemento deformable. Este perfil exterior extendido puede seleccionarse en función del

perfil alar original y de sus parámetros geométricos. Esto limita el movimiento libre del elemento deformable y lo guía hacia un perfil exterior deseado.

[0042] El elemento de relleno puede utilizarse para proporcionar apoyo al elemento deformable durante la deformación. Esto puede reducir el desgaste del elemento deformable.

[0043] Según una realización, dicho dispositivo modificador de perfil alar comprende bridas integradas acopladas a la concha de pala, o comprende primeros elementos de acoplamiento que enganchan segundos elementos de acoplamiento dispuestos en la pala de la turbina eólica.

[0044] El dispositivo modificador de perfil alar puede comprender medios para su acoplamiento a la pala de la turbina eólica. Los medios pueden estar configurados para fijar el elemento deformable y/o el elemento interior a la pala de la turbina eólica, por ejemplo, a la concha de la pala.

[0045] Por ejemplo, el dispositivo modificador de perfil alar puede comprender una o más bridas dispuestas en el borde periférico utilizadas para el acoplamiento a la concha de pala. Las bridas pueden estar formadas integralmente por el elemento deformable y/o el elemento interior. Las bridas pueden acoplarse a la concha de pala mediante adhesivo, pernos, tornillos u otros elementos de acoplamiento adecuados. Esto permite una conexión segura a la pala de la turbina eólica.

[0046] Por ejemplo, el dispositivo modificador de perfil alar puede comprender elementos de acoplamiento mecánicos configurados para enganchar elementos de acoplamiento correspondientes dispuestos en la pala de la turbina eólica, por ejemplo, la concha de pala. El dispositivo modificador de perfil alar puede comprender uno o más elementos de acoplamiento primeros, por ejemplo, ganchos, formados integralmente o conectados al dispositivo modificador de perfil alar. La turbina eólica puede comprender uno o varios segundos elementos de acoplamiento, por ejemplo, agujeros u aberturas, para enganchar los primeros elementos de acoplamiento.

[0047] Los elementos de acoplamiento pueden estar convenientemente sellados o cubiertos para minimizar el impacto del flujo de aire local y evitar que el agua o el polvo entren en el interior de la pala de la turbina eólica. Por ejemplo, puede disponerse un casquillo deformable en los orificios de la concha de pala. Por ejemplo, puede disponerse un elemento de cubierta sobre los elementos de acoplamiento. También pueden utilizarse otros tipos de juntas o cubiertas.

[0048] Los elementos de acoplamiento pueden extenderse convenientemente de forma parcial o total hacia el interior de la pala de la turbina eólica, al menos cuando se colocan en posición retraída. Esto permite que el efecto aerodinámico no se vea afectado negativamente por los elementos de acoplamiento. En la posición extendida, los elementos de acoplamiento pueden permanecer convenientemente ocultos en el interior de la pala de la turbina eólica o extenderse parcialmente fuera de la misma.

[0049] Opcionalmente, los elementos de acoplamiento pueden estar configurados además para romperse a una presión de aire local predeterminada o a una fuerza de tensión. Por ejemplo, esta presión de aire o fuerza de tensión local predeterminada puede seleccionarse adecuadamente para evitar cualquier daño estructural en las palas de la turbina eólica. Esto permite que la pala de la turbina eólica siga funcionando prácticamente sin verse afectada por el fallo del elemento de acoplamiento. Preferiblemente, los elementos de acoplamiento deben estar configurados para proporcionar una superficie de rotura relativamente clara para minimizar el efecto de la corriente de aire local.

[0050] Según una realización, dicho al menos un dispositivo modificador de perfil alar comprende un primer dispositivo modificador de perfil alar y al menos un segundo dispositivo modificador de perfil alar, en el que dicho al menos segundo dispositivo modificador de perfil alar está dispuesto con respecto al primer dispositivo modificador de perfil alar a lo largo de la superficie original de la pala.

[0051] En la pala de la turbina eólica puede disponerse adecuadamente una pluralidad de dispositivos modificadores de flujo de aire, por ejemplo, en el lado de presión o de succión. Los dispositivos individuales de modificación de perfil alar pueden estar dispuestos unos con respecto a otros, por ejemplo, separados o enfrentados, en la dirección longitudinal y/o en la dirección de cuerda. Los dispositivos individuales de modificación de perfil alar pueden así ser deformados pasivamente por la presión local del aire sobre la superficie de la pala respectiva, como se ha descrito anteriormente. Esto permite un manejo más fácil de los dispositivos individuales de modificación de perfil alar. Esto también puede reducir el tamaño y el peso de cada dispositivo modificador de perfil alar.

[0052] Cada uno de los dispositivos modificadores de perfil alar puede definir un perfil exterior definido por el elemento deformable, o un perfil exterior combinado definido por los elementos deformables individuales. Esto permite que la colocación y el perfil exterior de los dispositivos modificadores de perfil alar se adapten al perfil alar original.

[0053] El dispositivo o dispositivos modificadores de flujo de aire pueden disponerse adecuadamente en cualquier superficie de la pala que pueda sufrir los efectos negativos de tener grandes gradientes de superficie. Por ejemplo, el dispositivo modificador de flujo de aire puede disponerse en las superficies que tengan los máximos gradientes superficiales. Alternativa o adicionalmente, el dispositivo modificador de flujo de aire puede estar dispuesto en la zona de la superficie más externa de la pala, es decir, entre el 90% y el 100% de la longitud de la pala medida desde la raíz de la misma.

