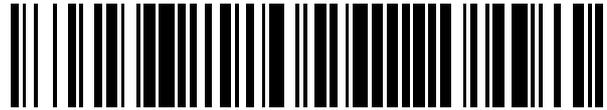


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 496 167**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

**F03D 3/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2008 E 08700889 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014 EP 2104785**

54 Título: **Pala reforzada para aerogenerador**

30 Prioridad:

**16.01.2007 DK 200700065**

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

**18.09.2014**

73 Titular/es:

**BLADENA APS (100.0%)  
Sct. Hansgade 9, 2. sal  
4100 Ringsted, DK**

72 Inventor/es:

**JENSEN, FIND MOLHOLT**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 496 167 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Pala reforzada para aerogenerador

5 La presente invención está relacionada con una pala reforzada para una turbina eólica o aerogenerador y, en particular, con una pala de aerogenerador que comprende una cubierta que tiene una sección con un perfil aerodinámico, y por lo menos un elemento con forma de placa conectado dentro de la cubierta y que se extiende substancialmente a lo largo de la cuerda del perfil con el fin de aumentar la fortaleza de la pala y para impedir o reducir las deformaciones de la superficie de la pala ocasionadas por cargas en la estructura de la pala en sentido del borde (*edgewise*) y del flap (*flapwise*).

10 Una pala de aerogenerador normalmente consiste en una cubierta aerodinámica y una jácena interna, tal como una viga o un mástil, la jácena puede ser una sola viga, pero a menudo se utilizan dos jácenas, y junto con la cubierta se puede decir que las jácenas forman un perfil de cajón. La cubierta aerodinámica comprende típicamente un laminado de plástico reforzado con fibra, fibra de vidrio y/u otros materiales.

15 La sección o secciones de la cubierta aerodinámica en las que se colocan las jácenas internas usualmente se refuerzan de alguna manera y en consecuencia a menudo son bastante gruesas. Las otras piezas o secciones de la cubierta aerodinámica son típicamente sólo una piel o laminado delgados, tal como una construcción tipo sándwich con pieles delgadas y un material de núcleo. Una pala se proporciona típicamente por encolado o adhesión o conectando de otro modo dos piezas de cubierta entre sí.

20 En funcionamiento, la pala se ve sometida a cargas en sentido del flap, en sentido del borde y de torsión. Por dirección en sentido del flap se entiende una dirección substancialmente perpendicular a un eje transversal a través de una sección transversal del lado más ancho de la pala. Como alternativa, la dirección en sentido del flap puede interpretarse como la dirección (o la dirección opuesta) en la que la sustentación aerodinámica actúa sobre el perfil. La dirección en sentido del borde es perpendicular a la dirección en sentido del flap. Las cargas en sentido del borde, aunque típicamente son más pequeñas que las cargas en sentido del flap, potencialmente pueden ocasionar daños a la pala, especialmente daños por fatiga y en última instancia llevar a un fallo de la pala.

25 Cuando la pala está sometida a carga en sentido del borde, la sección de la cubierta entre un borde de salida de la pala y la jácena interna se deforma afuera del plano "neutro" (o inicial) de la superficie, véase la Fig. 1. Esta deformación induce esfuerzos de despegue en el borde de salida de la pala y en consecuencia esto puede conducir a un fallo por fatiga en la unión adhesiva del borde de salida en la que se conectan entre sí las dos partes de cubierta. Esto puede ocasionar en última instancia que la pala se rompa. Por otra parte, se pone en riesgo la eficacia aerodinámica de la pala también dado que ya no se mantiene la forma del perfil de pala.

