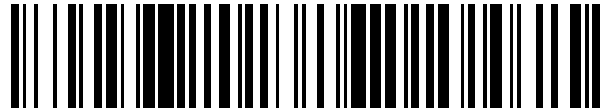


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 561 389**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2004 E 04724541 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2015 EP 1613860**

54 Título: **Control de la potencia, de las cargas y/o de la estabilidad de una turbina eólica de eje horizontal mediante la utilización de un control de geometría variable de las palas**

30 Prioridad:

31.03.2003 DK 200300491

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

25.02.2016

73 Titular/es:

**TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK (100.0%)
ANKER ENGELUNDSVEJ 1 BUILDING 101 A
2800 LYNGBY, DK**

72 Inventor/es:

**BAK, DAN, CHRISTIAN;
BUHL, THOMAS;
FUGLSANG, PETER;
MADSEN, HELGE, AAGAARD y
RASMUSSEN, FLEMMING**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 561 389 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

Control de la potencia, de las cargas y/o de la estabilidad de una turbina eólica de eje horizontal mediante la utilización de un control de geometría variable de las palas

5 Las realizaciones preferidas de la presente invención se refieren a un concepto de diseño mediante el cual la potencia, las cargas y/o la estabilidad de una turbina eólica se pueden controlar mediante una variación, habitualmente rápida, de la geometría de las palas utilizando un control activo de la geometría (por ejemplo, materiales inteligentes o mediante accionadores incorporados mecánicamente), o utilizando un control pasivo de la geometría (por ejemplo, cambios derivados de la carga y/o de la deformación de la pala) o mediante una combinación de los dos procedimientos. La invención se refiere, en particular, a una pala de turbina eólica, una turbina eólica y un procedimiento de control de una turbina eólica.

15 Antecedentes de la invención

Casi todas las turbinas eólicas grandes construidas actualmente tienen cojinetes de paso en el encastre de la pala, de tal modo que el paso de toda la pala puede ser modificado fácilmente activando el mecanismo del paso. La regulación del paso de la pala se utiliza como un freno para detener el rotor, pero se utiliza asimismo para el control de la potencia y de la carga de diferentes maneras. En las turbinas de control activo por pérdida se utiliza una variación relativamente lenta del paso de las palas para ajustar el paso de tal modo que la pérdida en la pala se produzca exactamente a la potencia máxima, pero el sistema de paso está activo asimismo a baja velocidad del viento para maximizar la potencia. En las turbinas eólicas controladas por paso, el paso en viento fuerte se modifica continuamente, de manera que no se excede la potencia máxima. Esto se realiza reduciendo el ángulo de afluencia con la pala cuando la velocidad del viento está aumentando. El sistema de paso se utiliza asimismo a velocidades de viento bajas para maximizar la potencia.

Recientemente, nuevos tipos de turbinas eólicas reguladas por paso utilizan asimismo el sistema de paso para reducir las cargas dinámicas, ya sea mediante paso cíclico o mediante paso de palas individuales. Pueden ser utilizadas diferentes señales de entrada para el sistema de control tales como, por ejemplo, la carga en el eje axial.

30 Aparte de este control del estado de la técnica con el paso de las palas, se ha propuesto [2] un control de la potencia y de las cargas mediante superficies de control desplazables, pequeñas. Una turbina de 550 kW diseñada mediante ZOND en U.S.A. utilizó un sistema de alerones de envergadura, parcial para el control de la potencia y de la velocidad rotacional del rotor [1]. El sistema de alerones es similar a los flaps del borde de salida para aviones. Han sido propuestos y analizados [3] (ver la figura 1 de [3]) flaps de Gurney fijados al borde de salida de las palas. La ventaja de una superficie de control pequeña es una posible respuesta más rápida debido a una inercia menor que si se regula el paso de toda la pala. Sin embargo, un inconveniente de los flaps de Gurney es un aumento del ruido aerodinámico a partir de los extremos libres de los flaps de Gurney y de los vanos en la pala en que está situado el flap de Gurney.

40 En la industria de la aviación, han sido investigados y utilizados elementos basculantes del borde de ataque y flaps del borde de salida. En [5] se muestran, ejemplificados en la figura 2 y la figura 3, ejemplos de características del perfil alar obtenidas mediante dispositivos de este tipo. Es la variación de los mismos resultados que se desean con esta nueva invención. Asimismo, se ha investigado la aerodinámica de microaeronaves, en las que se han propuesto perfiles alares flexibles [4].

Resumen de la invención

50 Se considera que la invención puede posibilitar controlar las fuerzas aerodinámicas de manera sustancialmente instantánea y local a lo largo de las palas de un rotor de turbina eólica mediante una variación continua de la geometría del perfil alar en la zona del borde de ataque y la zona del borde de salida, a lo largo de parte, o a lo largo de la totalidad de la envergadura de la pala. En realizaciones preferidas, esto se facilita mediante una estructura de pala que consiste en una parte rígida portadora de carga en la parte central del perfil alar y una zona del borde de ataque y/o una zona del borde de salida deformables. La conexión entre la parte portadora de carga y la parte deformable debería ser preferentemente continua (es decir, no debería haber bordes que puedan tener como resultado la generación de ruido).

60 Por lo tanto, en un primer aspecto la presente invención se refiere a una pala de turbina eólica que comprende las características de la reivindicación 1.

Se debe observar que el punto más posterior del propio borde de salida puede constituir una discontinuidad, y está discontinuidad puede permanecer durante, y después de la deformación de las secciones deformables del perfil alar. Adicionalmente, se debe interpretar preferentemente, pero no exclusivamente, que la característica "continuo" cuando se utiliza junto con una forma, por ejemplo, de una pala, significa una forma que no deteriora el flujo, tal como generando divisiones en el flujo, más allá del contorno o de la superficie. Se considera preferentemente, pero no exclusivamente, que un contorno o superficie de una sección del perfil alar o de una pala es continuo si tiene

primera, segunda y opcionalmente tercera derivadas que sean suaves y continuas. Además, la invención se da a conocer haciendo referencia a palas de turbina eólica, pero se contempla que la invención puede ser aplicada a otros cuerpos sustentadores, tales como alas de aeronaves o similares.

5 Los términos zona del borde de ataque y zona del borde de salida, tal como se utilizan en el presente documento, se refieren preferentemente, pero no exclusivamente, a una zona cuya extensión en la dirección de la cuerda está comprendida en el intervalo del 20 al 30% de la longitud de la cuerda, tal como en el intervalo del 10 al 20% de la longitud de la cuerda.

10 Un ejemplo de un diseño basado en la invención es la utilización de materiales inteligentes, o de accionadores mecánicos integrados en un material deformable que cambian la geometría exterior en las zonas de los bordes de ataque y de salida y cambian, de ese modo, las fuerzas aerodinámicas en la sección de la pala.