[0054] Un objeto se consigue además mediante un método de modificación de perfil alar de una pala de turbina eólica, la pala de turbina eólica se extiende desde una raíz de pala hasta un extremo de punta en una dirección longitudinal y además desde un borde de ataque hasta un borde de salida en una dirección de cuerda, la pala de turbina eólica comprende una concha de pala que tiene un perfil alar original que define un lado de presión y un lado de succión, la pala de turbina eólica está configurada como se ha descrito anteriormente, donde dicho método comprende las etapas de:

- operar dicha pala de turbina eólica en función de un ángulo de ataque,
- modificar pasivamente dicho perfil alar original en ángulos de ataque predeterminados mediante la deformación del al menos un dispositivo modificador de perfil alar en un sentido perpendicular al eje entre el borde de ataque y el borde de salida por medio de una presión de aire local que actúe sobre uno de dichos lados de presión y succión.

[0055] Esto proporciona un método para modificar pasivamente el perfil alar original, durante el funcionamiento, en función de la presión local del aire que actúa sobre la superficie de la pala. En este caso, el término "funcionamiento" incluye cualquier modo de producción de potencia u otro modo en el que la pala de la turbina eólica esté inclinada hasta un ángulo de pitch predeterminado. El dispositivo modificador de flujo de aire también puede activarse opcionalmente en determinadas condiciones de parada.

[0056] La pala de la turbina eólica funciona dentro de un rango de ángulos de ataque definido por un valor final inferior y un valor final superior. Cuando se opera dentro de un primer subrango de ángulos de ataque, la presión del aire local empuja el elemento deformable del dispositivo modificador de flujo de aire hacia la posición retraída. Esto, a su vez, hace que el volumen de la cámara local disminuya. De este modo, se permite que el flujo de aire local siga sustancialmente el perfil alar original. El dispositivo modificador de flujo de aire puede, en esta posición, no tener ningún efecto significativo sobre el rendimiento aerodinámico de la pala de la turbina eólica.

[0057] El primer subrango puede estar definido por un valor inferior predeterminado y un valor superior, por ejemplo, el valor final superior. El valor inferior predeterminado puede depender de las propiedades geométricas del perfil alar original y puede indicar el ángulo de ataque en el que el dispositivo puede activarse, por ejemplo, comenzar a extenderse.

[0058] La presión de aire interna puede igualarse con respecto a la presión de aire local durante la deformación, conduciendo el aire fuera o dentro de la cámara local, por ejemplo, a través de la estructura semipermeable o de los orificios de ventilación. Alternativamente, la presión de aire interna puede aumentar o disminuir hasta alcanzar el mismo nivel que la presión de aire local, tras lo cual se detiene la deformación.

[0059] Según una realización, dichos ángulos de ataque predeterminados son ángulos de ataque negativos, preferentemente ángulos de ataque muy bajos.

[0060] La pala de la turbina eólica puede operar además con un segundo subrango de ángulos de ataque, en el que la presión local del aire puede generar una sustentación negativa y, por tanto, un efecto de succión en el dispositivo modificador de perfil alar. De este modo, el lado de la presión puede funcionar como el lado de la succión, y viceversa.

[0061] El segundo subrango puede estar definido por un valor inferior, por ejemplo, el valor final inferior, y el valor inferior predeterminado. Este segundo subrango puede definir un conjunto de ángulos de ataque muy bajos para esa pala de turbina eólica en el que el dispositivo modificador de flujo de aire puede desplegarse, por ejemplo, extenderse.

[0062] Esto, a su vez, desplaza el elemento deformable hacia la posición extendida, lo que hace que el volumen de la cámara local aumente y que el dispositivo modificador de flujo de aire modifique el perfil alar original. El flujo de aire local sigue entonces este perfil alar modificado que, a su vez, altera el rendimiento aerodinámico de la pala de la turbina eólica.

Descripción de los dibujos

[0063] La invención se explica en detalle a continuación con referencia a las realizaciones mostradas en los dibujos, en las que:

- Fig. 1 muestra una turbina eólica,
- 5 Fig. 2 muestra una realización a modo de ejemplo de la pala de la turbina eólica,
- Fig. 3 muestra la pala de la turbina eólica con un dispositivo modificador de perfil alar en posición retraída,
- Fig. 4 muestra la pala de la turbina eólica con el dispositivo modificador de perfil alar en posición extendida,
- Fig. 5a-b muestran dos colocaciones alternativas del dispositivo modificador de perfil alar,
- Figura 6 muestra una tercera alternativa de colocación del dispositivo modificador de perfil alar,
- 10 Fig. 7a-b muestran dos alternativas de acoplamiento del dispositivo modificador de perfil alar,
- Fig. 8 muestra una segunda realización del dispositivo modificador de perfil alar, y
- Fig. 9a-b muestran una tercera realización del dispositivo modificador de perfil alar en la posición replegada y en la posición extendida.