30 Las cargas en sentido del borde pueden hacer que el borde de salida de la pala se deforme en un patrón estable post-pandeo, véase la Fig. 2. Esto es ocasionado por la flexión de la pala desde el borde de ataque hacia el borde de salida. El material de la pala en el borde de ataque está sometido a tensión y en el borde de salida a compresión. Como el borde de salida es relativamente delgado, no puede soportar sustanciales fuerzas de compresión antes de que flecte fuera de su plano neutro. Cuando sucede esto, parte de la carga en el borde de salida se transfiere y se distribuye a través de parte de la cubierta alejándose más del borde de salida, hasta que se establece el equilibrio de las fuerzas. Aunque esta deformación no conduce inmediatamente a un fallo, disminuye el margen de seguridad de la carga de fallo general de la pala y también aumenta el esfuerzo de despegue y de cizalladura en el borde de salida.

40 Por otra parte, las cargas en sentido del borde puede inducir fuerzas de compresión en una sección de borde de ataque de la pala, y por lo tanto en el borde de ataque a menudo se proporciona una construcción tipo sándwich para aumentar la resistencia contra el pandeo, es decir, impedir que la superficie de la sección tenga pandeo fuera de su plano.

45 Sometida a cargas en sentido del flap, la sección de la cubierta aerodinámica entre el borde de salida y la jácena interna se deforma hacia fuera del plano de la posición "neutra" de la superficie de una manera similar a la descrita anteriormente para las cargas en sentido del borde. Esta deformación también induce esfuerzos de cizalladura y de despegue en el borde de salida de la pala. La sección se deformará hasta un estado de "el menor nivel de energía", es decir, una situación en donde tanto como sea posible del esfuerzo en la pala se distribuye a otras secciones de la pala. Cuando una parte de la cubierta se deforma de esta manera, se le suele hacer referencia como un "panel ineficaz". La distribución de los esfuerzos en otras partes de la pala significa que estas partes se ven sometidas a una mayor carga. Esto tendrá como resultado una mayor deflexión de la punta de la pala. Por otra parte, las deformaciones de la superficie de la pala ponen en peligro la eficacia aerodinámica de la pala, porque ya no se mantiene la forma diseñada del perfil.

55 Con cargas en sentido del flap, se produce una presión de aplastamiento (véase la Fig. 3) en el perfil de cajón de la pala debido a su curvatura longitudinal. Este efecto se denomina a menudo ovalamiento (se hace referencia al artículo "Structural testing and numerical simulation of a 34 m composite wind turbine blade" de F. M. Jensen et. al. publicado por Elsevier en Composite Structures 76 (2006) 52-61). La presión de aplastamiento carga la jácena interna a compresión (véase la Fig. 4). Las cargas en sentido del flap también inducen unas fuerzas de cizalladura