15 En adelante se utiliza el término material inteligente. Está comprendido en el significado de este término un material que se deforme cuando se aplica tensión al mismo, tal como el material preferido que es un compuesto piezoeléctrico activo. Sin embargo, en relación con la presente invención son aplicables y preferentes otros materiales cuyas deformaciones puedan ser controladas activamente.

20 Se pueden conseguir materiales inteligentes utilizando las propiedades de un único material o combinando las propiedades y funciones de una serie de componentes para constituir el material inteligente. Un sector particularmente preferido es el sector de los sistemas microelectromecánicos (MEMS, Micro-Electro Mechanical Systems). La utilización de la funcionalidad mecánica, térmica, eléctrica, química, biológica y/u óptica de los materiales se utiliza para añadir inteligencia a las realizaciones preferidas. Los materiales preferidos incluyen:
25 aleaciones con memoria de forma, materiales piezoeléctricos, materiales magnetostrictivos, fluidos electrorreológicos, materiales electrocrómicos, polímeros electroactivos, materiales quirales, polímeros conductores, materiales fotorreactivos, películas gruesas y delgadas, fibras ópticas, dieléctricos sintonizables, materiales autocontrolables, materiales de autoensamblaje, materiales autoreparables/autorregenerables, biomateriales, suministros de alimentación, fuentes de alimentación y materiales autoalimentados, multicapa y compuestos y/o compuestos inteligentes.

30 El accionamiento de las partes deformables del perfil alar se controla activamente, pasivamente o bien como una combinación de estos. El control activo implica preferentemente un sistema de control de la turbina eólica que monitoriza las cargas, las vibraciones y/o la estabilidad, preferentemente mediante mediciones de la afluencia de la pala, presiones del flujo, galgas extensiométricas y acelerómetros en diferentes componentes que proporcionan
35 señales de entrada para los materiales inteligentes o los accionadores que, a continuación, modifican casi instantáneamente la geometría de las secciones del perfil alar y, por lo tanto, las fuerzas aerodinámicas. El control pasivo comprende preferentemente cambios en la geometría obtenidos por la influencia de la deformación de la pala, por ejemplo un cambio en la curvatura eficaz por flexión del eje axial de la pala, o por fluctuaciones de presión a partir de la interacción con el flujo.

40 Las realizaciones preferidas de la invención han sido capaces de reducir la carga dinámica por cizalladura en la afluencia media, por turbulencia en la afluencia y por la carga dinámica que genera el auto-movimiento de las palas mediante el control de las fuerzas aerodinámicas instantáneas a lo largo de la pala. Asimismo, se pueden reducir
45 sustancialmente las cargas por influencia de la torre. Las realizaciones preferidas de la invención pueden posibilitar asimismo reducir el ruido aerodinámico mediante reducir las variaciones dinámicas de presión sobre el perfil alar, por ejemplo en caso de una pala que pase por la estela de una torre.

50 La utilización del concepto de geometría variable de la pala se puede combinar con el control del paso en toda la envergadura, por ejemplo, para su utilización en el arranque y la parada de la pala, para la regulación de la potencia y de las cargas en función de la velocidad media del viento y para la reducción de las cargas en velocidades de viento extremas en un rotor en parada.

Se contempla que las realizaciones preferidas según la presente invención pueden proporcionar una o varias de las ventajas siguientes:

- 55
- continuidad plena de la superficie de la pala durante las acciones de control, lo que permitirá un ruido aerodinámico reducido y una eficiencia aerodinámica elevada
 - respuesta rápida, dado que los materiales deformables se pueden fabricar con baja densidad y materiales flexibles dado que no soportan las cargas principales de la pala
 - 60 • son posibles diferentes acciones de control a lo largo de la pala que pueden ser utilizadas, por ejemplo, para reducir las cargas dinámicas y suprimir las vibraciones en diferentes modos de la pala y, por lo tanto, mejorar la estabilidad de la turbina eólica
 - transformación más fácil de las palas, dado que las partes geométricas deformables de las palas pueden ser montadas en el emplazamiento final.
- 65

5 En realizaciones preferidas de la pala de turbina eólica, el medio o medios de accionamiento pueden ser medios activos, en el sentido de que proporcionan cambios de forma al ser alimentados con energía, al contrario que los diseños en los que las fuerzas externas que actúan sobre las palas proporcionan los cambios de forma. En realizaciones preferidas particulares, cada sección del perfil alar de forma deformable comprende una parte sustancialmente no deformable y una o varias partes deformables.

10 La superficie exterior de, por lo menos, una de las partes deformables está definida mediante una piel fabricada de material flexible, por ejemplo caucho, y en dichas realizaciones por lo menos una de las partes deformables puede ser preferentemente una construcción de carcasa en la que la piel define la carcasa. Adicionalmente, el interior de la construcción de carcasa puede estar ocupado por un material de soporte deformable, tal como una espuma fabricada de plástico o de caucho.

15 En general, es preferible que la transición entre la superficie exterior de la parte sustancialmente no deformable y la piel de las partes deformables sea sustancialmente suave, tal como sustancialmente continua.

20 La parte no deformable puede comprender superficies de apoyo sobre las que se apoya la piel, y las superficies de apoyo están conformadas preferentemente de tal modo que la transición entre la superficie exterior de la parte sustancialmente no deformable y la piel es sustancialmente suave, tal como sustancialmente continua. En realizaciones preferidas, las superficies de apoyo pueden estar dispuestas sobre una estructura conectada a la parte no deformable.

En una realización, el medio o medios de accionamiento pueden actuar sobre el lado interior de la piel.

25 El medio o medios de accionamiento son dispositivos extensibles longitudinalmente, siendo preferentemente un dispositivo hidráulico, con un extremo conectado a la piel y el otro extremo conectado a la parte sustancialmente no deformable, o a una estructura conectada a la parte sustancialmente no deformable. Además, el dispositivo extensible en longitud está fijado, en un extremo, en la proximidad de alguno del lado superior o inferior del perfil alar.

30 El dispositivo o dispositivos extensibles en longitud se pueden extender preferentemente, principalmente en la dirección de la cuerda. El extremo que está conectado a la piel está conectado a la piel, preferentemente, en el lado inferior del perfil alar y el extremo que está conectado a la parte sustancialmente no deformable o a la estructura está conectado preferentemente en la proximidad del lado superior del perfil alar, o viceversa.

35 En una realización particularmente preferida, en dispositivo o dispositivos extensibles en longitud son dispositivos de pistón extensible.

40 En una realización, la piel está fijada a la parte sustancialmente no deformable y el medio de accionamiento está situado dentro de la piel. El medio de accionamiento pueden ser preferentemente una o varias composiciones materiales cuyas prolongaciones, reducciones y/o flexiones son controlables por una o varias corrientes eléctricas aplicadas, por ejemplo siendo un material inteligente. Además, la composición material puede estar intercalada o incorporada en la piel, preferentemente de tal modo que no se produce deslizamiento entre la composición material y el material de la piel durante la deformación de la piel. Alternativamente o en combinación con esto, la composición material puede estar aplicada a la superficie interior de la piel, preferentemente de tal modo que no se produce deslizamiento entre la composición material y el material de la piel durante la deformación de la piel.