15 Lista de referencias

[0064]

- 1. Turbina eólica
- 2. Torre de turbina eólica
- 20 3. Góndola
- 4. Buje
- 5. Palas de turbina eólica
- 6. Rodamiento de pitch
- 7. Raíz de pala
- 25 8. Extremo de punta
- 9. Borde de ataque
- 10. Borde de salida
- 11. Concha de pala
- 12. Lado de presión
- 30 13. Lado de succión
- 14. Parte de raíz de pala
- 15. Porción de pala aerodinámica
- 16. Porción de transición
- 17. Longitud de pala de turbina eólica
- 35 18. Longitud de cuerda de pala de turbina eólica
- 19. Dispositivo de modificación de perfil alar
- 20. Línea de cuerda
- 21. Primer borde
- 22. Segundo borde
- 40 23. Línea de curvatura
- 24. Primer extremo
- 25. Segundo extremo
- 26. Primeros elementos de acoplamiento
- 27. Segundo elemento de acoplamiento
- 45 28. Bridas
- 29. Elemento de relleno
- 30. Elemento deformable
- 31. Cámara local
- 32. Superficie de pala original
- 50 32a. Elemento interior
- 33. Medios para guiar el aire dentro y fuera de la cámara local
- α Ángulo de ataque
- W Dirección del viento

- 55 **[0065]** Los números de referencia enumerados se muestran en los dibujos mencionados, donde no se muestran todos los números de referencia en la misma figura con fines ilustrativos. La misma parte o posición vista en los dibujos se numerará con el mismo número de referencia en diferentes figuras.

Descripción detallada de los dibujos

[0066] La Fig. 1 muestra una turbina eólica 1 moderna que comprende una torre de turbina eólica 2, una góndola 3 dispuesta en la parte superior de la torre de turbina eólica 2 y un rotor que define un plano de rotor. La góndola 3 está conectada a la torre de la turbina eólica 2, por ejemplo, a través de una unidad de rodamiento de orientación. El rotor comprende un buje 4 y varias palas de turbina eólica 5. Aquí se muestran tres palas de turbina eólica, pero el rotor puede comprender más o menos palas de turbina eólica 5. El buje 4 está conectado a un tren de potencia, por ejemplo un generador, situado en la turbina eólica 1 a través de un eje de rotación.

[0067] El buje 4 comprende una interfaz de montaje para cada pala de turbina eólica 5. Una unidad de rodamiento de pitch 6 está opcionalmente conectada a esta interfaz de montaje y además a una raíz de pala de la pala de la turbina eólica 5.

[0068] La Fig. 2 muestra una vista esquemática de la pala de la turbina eólica 5 que se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala 7 hasta un extremo de punta 8. La pala de la turbina eólica 5 se extiende además en dirección longitudinal desde un borde de ataque 9 hasta un borde de salida 10. La pala de la turbina eólica 5 comprende una concha de pala 11 que tiene dos superficies laterales opuestas que definen un lado de presión 12 y un lado de succión 13 respectivamente. La concha de pala 11 define además una porción de raíz de pala 14, una porción de pala aerodinámica 15 y una porción de transición 16 entre la porción de raíz de pala 14 y la porción de pala aerodinámica 15.

[0069] La porción de raíz de pala 14 tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica (indicada por líneas discontinuas). La porción de raíz de pala 14, junto con una estructura de soporte de carga, por ejemplo, un laminado principal combinado con un alma a cortante o una viga de caja, están configurados para añadir resistencia estructural a la pala de la turbina eólica 5 y transferir las cargas dinámicas al buje 4. La estructura de soporte de carga se extiende entre el lado de presión 12 y el lado de succión 13 y más allá en la dirección longitudinal.

[0070] La porción aerodinámica de pala 15 tiene una sección transversal con forma aerodinámica (indicada por líneas discontinuas) diseñada para generar sustentación. El perfil de la sección transversal de la concha de pala 11 se transforma gradualmente del perfil circular o elíptico al perfil aerodinámico en la porción de transición 16.

[0071] La pala de la turbina eólica 5 tiene una longitud longitudinal 17 de al menos 35 metros, preferiblemente de al menos 50 metros. La pala de la turbina eólica 5 tiene además una longitud de cuerda 18 en función de la longitud 17, en la que la longitud de cuerda máxima se encuentra entre la porción aerodinámica de la pala 15 y la porción de transición 16. La pala de la turbina eólica 5 tiene además un grosor de pala 19 en función de la longitud de cuerda 18, en el que el grosor de pala 19 se mide entre el lado de presión 12 y el lado de succión 13.

[0072] La Fig. 3 muestra un perfil transversal a modo de ejemplo de la pala de la turbina eólica 5 con un dispositivo modificador de perfil alar 19 dispuesto en el lado de presión 12. El dispositivo modificador de perfil alar 19 está formado por un dispositivo flexible configurado para deformarse pasivamente con respecto a la superficie de la pala del lado de presión 12 cuando se ve influenciado por la presión del aire local. En este caso, el dispositivo modificador de perfil alar 19 está hecho parcial o totalmente de un material elástico o compuesto. La pala de la turbina eólica 5 es operada en función de un ángulo de ataque, α , del viento, W , que actúa sobre la pala de la turbina eólica 5.

[0073] El dispositivo modificador de perfil alar 19 tiene una anchura local C_1 medida a lo largo de la línea de cuerda 20 desde un primer borde 21 orientado hacia el borde de ataque 9 hasta un segundo borde 22 orientado hacia el borde de salida 10. Aquí, el dispositivo modificador de perfil alar 19 está dispuesto junto al borde de salida 10 y se extiende en parte a lo largo del lado de presión 12. El primer borde está situado a una distancia predeterminada del borde de ataque 9, como se ilustra en las figs. 3-4.