- 5 en un plano en la jácena interna. Durante el funcionamiento de la pala, se producen fuerzas de cizalladura transversales en la pala, como se muestra en la sección transversal de la pala (véase la Fig. 5). Las fuerzas de cizalladura son generadas por las cargas en sentido del flap y en sentido del borde porque la pala tiene una geometría y distribución del material asimétricos. Las fuerzas de cizalladura transversales distorsionan el perfil como se muestra en la Fig. 5. La distorsión del perfil reduce la resistencia de la pala a la presión de aplastamiento y puede ocasionar que la pala se chafe de repente.
- En el documento DE-A-3037 677 se describe una pala de aerogenerador que tiene unas placas internas de conexión.
- 10 Actualmente, existe de este modo la necesidad de una pala de aerogenerador en la que se eviten o minimicen las deformaciones de la cubierta y en donde la estructura de pala se fortalezca sin aumentar el peso total. También es deseable proporcionar mejoras en una pala con por lo menos una jácena interna que conduzcan a un aumento de la resistencia contra el pandeo por la presión de aplastamiento y la cizalladura en el plano con el fin de transportar las cargas en la pala.
- 15 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar una pala de aerogenerador con mayor resistencia contra las deformaciones de la cubierta.
- Otro objeto de la presente invención es proporcionar una pala de aerogenerador con mayor fortaleza y rigidez globales.
- Otro objeto de la presente invención es proporcionar una pala de aerogenerador con menor peso.
- 20 También es un objeto de la presente invención proporcionar una pala de aerogenerador con mejor fiabilidad de las uniones entre partes de cubierta.
- Otro objeto de la presente invención es proporcionar una pala de aerogenerador con una mejor transferencia de fuerzas en la transición entre la pala y la raíz circular.
- Otro objeto de la presente invención es proporcionar una pala de aerogenerador que se pueda producir con menor coste de fabricación en comparación con las soluciones existentes.
- 25 Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar una pala de aerogenerador con una mayor resistencia contra la presión de aplastamiento.
- Un nuevo objeto es proporcionar una pala de aerogenerador capaz de trabajar bajo cargas aerodinámicas fuertes y de optimizar eficiencia aerodinámica, p. ej., la producción de energía de la pala.
- 30 Otro objeto es proporcionar una pala de aerogenerador en donde se reduzcan las cargas inerciales dinámicas que aplica la pala en las otras partes estructurales de la construcción del aerogenerador.
- También un objeto de la presente invención es proporcionar alternativas a la técnica anterior.
- En particular, puede verse como un objeto de la presente invención proporcionar una pala de aerogenerador que resuelva los problemas mencionados antes de la técnica anterior al proporcionar a la pala un piso de refuerzo p. ej. tal como se describe mediante los ejemplos de la siguiente descripción.
- 35 Según un primer aspecto de la presente invención, los objetos mencionados y otros se cumplen mediante una pala de aerogenerador según la reivindicación 1.
- Según un segundo aspecto de la invención, los objetos mencionados y otros se cumplen mediante un método según la reivindicación 13.
- 40 El aerogenerador puede tener por ejemplo por lo menos un elemento con forma de placa conectado a una superficie interior de la cubierta en el borde de salida de la pala y a una superficie interior de la cubierta en el borde de ataque de la pala con el fin de evitar o reducir las deformaciones de la superficie de la pala, en particular las deformaciones ocasionadas por cargas en sentido del borde de la estructura de la pala.
- La pala de aerogenerador puede tener por lo menos una jácena interna y por lo menos un elemento con forma de placa conectado a una superficie interior de la cubierta y a la jácena interna.
- 45 Las conexiones entre la jácena interna y la superficie interior se pueden colocar en cualquier posición adecuada de las piezas. Preferiblemente, pero no exclusivamente, las conexiones pueden adaptarse en uno o más puntos, a lo largo de una o más líneas o con cualquier tipo de configuración espacial. Por otra parte, las conexiones pueden comprender cualquier tipo adecuado de unión mecánica, tal como soldado por fusión, pegado, derretido, fundido o cualquier otra conexión mecánica simple.