45 Por lo menos una de las partes deformables puede estar fabricada de uno o varios materiales flexibles, por ejemplo caucho, y donde el medio o medios de accionamiento pueden ser uno o varios largueros extensibles, que se extienden en el interior del material o materiales. Adicionalmente, dicha por lo menos una parte deformable puede estar, preferentemente, fabricada exclusivamente de uno o varios materiales flexibles que tienen uno o varios vacíos.

50 El larguero o largueros extensibles están fabricados de una composición material cuyas una o varias prolongaciones, reducciones y/o flexiones son controlables mediante una o varias corrientes eléctricas, tal como fabricados de un material inteligente.

55 De acuerdo con realizaciones preferidas según la presente invención, el medio o medios de accionamiento pueden ser pasivos en el sentido de que proporcionan cambios de forma como resultado del movimiento de la pala, siendo preferentemente dicho movimiento torsión, flexión y/o rotación de las palas. El movimiento de la pala es inducido habitualmente por las fuerzas del viento que actúan sobre la pala.

60 En muchas realizaciones preferidas particulares, la parte sustancialmente no deformable puede ser una parte central de la pala y dichas una o varias partes deformables pueden ser la zona del borde de ataque y/o la zona del borde de salida. La parte sustancialmente no deformable puede ser ventajosamente una parte portadora de carga de la pala.

65 En otro aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento de control de la condición o condiciones de funcionamiento de una turbina eólica, que comprende las características de la reivindicación 12.

La turbina eólica puede comprender preferentemente medios de detección para detectar dichas una o varias condiciones de funcionamiento, donde dichas una o varias condiciones de funcionamiento detectadas pueden ser introducidas en un sistema informático que comprende una funcionalidad que determina las deformaciones de forma, que se deben imponer sobre parte o la totalidad de las secciones del perfil alar deformables, en base a dicha entrada.

Preferentemente, los medios de detección pueden comprender medios para medir la presión del flujo de la pala, la posición del rotor y/o galgas extensiométricas, acelerómetros o similares, dispuestos preferentemente en uno o varios componentes de la turbina eólica, siendo habitual y preferentemente dichos componentes la pala o palas, la góndola y/o la torre.

Una escala de tiempo habitual para la deformación que se debe introducir en las secciones del perfil alar deformables, puede ser preferente y ventajosamente menor que la duración de una rotación del rotor, preferentemente menor que la mitad de la duración de una rotación del rotor, tal como menor que un cuarto de la duración de una rotación del rotor, tal como menor que el tiempo que tarda una pala en rotar 10°, tal como 15°, que puede ser aplicable para controlar las deformaciones dentro de un cruce con la estela de la torre.

Adicionalmente, el procedimiento según la presente invención puede comprender además la etapa de ajustar y/o modificar el paso de toda la envergadura de cada pala.

Un aspecto adicional de la presente invención se refiere a una turbina eólica que tiene una o varias palas de turbina eólica acordes con la presente invención. Un aspecto adicional se refiere a una turbina eólica que está controlada mediante el procedimiento acorde con la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación se describirá en detalle la invención, y en particular realizaciones preferidas de la misma, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra un esbozo de un perfil alar con un flap de Gurney desplazable situado en el borde de salida;

la figura 2 muestra esquemáticamente la sustentación frente al ángulo de ataque, con y sin un elemento basculante del borde de ataque (las mediciones correspondientes a la figura 2 se pueden encontrar, por ejemplo, en [5]);

la figura 3 muestra la sustentación frente al ángulo de ataque, con y sin un flap del borde de salida (la medición correspondiente a la figura 2 se puede encontrar, por ejemplo, en [5]);

la figura 4 muestra un esbozo de un perfil alar de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención, con curvatura continua y con zonas deformables de los bordes de ataque y de salida;

la figura 5 muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de salida del perfil alar, de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención;

la figura 6 muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de salida del perfil alar, de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención;

la figura 7 muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de salida del perfil alar, de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención;

la figura 8 muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de ataque del perfil alar, de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención;

y

la figura 9 muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de ataque del perfil alar de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención: control pasivo del movimiento mediante la desviación de la pala. Las líneas de puntos pequeños muestran la zona del borde de salida en situación desviada.

Las flechas muestran el movimiento de cizalladura del material y los correspondientes movimientos de la zona del borde de salida.

Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

En la figura 4 se muestra esquemáticamente una sección del perfil alar 1 que tiene dos partes deformables, es decir una zona deformable del borde de ataque y una zona deformable del borde de salida. La sección del perfil alar 1 tiene una forma inicial indicada por líneas continuas donde la zona del borde de ataque 10 y la zona del borde de salida 12 no están deformadas, y una forma deformada indicada por líneas de puntos donde la zona del borde de

ataque y la zona del borde de salida están deformadas en la zona del borde de ataque y la zona del borde de salida indicadas por los numerales 10a y 12a en la figura 4. Además, la sección del perfil alar 1 comprende una parte no deformable 14 que está diseñada para soportar la carga producida por la sección del perfil alar. Tal como se indica en la figura 4, las deformaciones de la sección del perfil alar 1 no introducen ninguna discontinuidad en la superficie exterior de la sección del perfil alar 1, que se mantiene suave durante la deformación y después de la misma.

El ala puede tener partes deformables que se extienden en toda la envergadura, que pueden estar fabricadas como una sección deformable que se extiende por todo el ala, o el ala puede tener localmente a lo largo de la envergadura partes deformables, teniendo de ese modo una serie de secciones deformables dispuestas a lo largo de la envergadura. Además, en algunas zonas el ala puede tener solamente una zona del borde de ataque o una zona del borde de salida deformable.

En la figura 5 se muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de salida 12 del perfil alar. De nuevo, las líneas continuas indican la forma inicial de la zona del borde de salida 12 y las formas deformadas de la zona del borde de salida 12a se indican mediante líneas de puntos. La zona del borde de salida deformable 12 está fabricada de un material flexible, preferentemente caucho, que tiene vacíos 20. La zona del borde de salida 12 comprende una construcción 22 en la que está fijado un larguero 24 fabricado de material inteligente. La construcción 22 está empernada a la parte no deformable 14 y el larguero 24 se extiende en la dirección longitudinal de la sección del perfil alar 1 desde la construcción 22 y hasta la proximidad del punto de remanso 26 de la zona del borde de salida 12, tal como se indica en la figura 5. Cuando el larguero 24 del material inteligente es excitado aplicando tensión al material (tal como se indica mediante "+" "-" en la figura 5), el larguero se desviará hacia arriba o hacia abajo en función de la polarización de la tensión, teniendo por lo tanto como resultado una deformación de su forma inicial (la forma de la zona del borde de salida en la que no hay tensión aplicada al larguero).