[0074] La pala de la turbina eólica 5 tiene un perfil alar original formado por la concha de pala 11 y, por tanto, las superficies originales de la pala. El perfil del dispositivo modificador de perfil alar 19 se deforma pasivamente mediante la presión local del aire que actúa sobre su superficie exterior. En este caso, el dispositivo modificador de perfil alar 19 se coloca en una posición retraída en la que sigue sustancialmente el perfil alar original de la pala de la turbina eólica 5, como se ilustra en la fig. 3. En esta posición, el flujo de aire local sigue sustancialmente el perfil alar original a lo largo del lado de presión 12.

[0075] La fig. 4 muestra la pala de la turbina eólica 5 con el dispositivo modificador de perfil alar 19 colocado en una posición extendida, en la que el dispositivo modificador de perfil alar 19 se deforma (indicado por la flecha) con respecto a la superficie original de la pala debido a la presión local del aire. De este modo, se modifica la superficie original de la pala y, a su vez, también se modifica el perfil alar original de la pala de la turbina eólica 5. En esta posición, el flujo de aire local sigue sustancialmente este perfil alar modificado a lo largo del lado de presión modificado 12'.

[0076] La pala de la turbina eólica 5 tiene una línea de curvatura original 23 que se extiende desde el borde de ataque 9 hasta el borde de salida 10. La línea de curvatura 23 está definida por el perfil alar original de la pala de la turbina eólica 5. Cuando se activa, el perfil alar modificado formado por el dispositivo modificador de perfil 19

forma además una línea de curvatura modificada 23'. De este modo, se reduce el perfil de curvatura de la pala de la turbina eólica 5 en los ángulos de ataque ("AoA") negativos.

[0077] En esta configuración, el dispositivo modificador de perfil alar comprende un elemento deformable (véase la fig. 8) configurado para moverse libremente entre los bordes primero y segundo 21, 22. El elemento deformable está configurado para funcionar como una membrana semipermeable. De este modo, le permite adaptarse al flujo de aire local que actúa sobre el lado de presión 12, 12'. Al extenderse, el aire es guiado hacia una cámara local formada entre la superficie original de la pala (véase la fig. 8) y el elemento deformable a través de la membrana semipermeable. Al retraerse, el aire es guiado fuera de la cámara local a través de la membrana semipermeable.

[0078] La fig. 5a muestra una primera colocación del dispositivo modificador de perfil alar 19 y la fig. 5b muestra una segunda colocación del dispositivo modificador de perfil alar 19. El dispositivo modificador de perfil alar 19 tiene una longitud local L_1 medida entre un primer extremo 24 orientado hacia la raíz de la pala 7 hasta un segundo extremo 25 orientado hacia el extremo de punta 8.

[0079] En la fig. 5a, el dispositivo modificador de perfil alar 19 está dispuesto totalmente en la porción de pala aerodinámica 15 de la pala de la turbina eólica 5. En la fig. 5b, el dispositivo modificador de perfil alar 19 está dispuesto en parte en la porción de pala aerodinámica 15 y en parte en la porción de transición 16 de la pala de la turbina eólica 5.

[0080] Como se indica en la fig. 5a, en el lado de presión 12 pueden disponerse una pluralidad (indicada por líneas discontinuas) de dispositivos modificadores del perfil alar 19. Todos los dispositivos modificadores del perfil alar 19 se deforman de forma pasiva por medio de la presión local del aire en el lado de presión.

[0081] La fig. 6 muestra una tercera colocación del dispositivo modificador de perfil alar 19, en la que el dispositivo modificador de perfil alar 19 está dispuesto entre los bordes de ataque y de salida 9, 10 de la pala de la turbina eólica 5. Aquí, el primer borde 21 está colocado a una distancia predeterminada del borde de ataque 9. Además, el segundo borde 22 está situado a una distancia predeterminada del borde de salida 10.

[0082] Como se ilustra en las figs. 5a, 5b y 6, la anchura local C_1 del dispositivo modificador de perfil alar 19 varía a lo largo de la longitud de la pala de la turbina eólica 5. El segundo borde 22 está así adaptado para seguir el perfil del borde de salida 10 de la pala de la turbina eólica 5.

[0083] La fig. 7a-b muestra dos acoplamientos alternativos del dispositivo modificador de perfil alar 19. El dispositivo modificador de perfil alar 19 está conectado a la pala de la turbina eólica 5, por ejemplo, al lado de presión 12, en puntos de acoplamiento a lo largo de los bordes primero y segundo 21, 22.

[0084] En la fig. 7a, el dispositivo modificador de perfil alar 19 comprende unos primeros elementos de acoplamiento 26 configurados para enganchar unos segundos elementos de acoplamiento 27 dispuestos en la pala de la turbina eólica 5. Aquí, los primeros elementos de acoplamiento 26 tienen forma de ganchos o bordes en forma de J. Los segundos elementos de acoplamiento 27 tienen forma de agujeros u aberturas coincidentes formados en la concha de pala 11. Los puntos de acoplamiento se sellan opcionalmente mediante un sellador o un elemento de sellado deformable, por ejemplo, un casquillo o manguito deformable.

[0085] En la fig. 7b, el dispositivo modificador de perfil alar 19 comprende bridas integradas 28 que sobresalen de los bordes primero y segundo 21, 22 respectivamente. Las bridas 28 están configuradas para ser acopladas a la concha de pala 11 mediante adhesivo o elementos de acoplamiento adecuados, como por ejemplo pernos.

[0086] En ambas figs. 7a-b, el dispositivo modificador de perfil alar 19 está conectado a la pala de la turbina eólica 5, por ejemplo al lado de presión 12, en otros puntos de fijación a lo largo de los extremos primero y segundo 24, 25. Estos puntos de fijación están configurados de forma similar a los mostrados en las figs. 7a-b.