- La cuerda del perfil de la pala es una superficie imaginaria que contiene el borde de ataque y el borde de salida de la pala y se extiende entremedio. De este modo, según la presente invención, un elemento con forma de placa se extiende a lo largo o sustancialmente a lo largo de la cuerda del perfil de la pala. De este modo, una conexión entre uno del por lo menos un elemento con forma de placa y la respectiva de la por lo menos una jácena interna se ubica preferiblemente a una distancia más corta de la cubierta que es más de 0,16 veces, más preferiblemente más de 0,33 veces, la distancia total entre la parte superior de la cubierta y la parte inferior de la cubierta a lo largo de una extensión transversal de la respectiva jácena en la conexión. Por ejemplo, la conexión puede ubicarse a medio camino o aproximadamente a medio camino entre la parte superior de la cubierta y la parte inferior de la cubierta a lo largo de una extensión transversal de la respectiva jácena en la conexión.
- La por lo menos una jácena interna puede comprender una jácena cajón o una viga cajón. Los lados de la jácena cajón pueden variar de grosor en el sentido longitudinal y/o transversal y la forma y/o la longitud de perímetro de la sección transversal de la jácena también pueden variar a lo largo de su extensión longitudinal.
- Preferiblemente, la jácena cajón o la viga cajón tienen una sección transversal sustancialmente poligonal. La sección transversal de la jácena cajón o de la viga cajón puede tener cualquier forma poligonal, tal como sustancialmente rectangular, triangular, circular, oval, elíptica, etc. pero preferiblemente es rectangular o sustancialmente cuadrada.
- La cubierta de la pala puede comprender preferiblemente, pero no exclusivamente, un material compuesto o laminado. El material puede comprender preferiblemente, pero no exclusivamente, fibra de vidrio y/o fibras de carbono y/u otros materiales duraderos y flexibles típicamente con una alta relación fortaleza/peso, tal como otros materiales plásticos reforzados con fibra. Esto puede comprender, por lo menos en parte, metales o aleaciones de peso ligero. La cubierta puede ser típicamente una construcción laminada o tipo sándwich. El grosor de la cubierta puede variar a lo largo de su longitud y/o de su anchura.
- En una realización de la invención, se proporciona por lo menos una jácena para fortalecer y/o reforzar primariamente la pala en su dirección longitudinal y también puede denominarse como un alma. En esta aplicación la jácena o alma deben interpretarse como cualquier tipo de elemento constructivo alargado capaz de absorber cargas, tal como por ejemplo una viga o un mástil con forma p. ej. de perfil en I hecho preferentemente de plástico reforzado con fibra o de otro material adecuado.
- El alma puede extenderse sustancialmente a través de la longitud de la pala. Sin embargo, también puede preferirse proporcionar a la pala dos o más almas independientes en la dirección longitudinal de la pala, especialmente para facilitar el manejo y con el propósito de transporte. En principio, puede aplicarse cualquier número de almas, sin embargo en aras de la simplicidad y para mantener el peso total de la pala lo más bajo posible se prefiere una o dos almas. Preferiblemente, en una dirección perpendicular a su extensión longitudinal, cada jácena o alma de la por lo menos una jácena interna se extiende desde la parte inferior de la cubierta a la parte superior de la cubierta sustancialmente en sentido del flap y se conecta a la parte superior y a la parte inferior, respectivamente, de la cubierta. De este modo, en las realizaciones con una pluralidad de jácenas o almas, la cubierta se interconecta con las jácenas o almas.
- Puede conectarse por lo menos un elemento con forma de placa a la superficie interior de la cubierta y a la por lo menos un alma. La conexión a la superficie interior de la cubierta y en el alma puede colocarse en principio en cualquier lugar sobre la misma, pero cabe señalar que la colocación elegida hace que el elemento con forma de placa sea capaz de proporcionar un razonable y útil efecto de refuerzo en la pala. La conexión del elemento con forma de placa entre puntos de conexión de la superficie interior de la cubierta y el alma evita o minimiza las deformaciones problemáticas descritas anteriormente. Las conexiones pueden comprender cualquier tipo adecuado de unión, como soldado por fusión, pegado, derretido, fundido o conexiones mecánicas simples, tales como conexiones de tornillo y tuerca. El elemento con forma de placa en sí puede comprender las conexiones o puede comprender unas conexiones adicionales o piezas de conexión adaptadas para acoplarse o cooperar con otras conexiones.
- En unas realizaciones por lo menos un elemento con forma de placa se conecta a la superficie interior de la cubierta o en las inmediaciones de una parte de borde de salida y/o una parte de borde de ataque del perfil. Las partes de borde de salida y de ataque se indican y se ilustran en las figuras.
- En una realización con por lo menos una jácena interna, puede proporcionarse un elemento con forma de placa entre el borde de salida y la por lo menos una jácena interna. Si se proporciona más de una jácena interna, el elemento con forma de placa puede proporcionarse entre el borde de salida y la jácena interna o el alma más próxima al borde de salida. Por supuesto, entre el borde de ataque y la por lo menos una jácena interna también o en su lugar puede proporcionarse un elemento con forma de placa. Si se proporciona más de una jácena interna, el elemento con forma de placa puede proporcionarse entre el borde de ataque y la jácena interna o el alma más próxima al borde de ataque. Por supuesto, el elemento con forma de placa también puede proporcionarse entre el borde de salida y el de ataque y la una o más jácenas internas (respectivamente la más cercana). La una o más jácenas internas también pueden comprender una o más almas divididas o cortadas que se conectan al elemento o elementos con forma de placa mediante adhesión o laminación.