En la figura 6 se muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de salida del perfil alar. En esta realización, la zona del borde de salida 12 comprende una piel 32 de resistencia suficiente para resistir la presión del fluido circundante que actúa sobre la superficie, con el fin de evitar la deformación de la piel debida a esta presión. La piel 32 está fabricada de un material flexible (por ejemplo caucho) y está fijada a la parte no deformable 14 mediante la construcción 22. Un conjunto de pistón 28, tal como una disposición de pistón hidráulico, que puede aumentar o reducir su extensión longitudinal y puede controlar activamente el movimiento de la zona del borde de salida, controla la deformación de la zona del borde de salida. El conjunto de pistón 28 está fijado, en uno de sus extremos distales, a una estructura 22 similar a la mostrada en la figura 5 en una posición próxima al lado superior del perfil alar - o en general, en una posición sobre la línea de cable de la sección del perfil alar. En el otro extremo distal, la disposición de pistón 28 está fijada al lado interior del lado inferior de la piel 32. Tras la activación de la disposición de pistón 28, por ejemplo una prolongación o una reducción del pistón, la zona del borde de salida se deformará a una forma deformada en la que la zona del borde de salida está flexionada hacia arriba o bien hacia abajo. 12a en la figura 6 indica dichas dos formas. Se debe observar que se puede obtener un resultado similar o incluso igual fijando uno de los extremos distales del conjunto de pistón 28 a la estructura 22 en una posición próxima al lado inferior del perfil alar, o en general por debajo de la línea de cuerda del perfil alar, y fijando el otro extremo distal al lado interior de la piel en el lado superior del perfil alar. Se debe observar además que el conjunto de pistón puede ser sustituido por otros dispositivos extensibles en longitud, tal como una varilla fabricada de material inteligente.

En la figura 7 se muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de salida del perfil alar. La zona del borde de salida comprende una piel 32 similar a la piel 32 de la realización mostrada en la figura 6. Dentro de la piel 32 está situada una lámina de material inteligente 30 en el lado superior y/o en el lado inferior del perfil alar. La lámina de material inteligente 30 puede controlar activamente el movimiento de la zona del borde de salida aplicando tensión a la misma. La lámina del material inteligente 30 puede actuar asimismo como un refuerzo de la piel 32.

En la figura 8 se muestra una vista en sección transversal de una zona del borde de ataque del perfil alar. La zona del borde de ataque es estructuralmente similar a la zona del borde de salida expuesta en la figura 7. Por lo tanto, la piel de la zona del borde de ataque está fabricada de caucho o similar, y dentro de la piel una o varias láminas de material inteligente que pueden controlar activamente el movimiento de la zona del borde de ataque están situadas en los lados superior y/o inferior del perfil alar.

Tal como aparece, por ejemplo, en la figura 8, la piel 32 está en una posición 34a y 34b (figura 8) fijada a la construcción 22 habitualmente mediante una combinación de encolado y empernado. La construcción 22 define superficies de apoyo en estas posiciones, de manera que una vez que la piel está fijada a la construcción, las transiciones son suaves, vistas en la dirección circunferencial desde la piel 32 hacia la superficie exterior de la parte no deformable 14. La fijación de la piel a estas superficies de apoyo es tal que durante la deformación de la piel 32, la piel seguirá en apoyo con las superficies de contacto de tal modo que las deformaciones introducidas en la piel no tendrán como resultado la introducción de ninguna disrupción en la piel en la proximidad de la posición en la que la piel 32 está fijada a la construcción 22.

La extensión circunferencial del material inteligente está preferentemente limitada de manera que no hay presente material inteligente en la proximidad de la posición en la que la piel 32 está fijada a la construcción 22. Además, es

preferible utilizar láminas independientes de material inteligente 30 para las partes superior e inferior, por ejemplo, de la zona del borde de ataque y/o de salida, para poder controlar de manera mutuamente independiente la deformación de los lados superior e inferior del perfil alar.

5 El material inteligente se ha expuesto anteriormente como una lámina de material que está intercalada en la piel o incorporada en la misma. Sin embargo, el material inteligente puede ser asimismo una lámina de material aplicada la superficie interior y/o exterior de la piel. En ambas situaciones, el material inteligente está fijado al/dentro del material de la piel de tal modo que no se produce ningún deslizamiento entre el material inteligente y la piel del material durante la deformación de la superficie del perfil alar.

10 Se contempla que las realizaciones mostradas en las figuras 7 y 8, en lugar de estar controladas mediante material inteligente que se extiende dentro de la piel, pueden estar dotadas de un larguero de material inteligente o un pistón similar a las realizaciones de las figuras 5 y 6.

15 Para aumentar la estabilidad, por ejemplo, de las secciones deformables, tales como la zona del borde de ataque y la zona del borde de salida, los vacíos en el interior de las secciones deformables definidas por la piel 32 o los vacíos 20 pueden estar ocupados por un material de soporte, tal como espuma fabricada de plástico o de caucho. De este modo, se puede aumentar la capacidad de la piel para recoger las fuerzas de presión que actúan sobre la misma, permitiéndose al mismo tiempo las deformaciones inducidas por el material inteligente y/o la disposición de pistón.

20 La deformación de las secciones deformables del perfil alar se controla utilizando un sistema de control que comprende un sistema informático que recibe entradas de sensores dispuestos en componentes de la turbina eólica y que proporciona, en respuesta a las entradas, señales de control para que los accionadores, por ejemplo el material inteligente 24 o el conjunto de pistón 28, ejecuten una deformación de la forma. La ejecución tiene como resultado, preferentemente casi de forma instantánea, un cambio casi instantáneo en las fuerzas aerodinámicas. Por instantáneo se entiende preferentemente que no se construye deliberadamente ningún retardo en el sistema de control, y que el retardo en la ejecución de una deformación se produce como resultado, por ejemplo, de las constantes de tiempo del material, de los retrasos en la transmisión o similares.

25 Mediante modelos de simulación para el flujo del perfil alar es posible calcular la fuerza de sustentación y la fuerza de resistencia para una condición de afluencia dada (dentro del significado de condiciones de afluencia, se considera preferentemente la magnitud del vector velocidad de la afluencia y ángulo del vector velocidad de la afluencia con respecto a la línea de cuerda del perfil alar, denominado asimismo el ángulo de ataque, pero pueden ser utilizadas ventajosamente otras medidas por los modelos de simulación). Entonces, para un perfil alar con perfil alar de geometría variable se puede realizar el mismo cálculo de sustentación y resistencia en las mismas condiciones de afluencia, en cambios de geometría de pequeñas etapas, desde una geometría extrema exterior hasta la geometría extrema opuesta. A continuación se realizan los cálculos a partir de una serie de diferentes condiciones de afluencia, lo que significa una serie de ángulos de ataque diferentes. De este modo, se realiza una tabla de sustentación y resistencia para diferentes ángulos de ataque y diferentes etapas de cambios de la geometría.