[0087] La fig. 8 muestra una segunda realización del dispositivo modificador de perfil alar 19'. En esta configuración, el dispositivo modificador de perfil alar 19 comprende además un elemento de relleno 29 dispuesto en la cámara local 31 formada entre el elemento deformable 30 y la superficie original de la pala 32. El elemento de relleno 29 está hecho de un material flexible o compuesto.

[0088] El elemento de relleno 29 está configurado para añadir soporte al elemento deformable 30 y para guiarlo hacia un perfil extendido deseado. De este modo, permite que la pala de la turbina eólica 5 se transforme en un perfil alar modificado deseado cuando el dispositivo modificador de perfil alar 19' es deformado por la presión del aire local.

[0089] Aquí, el elemento de relleno 29 tiene una estructura en forma de panal que forma una pluralidad de celdas abiertas. Esta estructura en forma de panal actúa como una estructura fina y flexible capaz de deformarse junto con el elemento deformable 30.

[0090] Un elemento interior opcional 32a se extiende a lo largo de la superficie interior del elemento de relleno 29. El elemento interior 32a está conectado al elemento de relleno 29 y además al elemento deformable 30.

5 **[0091]** La fig. 9a-b muestra una tercera realización del dispositivo modificador de perfil alar 19" colocado en posición retraída y en posición extendida. Aquí, el elemento de relleno 29' tiene una estructura alternativa delgada y flexible.

10 **[0092]** El elemento de relleno 29' tiene una estructura de celda abierta diferente configurada para deformarse, por ejemplo, retraerse, en un estado compacto, de modo que el perfil del dispositivo modificador de perfil alar 19' siga sustancialmente el perfil alar original, como se ilustra en la fig. 9b. Cuando se encuentre en estado compacto, el elemento deformable 30 se adaptará sustancialmente a la forma del perfil alar original.

15 **[0093]** Esta estructura de celda abierta está además configurada para deformarse, por ejemplo, extenderse, en un estado desplegado, en el que el elemento de relleno 29' forma un perfil exterior predeterminado. El elemento deformable 30 seguirá este perfil exterior y formará así un perfil exterior deseado, como se ilustra en la fig. 9a. De este modo, se forma una superficie modificada de la pala de la turbina eólica 5.

20 **[0094]** El elemento deformable 30 está formado por una membrana semipermeable, como se indica en la fig. 4, que permite guiar pasivamente el aire hacia el interior o el exterior de la cámara local 31 y, por tanto, de la estructura de celda abierta formada por el elemento de relleno 29, 29'. Alternativamente, el elemento deformable 30 puede comprender medios 33, por ejemplo, orificios de ventilación integrados, configurados para guiar pasivamente el aire hacia el interior y el exterior de la cámara local y, opcionalmente, de la estructura de celda abierta (indicado con flechas de puntos).

25 **[0095]** Las realizaciones mencionadas pueden combinarse de cualquier manera sin apartarse de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo modificador de perfil alar (19) para una pala de turbina eólica (5), comprendiendo la pala de turbina eólica (5) una concha de pala (11) que tiene un perfil alar original que define un lado de presión (12) y un lado de succión (13), en el que el dispositivo modificador de perfil alar (19) está configurado para ser dispuesto en el lado de presión (12) o en el lado de succión (13) de dicha pala de turbina eólica (5) y para modificar dicho perfil alar original, el dispositivo modificador de perfil alar (19) comprendiendo al menos un elemento deformable (30) que se extiende, cuando está acoplado, a lo largo de dicho lado de presión o de succión (12, 13) desde un primer borde (21) hasta un segundo borde (22) y además desde un primer extremo (24) hasta un segundo extremo (25), en el que dicho elemento deformable (19) está configurado para deformarse entre una posición retraída y una posición extendida, caracterizado porque el elemento deformable (19) se deforma pasivamente por medio de una presión de aire local que actúa sobre dicho dispositivo modificador de perfil alar (19) cuando está acoplado.
2. El dispositivo modificador de perfil alar según la reivindicación 1, caracterizado porque el dispositivo modificador de perfil alar (19) comprende además un elemento de relleno (29) conectado a dicho elemento deformable (30), en el que dicho elemento de relleno (29) está configurado además para deformarse entre dicha posición retraída y dicha posición extendida.
3. El dispositivo modificador de perfil alar según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho elemento de relleno (29) comprende una estructura de celda abierta.
4. El dispositivo modificador de perfil alar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque dicho elemento deformable (30) está configurado además para funcionar como una membrana semipermeable, en la que el aire puede pasar a través de dicha membrana semipermeable.
5. El dispositivo modificador de perfil alar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque dicho elemento deformable (30) comprende medios (33) para, cuando está acoplado, guiar pasivamente el aire hacia el interior y el exterior de una cámara local formada por dicho elemento deformable (30) y una superficie original de la pala de la turbina eólica (5).
6. Una pala de turbina eólica (5) que se extiende desde una raíz de pala (7) hasta un extremo de punta (8) en una dirección longitudinal y, además, desde un borde de ataque (9) hasta un borde de salida (10) en una dirección de cuerda, la pala de turbina eólica (5) comprendiendo una concha de pala (11) que tiene un perfil alar original que define un lado de presión (12) y un lado de succión (13), en la que al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) está dispuesto en uno de dichos lados de presión y succión (12, 13) y acoplado a dicha pala de turbina eólica (5), el al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) está configurado para deformarse entre una posición retraída y una posición extendida, caracterizada porque dicho al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) está configurado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 y se deforma pasivamente mediante una presión de aire local que actúa sobre uno de dichos lados de presión y succión (12, 13), en el que dicho perfil alar original se modifica mediante la deformación del al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) con respecto a una superficie de pala original en el sentido perpendicular a un eje local entre el borde de ataque y salida.
7. La pala de turbina eólica según la reivindicación 6, caracterizada porque el elemento deformable (30) de dicho dispositivo modificador de perfil alar (19) y la superficie original de la pala forman una cámara local, en la que un volumen de dicha cámara se modifica en función de dicha presión local del aire.
8. La pala de turbina eólica según la reivindicación 7, caracterizada porque un elemento de relleno (29) de dicho dispositivo modificador de perfil alar (19) está dispuesto sustancialmente dentro de dicha cámara local, en la que dicho elemento de relleno (29) forma un perfil exterior predeterminado del elemento deformable (30) cuando se extiende.
9. La pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizada porque dicho al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) comprende bridas integradas (28) acopladas a la concha de pala (11), o comprende primeros elementos de acoplamiento (26) que enganchan segundos elementos de acoplamiento (27) dispuestos en la pala de turbina eólica (5).
10. La pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, caracterizada porque dicho al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) comprende un primer dispositivo modificador de perfil alar y al menos un segundo dispositivo modificador de perfil alar, en el que dicho al menos segundo dispositivo modificador de perfil alar está dispuesto con respecto al primer dispositivo modificador de perfil alar a lo largo de la superficie original de la pala.
11. Método para modificar el perfil alar de una pala de turbina eólica, la pala de turbina eólica (5) extendiéndose desde una raíz de pala (7) hasta un extremo de punta (8) en dirección longitudinal y además desde un borde de ataque (9) hasta un borde de salida (10) en dirección de cuerda, la pala de turbina eólica (5) comprendiendo una