- 5 En otras realizaciones, una prolongación del borde de salida en la dirección hacia el borde de ataque se puede hacer sólida o, debido a consideraciones de fabricación, unas realizaciones pueden comprender una cavidad entre unas partes inferior y superior de cubierta y puede sujetarse una placa entre las dos partes algo prolongadas desde el borde de salida. La cavidad puede rellenarse de material ligero, tal como espuma. De ese modo, puede no ser posible sujetar el elemento con forma de placa directamente al borde de salida, sino en cambio a una parte de la cubierta, tan cerca del borde de salida como sea posible. Mediante la conexión del elemento con forma de placa a una parte de la cubierta cerca del borde de salida, en lugar de directamente al borde de salida, todavía se pueden obtener las ventajas mencionadas anteriormente.
- 10 En una realización, un solo elemento con forma de placa puede conectarse al borde de salida o de ataque y a la jácena interna. La jácena interna puede comprender una o más almas divididas o cortadas que se conectan al piso de refuerzo mediante adhesión o laminación. En unas realizaciones la por lo menos una jácena interna o alma tiene un perfil de cajón. El elemento con forma de placa puede proporcionarse entonces entre el borde de salida y/o el de ataque de la pala y el lateral del perfil de cajón más cercano al respectivo borde. El perfil de cajón puede estar formado por dos jácenas o almas junto con unas secciones de la cubierta o puede ser un perfil individual total de cajón.
- 15 El elemento con forma de placa puede ser sólido o hueco o cualquier combinación de los mismos. El grosor de la placa puede variar a lo largo de diversas secciones de la placa o puede tener un grosor sustancialmente igual en toda su superficie. Sin embargo, es necesario que el elemento de placa sea capaz de absorber las fuerzas de compresión en un plano en el piso, y el material y las dimensiones de la planta deben tener esta capacidad. El material puede ser preferiblemente, pero no exclusivamente, un material plástico reforzado de fibra u otro material, tal como metal, aleación metálica, madera, madera contrachapada, chapa, fibra de vidrio, fibra de carbono y otros materiales adecuados, tal como p. ej. uno o más materiales compuestos. El material plástico reforzado puede fabricarse a partir de materiales tales como, pero no limitados a, fibras de vidrio, fibras de carbono o fibras de aramida, que proporcionan de este modo una alta fortaleza y poco peso.
- 20 Los mencionados materiales también se pueden combinar con cualquier construcción. De este modo, en otra realización el por lo menos un elemento de refuerzo es una construcción laminada o tipo sándwich que tiene unas superficies exteriores relativamente duras y duraderas, tal como un plástico reforzado con fibra, y un núcleo interior de otro material, tal como, pero no limitado a, un material más blando y/o más ligero, tal como un material de espuma.
- 25 Además, el elemento de placa puede comprender uno o más refuerzos p. ej. para mantener la resistencia y la rigidez al tiempo que se minimiza el peso de la construcción. Los refuerzos pueden comprender cualquier forma y material adecuados, tal como varillas, barras, entramados o un material de plástico reforzado con fibra u otro material de peso ligero, tal como el aluminio.
- 30 Por otra parte, en unas realizaciones el elemento de placa puede comprender uno o más recortes para reducir el peso y/o aumentar la rigidez del elemento de placa. Los recortes se pueden proporcionar con cualquier patrón adecuado.
- 35 Mediante la conexión o el acoplamiento del borde de salida con el alma más cercana utilizando un piso de refuerzo que puede soportar fuerzas de compresión, se reducen las deformaciones en la cubierta entre el borde de salida y el alma ya que la mayor parte de las fuerzas que ocasionan las deformaciones son absorbidas por el piso de refuerzo y el alma y se distribuyen a través de estos. Esto reducirá las fuerzas potencialmente dañinas en la unión entre las partes de la cubierta, ya que las fuerzas se distribuyen hacia el piso y el alma.
- 40 Como se reducen las deformaciones, la cubierta se mantiene en su forma o posición originales con un grado mucho mayor. El resultado es que los paneles "ineficaces" de la cubierta llevan una mayor parte de la carga sobre la pala, y, de ese modo, disminuye la carga absorbida por otras partes de la pala. Esto tiene como resultado un aumento de la rigidez de la pala en la dirección en sentido del flap y disminuye de ese modo la deflexión de la punta. Junto con esto, se aumenta la eficiencia aerodinámica de la pala dado que el perfil de pala permanece más cerca de su forma diseñada originalmente.
- 45 El acoplamiento también aumentará la resistencia del borde de salida contra el pandeo debido a las cargas en sentido del borde porque las fuerzas dañinas se distribuyen en el alma a través del piso.
- 50 Como resultado de ello, la unión entre las partes de cubierta en el borde de salida se expone menos a fuerzas dañinas de despegue y de cizalladura y se puede reducir el peso de la pala dado que se necesita una construcción menos fuerte de la pala. El menor peso reduce las cargas inerciales dinámicas procedentes del funcionamiento de la pala en las otras partes de la estructura de aerogenerador. Por otra parte, se aumenta la eficiencia aerodinámica de la pala.
- 55 El elemento con forma de placa tiene un substancial efecto deseable en la rigidez en sentido del borde de la pala. Como se muestra antes, se evita la deformación de la cubierta, que en sí misma tiene un efecto positivo sobre la rigidez en sentido del borde, pero también transporta algunas de las cargas en sentido del borde. Esto quitará carga de otras partes de la pala, lo que significa que se aumenta substancialmente la rigidez en sentido del borde. Esta