30 En un bucle final de control en una turbina en funcionamiento, el sistema de control calculará en cada etapa de tiempo si es necesario un aumento o una reducción de la carga aerodinámica, y mediante la utilización de la tabla anterior se decide el correspondiente cambio de geometría.

Referencias

35 [1] Mikhail, A.S. y Christensen, L.S. "The ZOND 550 kW Z-40 wind turbine development status and test results" ("situación de desarrollo y resultados de pruebas de la turbina eólica ZOND 550 kW Z-40"). En Proceedings de "Wind Energy 1995" celebrado en Houston, Texas, del 29 de enero al 1 de febrero de 1995.

40 [2] Miller, L.S., Migliore P.M. y Quandt, G.A. "An Evaluation of several wind turbine trailing-edge aerodynamic brakes" ("evaluación de varios frenos aerodinámicos de borde de salida de turbina eólica"). En Proceedings de "Wind Energy 1995" celebrado en Houston, Texas, del 29 de enero al 1 de febrero de 1995.

45 [3] Yen, D.T., van Dam, C.P., Smith, R.L., Collins, S.D., 'Active-Load Control for wind turbine blade Using MEM Translational Tabs' (control de carga activo para palas de turbina eólica utilizando lengüetas de traslación MEM', Proc. 2001 ASME Wind Energy Symposium, 39-ésimo Encuentro y Exposición de Ciencias Aeroespaciales AIAA, Reno, Nevada, 11 al 14 de enero de 2001, páginas 114 a 122.

50 [4] Levin, O., Shyy, W., 'Optimization of a Flexible Low Reynolds Number Airfoil' ('optimización de un perfil alar flexible de número de Reynolds bajo'), AIAA 2001-0125, 39-ésimo Encuentro y Exposición de Ciencias Aeroespaciales AIAA, 8 al 11 de enero de 2001, Reno, Nevada.

65

[5] Murri, D.G., Jordan, F.L., 'Wind-Tunnel Investigation of a Full-Scale General Aviation Airplane Equipped With an Advanced Natural Laminar Flow Wing' ('investigación en túnel del viento de un aeroplano de aviación general a escala real equipado con un ala de flujo laminar natural avanzada'), NASA Documento Técnico 2772, noviembre de 1987.

- 5 WO200198654-A1 "Wind turbine rotor blade includes flap comprising laminate(s) with layers of materials having differing expansion coefficients" ("pala de rotor de turbina eólica que incluye flap que comprende uno o varios materiales laminares con capas de materiales que tienen coeficientes de expansión diferentes") LM Glasfiber A/S
- 10 US5224826-A "Piezoelectric helicopter blade flap actuator - with electrically deformable material mounted within aerofoil, cantilevered to spar to cause flap deflection" ("accionador piezoeléctrico de flap de pala de helicóptero - con material deformable eléctricamente montado en el interior del perfil alar, en voladizo con el larguero para provocar la desviación del flap"). Instituto de Tecnología de Massachusetts
- 15 WO0114740 "Modified wind turbine airfoil" ("perfil alar de turbina eólica modificado"), Risø National Laboratory

REIVINDICACIONES

1. Una pala de turbina eólica, que comprende
- 5 - una o varias secciones del perfil alar (1) de forma deformable, donde la superficie exterior de cada una de las secciones del perfil alar (1) de forma deformable es sustancialmente continua en todas sus formas, comprendiendo cada sección del perfil alar (1) de forma deformable una parte sustancialmente no deformable (14) y una o varias partes deformables (10, 12), y
- 10 - medios de accionamiento (24, 28, 30) para proporcionar los cambios de forma en las secciones del perfil alar (1) de forma deformable, siendo el medio o medios de accionamiento (24, 28, 30) medios activos en el sentido de que proporcionan cambios en la forma al suministrarles energía,
- en la que
- 15 - la superficie exterior de por lo menos una de las partes deformables (10, 12) está definida por una piel (32) fabricada de material flexible, por ejemplo caucho, y en la que la piel (32) está fijada a la parte sustancialmente no deformable (14) y en la que el medio de accionamiento (30) está situado en el interior de la piel (32),
- o en la que - por lo menos una de las partes deformables (10, 12) está fabricada de uno o varios materiales flexibles, por ejemplo caucho, siendo dichos uno o varios medios de accionamiento uno o varios largueros extensibles (24) que se extienden en el interior de los materiales, y los largueros extensibles están fabricados de una composición de material con una o varias prolongaciones, reducciones y/o flexiones que son controlables mediante corrientes eléctricas aplicadas, tal como fabricados de un material inteligente.
- 20
- 25 2. Una pala de turbina eólica acorde con la reivindicación 1, en la que por lo menos una de las partes deformables (10, 12) es una construcción de carcasa en la que la piel (32) define la carcasa.
3. Una pala de turbina eólica acorde con la reivindicación 2, en la que el interior de la construcción de carcasa está ocupado por un material de soporte deformable, tal como espuma fabricada de plástico o de caucho.
- 30
4. Una pala de turbina eólica acorde con la reivindicación 2 ó 3, en la que la transición entre la superficie exterior de la parte sustancialmente no deformable (14) y la piel (32) de las partes deformables (10, 12) es sustancialmente suave, tal como sustancialmente continua.
- 35
5. Una pala de turbina eólica acorde con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en la que la parte no deformable (14) comprende superficies de apoyo sobre las que se apoya la piel (32), estando conformadas las superficies de apoyo de tal modo que la transición entre la superficie exterior de la parte sustancialmente no deformable (14) y la piel (32) es sustancialmente suave, tal como sustancialmente continua.
- 40
6. Una pala de turbina eólica acorde con la reivindicación 1, en la que el medio o medios de accionamiento son una o varias composiciones materiales (24, 30) cuyas una o varias prolongaciones, reducciones y/o flexiones son controlables mediante una o varias corrientes eléctricas aplicadas, por ejemplo siendo un material inteligente.
- 45
7. Una pala de turbina eólica acorde con la reivindicación 6, en la que la composición material (30) está intercalada o incorporada en la piel (32) de tal modo que no se produce ningún deslizamiento entre la composición material (30) y el material de la piel (32) durante la deformación de la piel (32).
- 50
8. Una pala de turbina eólica acorde con la reivindicación 1, en la que dicha por lo menos una parte deformable (10, 12) está fabricada exclusivamente de uno o varios materiales flexibles y tiene uno o varios vacíos (20).
9. Una pala de turbina eólica acorde con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la parte sustancialmente no deformable (14) es una parte central de la pala y en la que dichas una o varias partes deformables (10, 12) son la zona del borde de ataque (10) y/o la zona del borde de salida (12).
- 55
10. Una pala de turbina eólica acorde con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que la parte sustancialmente no deformable (14) es una parte portadora de la carga.
- 60
11. Una turbina eólica que tiene una o varias palas de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
12. Un procedimiento de control de una o varias condiciones de funcionamiento de una turbina eólica que comprende una varias palas según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, siendo preferentemente dichas una o varias condiciones de funcionamiento la carga sobre la pala o palas, la potencia producida por la turbina eólica, el ruido inducido por el aire, la estabilidad de la turbina eólica y/o similares; comprendiendo dicho procedimiento controlar la forma de las secciones del perfil alar deformables (1), donde los cambios de forma se realizan de tal modo que no se introducen discontinuidades en las superficies de las secciones del perfil alar (1).
- 65

5 13. Un procedimiento acorde con la reivindicación 12, en el que la turbina eólica comprende medios de detección para detectar dichas una o varias condiciones de funcionamiento, en el que dichas una o varias condiciones de funcionamiento son introducidas en un sistema informático que comprende funcionalidad para determinar las deformaciones de forma, que se deben imponer sobre parte o la totalidad de las secciones del perfil alar deformables (1) en base dicha entrada.