concha de pala (11) que tiene un perfil alar original que define un lado de presión (12) y un lado de succión (13), la pala de turbina eólica (5) estando configurada según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, donde dicho método comprende las etapas de:

- 5 - operar dicha pala de la turbina eólica (5) en función de un ángulo de ataque,
 - modificar pasivamente dicho perfil alar original en ángulos de ataque predeterminados mediante la deformación del al menos un dispositivo modificador de perfil alar (19) en un sentido perpendicular a un eje local entre el borde de ataque y el borde de salida por medio de una presión de aire local que actúa sobre dicho lado de presión y succión (12, 13).
- 10 12. Un método según la reivindicación 11, caracterizado porque dichos ángulos de ataque predeterminados son ángulos de ataque negativos, preferentemente ángulos de ataque muy bajos.

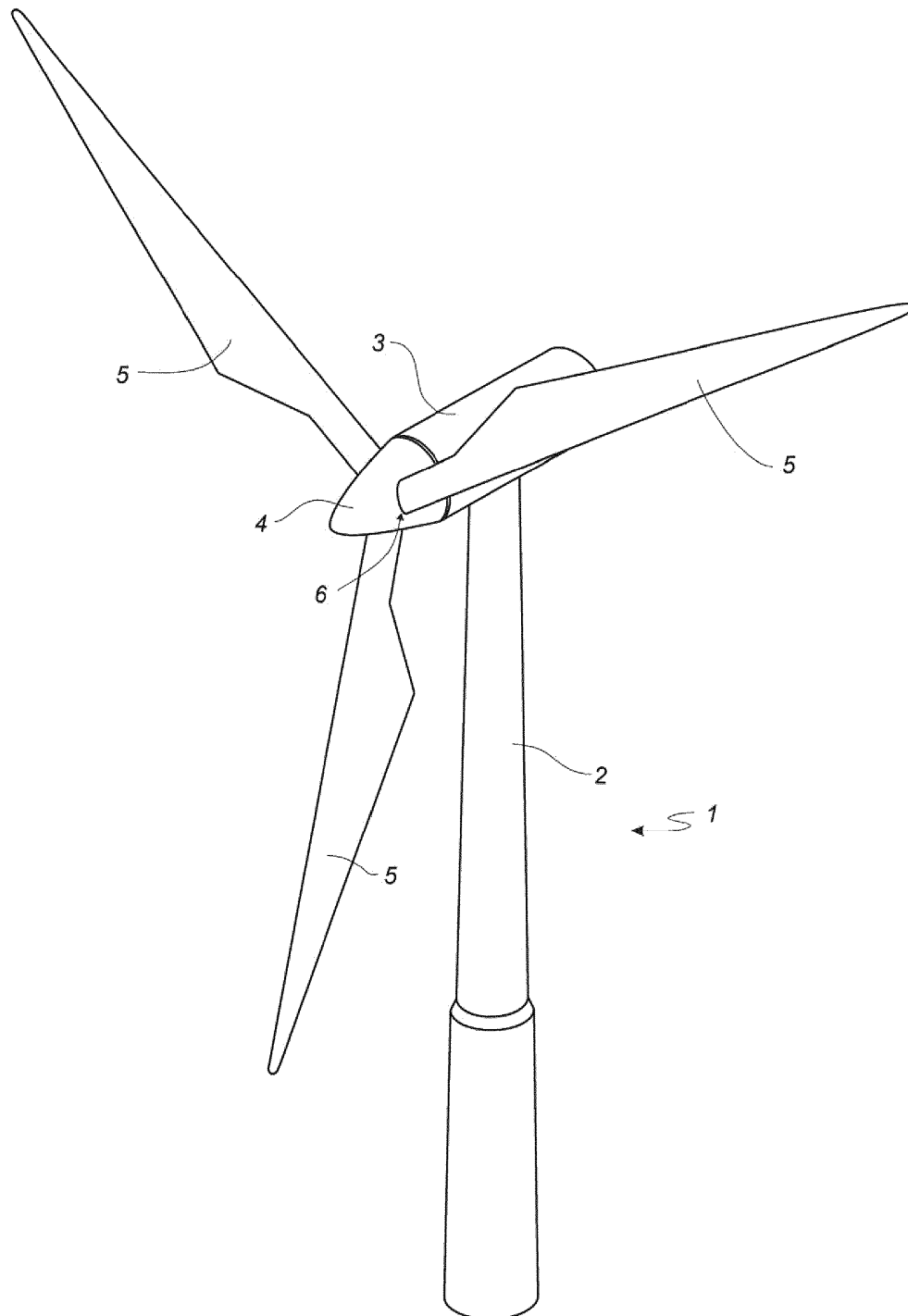


Fig. 1

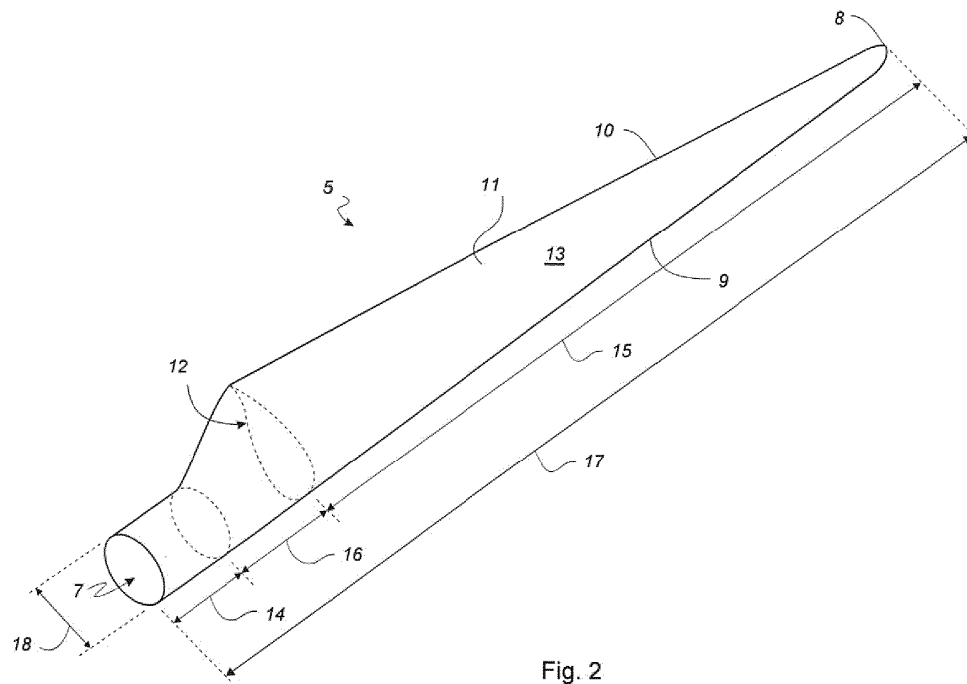


Fig. 2

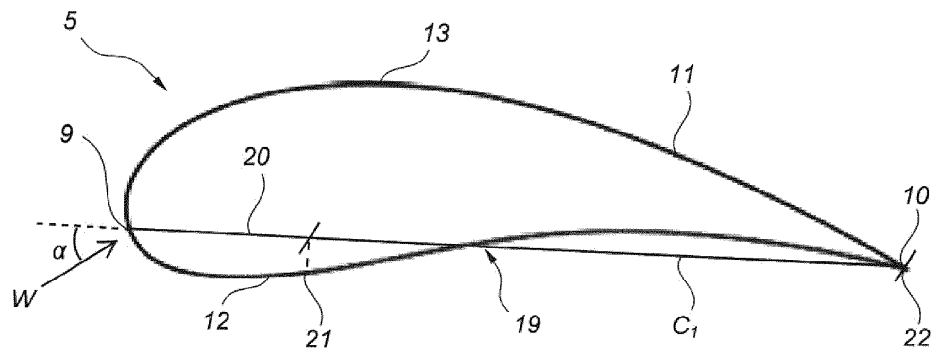


Fig. 3

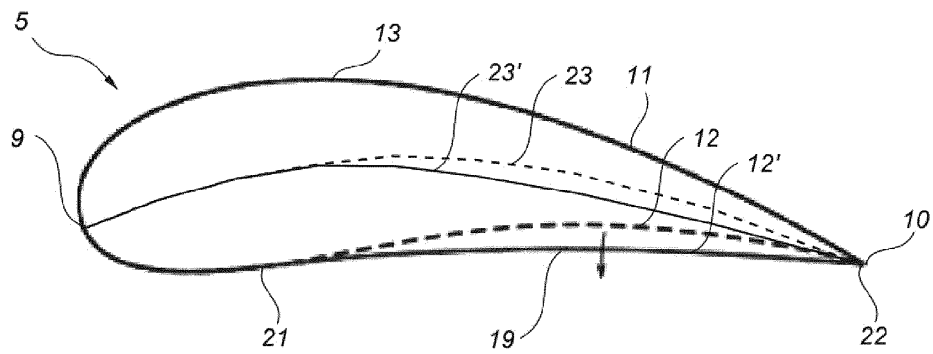


Fig. 4

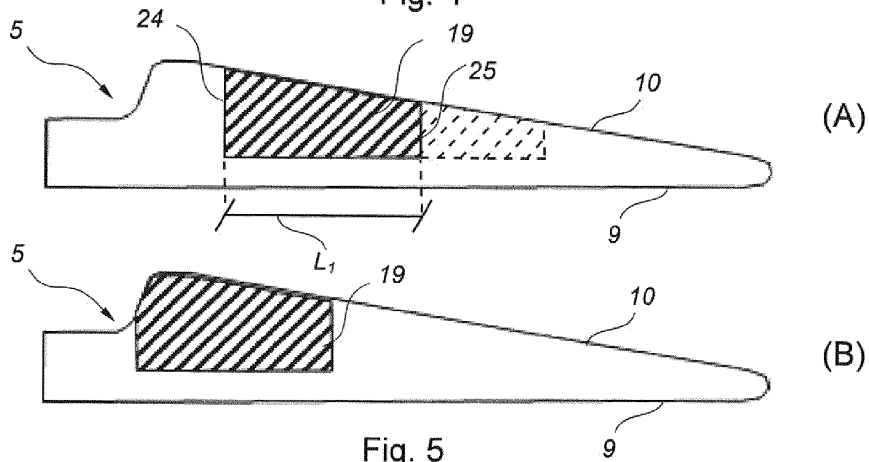


Fig. 5

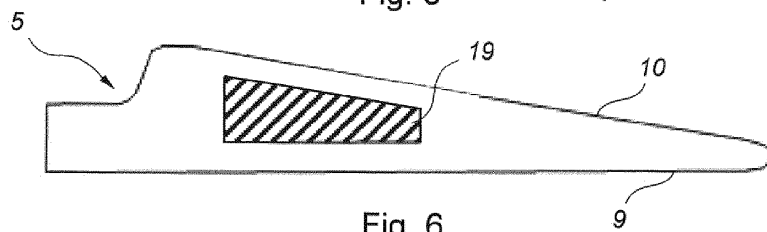


Fig. 6

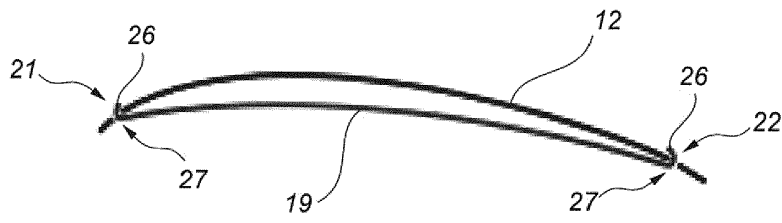


Fig. 7a

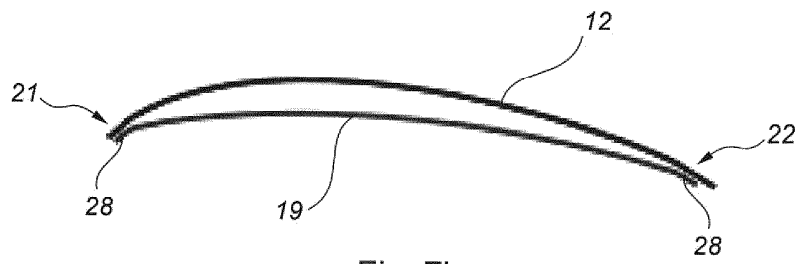


Fig. 7b

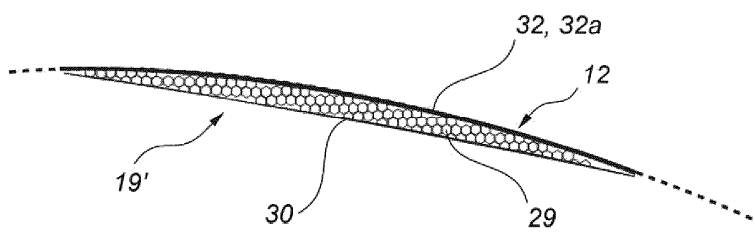


Fig. 8

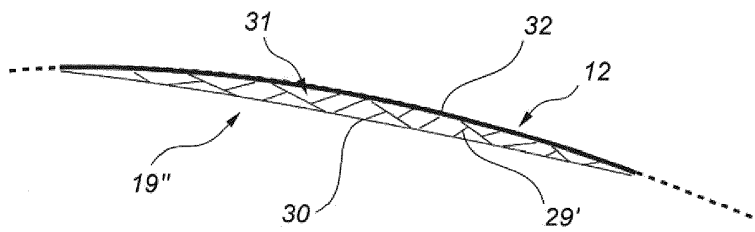


Fig. 9a

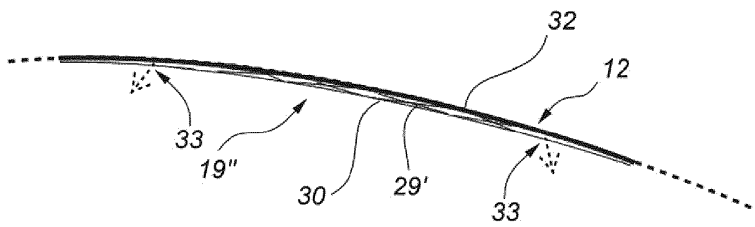


Fig. 9b