10 14. Un procedimiento acorde con la reivindicación 13, en el que dicho medio o medios de detección comprenden medios para medir la presión del flujo de la pala, la posición del rotor y/o galgas extensiométricas, acelerómetros o similares dispuestos en uno o varios componentes de la turbina eólica, siendo habitual y preferentemente dichos componentes la pala o palas, la góndola y/o la torre.

15 15. Un procedimiento acorde con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que una escala de tiempo habitual para una deformación que se debe introducir en las secciones del perfil alar deformables, es menor que la duración de una rotación del rotor, preferentemente menor que la mitad de una duración de la rotación del rotor, tal como menor que la cuarta parte de la duración de una rotación del rotor, tal como menor que el tiempo que tarda una pala en rotar 10°, tal como 15°.

20 16. Procedimiento acorde con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, que comprende además la etapa de ajustar y/o modificar el paso en toda la envergadura de cada pala.

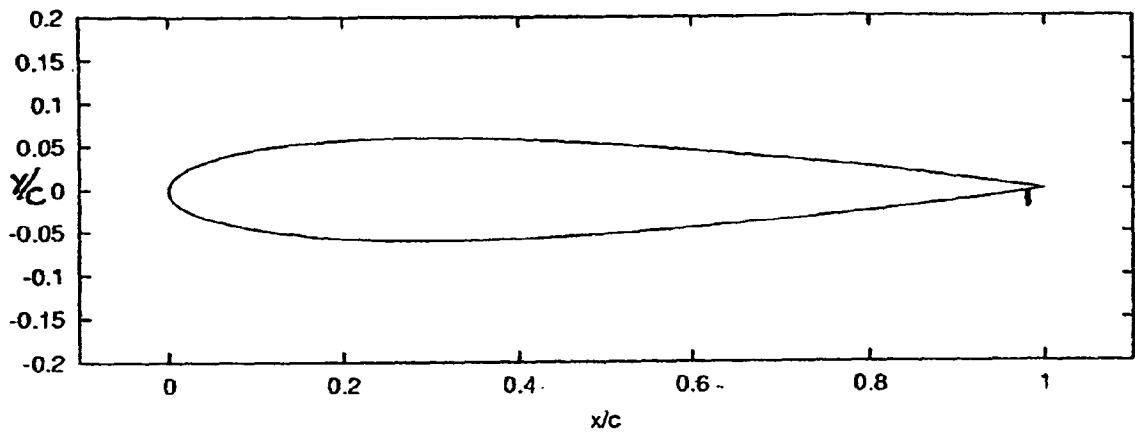


Fig. 1

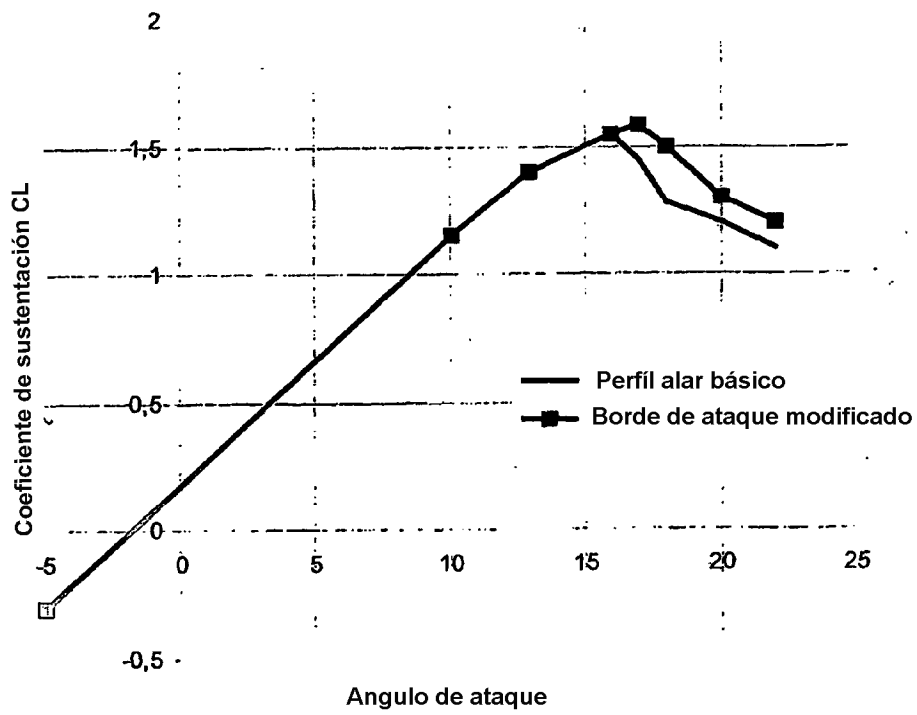


Fig. 2

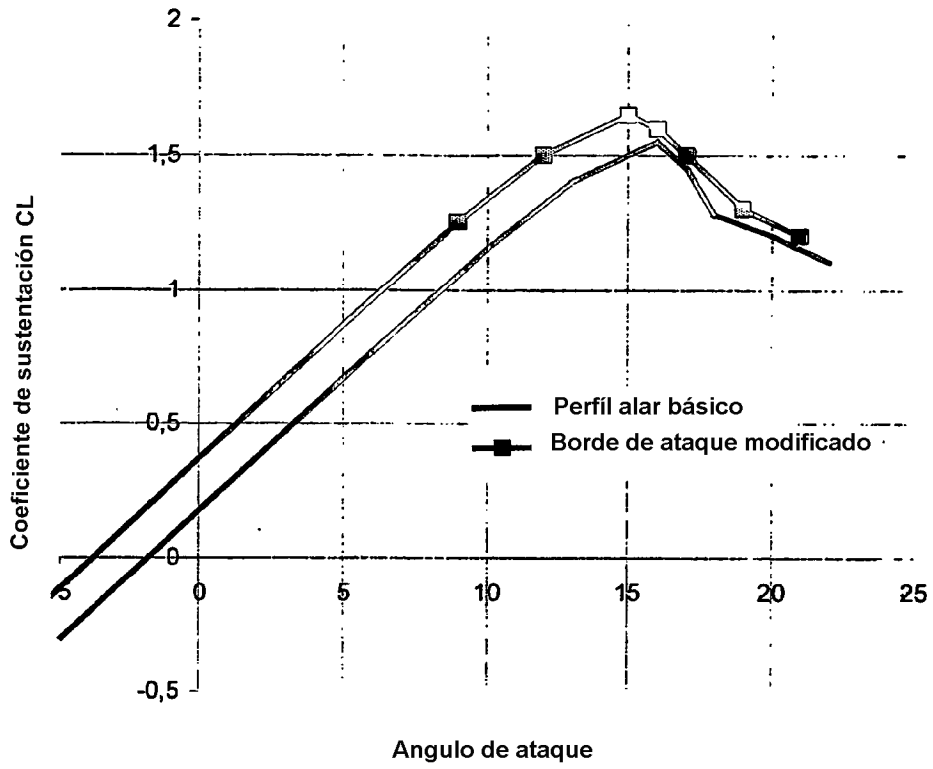


Fig. 3

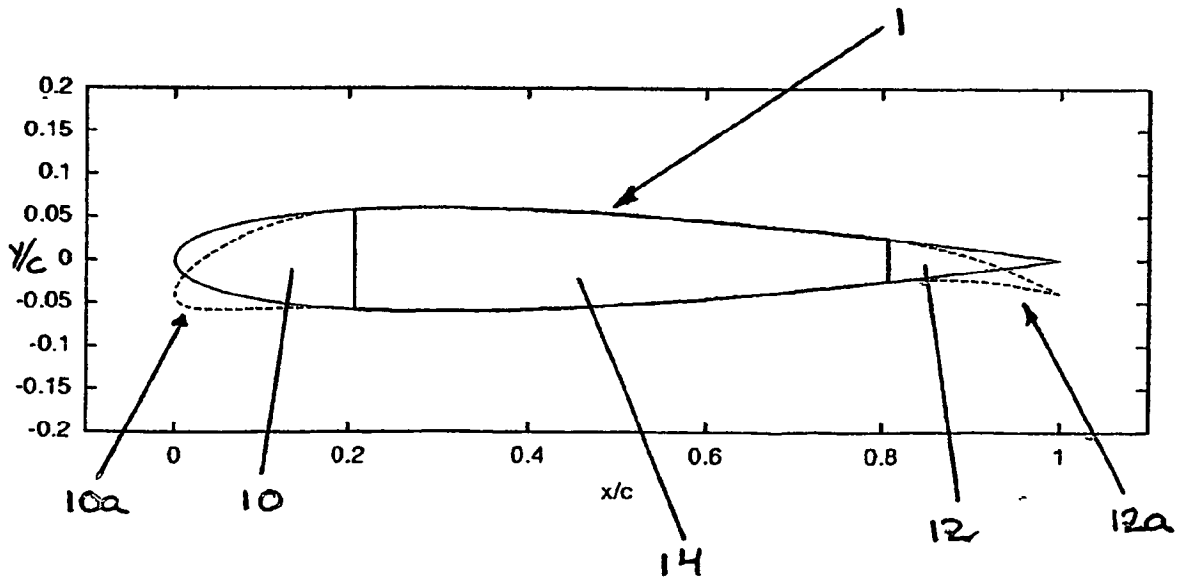


Fig. 4

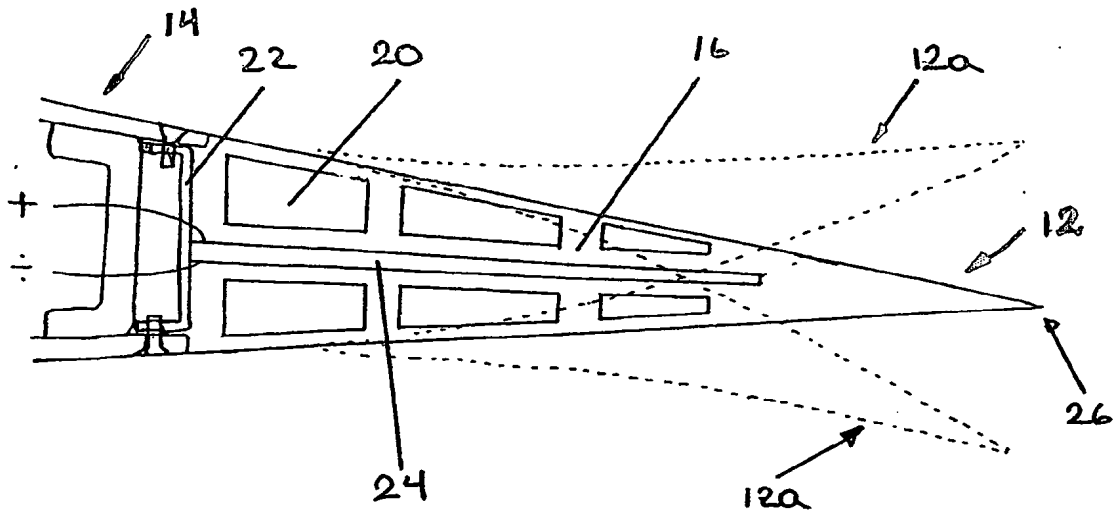


Fig. 5

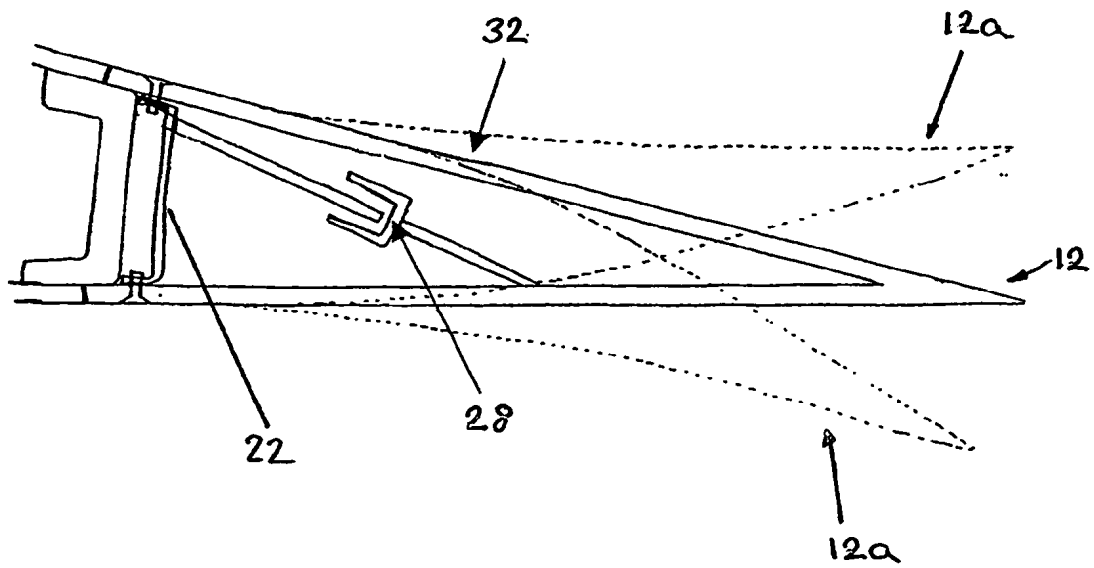


Fig. 6

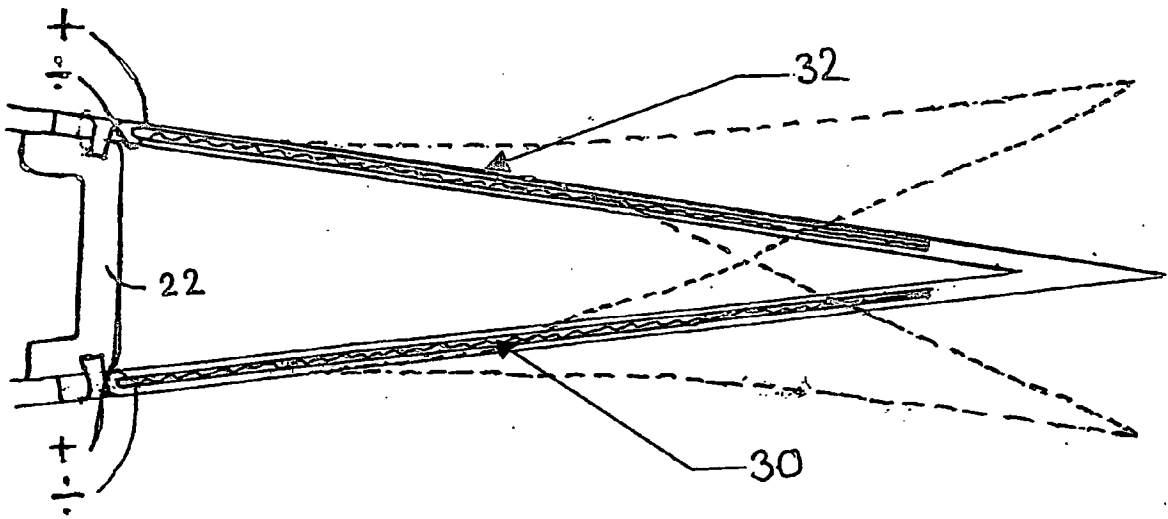


Fig. 7

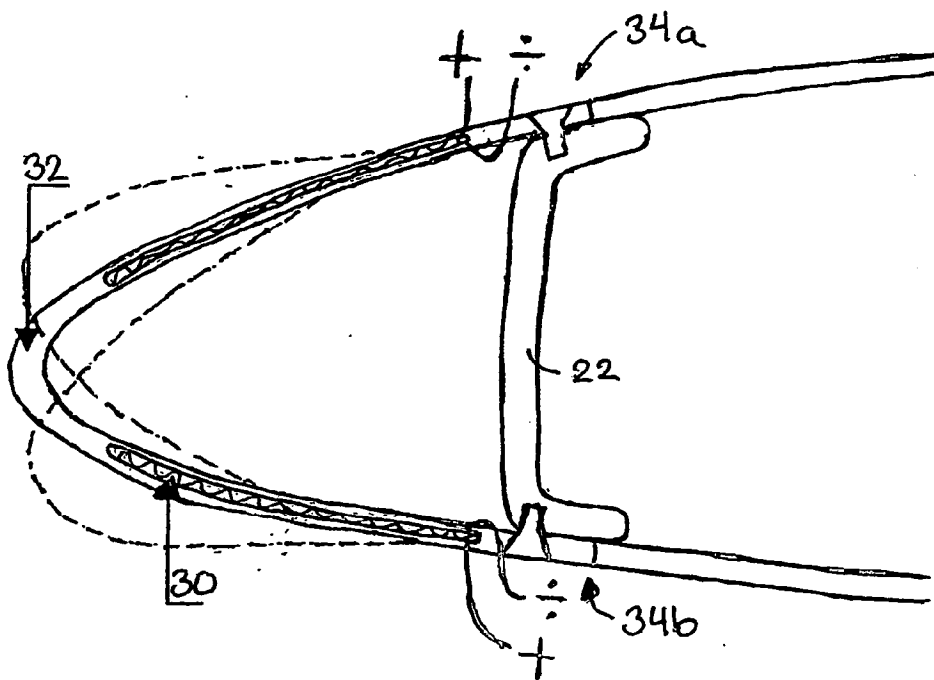


Fig. 8

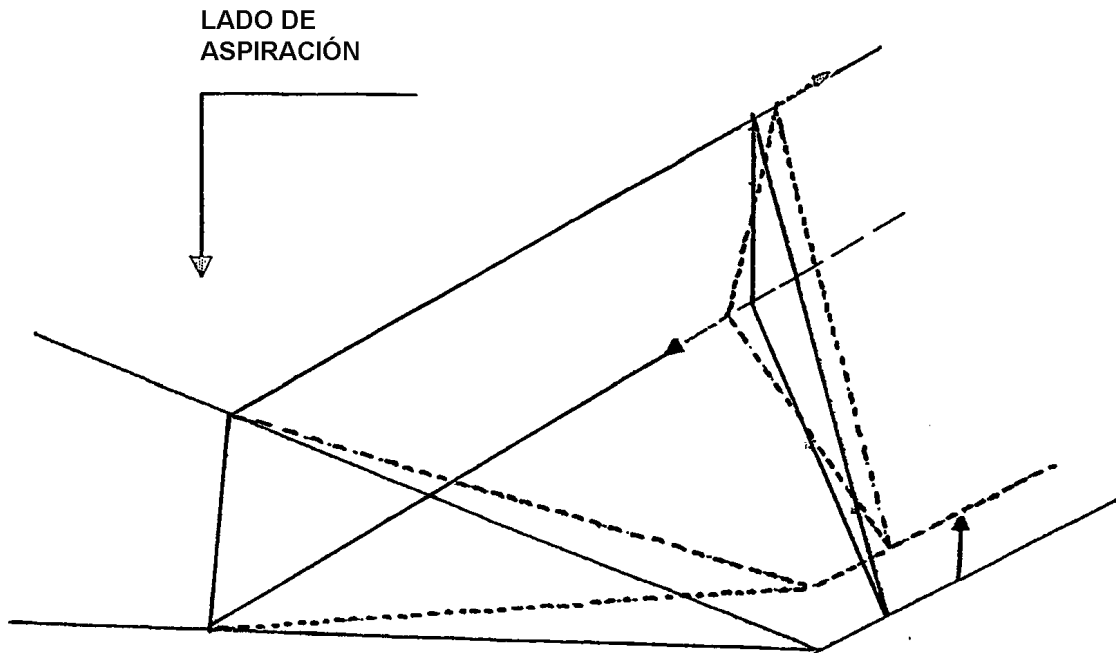


Fig. 9