mayor rigidez en sentido del borde proporciona una mayor frecuencia propia en sentido del borde. Una ventaja es que tienen una mayor frecuencia propia (*eigenfrequency*) en sentido del borde debido a que disminuye las cargas inerciales dinámicas que la pala está aplicando en la otra estructura del aerogenerador, debido a que el aumento de la frecuencia propia reduce la amplitud de las oscilaciones armónicas de la pala.

- 5 El elemento con forma de placa también reduce la distorsión por fuerza de cizalladura transversal del perfil de la pala, y esto aumenta la capacidad de la pala para absorber la presión de aplastamiento. Una vez más, esto ayuda a mantener el perfil de pala más cercano a su forma original y de este modo aumenta potencialmente la producción de potencia de la turbina.

10 Mediante la conexión o acoplamiento del borde de ataque con el alma más cercana utilizando un elemento con forma de placa que puede resistir las fuerzas de compresión, las cargas en el borde de ataque se distribuyen hacia el piso y al alma, reduciendo de ese modo las fuerzas potencialmente dañinas en la unión entre las partes de cubierta. El elemento con forma de placa estabiliza la cubierta en la sección de borde de ataque y en sus inmediaciones y aumenta la resistencia de la cubierta contra el pandeo en la sección de borde de ataque. Cuando se aumenta la resistencia al pandeo, se puede reducir el grosor del material laminado utilizado para la cubierta o, en las realizaciones en las que se proporciona una construcción tipo sándwich, puede reducirse el grosor del núcleo. En 15 unas realizaciones puede omitirse por completo el uso de una construcción tipo sándwich en la sección de borde de ataque de la cubierta y en su lugar puede utilizarse un solo tipo de material para el borde de ataque. Como resultado, el peso de la pala se puede reducir aún más sin poner en peligro la fortaleza y la rigidez, se proporciona una construcción más simple de la pala y en consecuencia puede producirse con un menor precio total.

20 Como resultado de la carga en sentido del flap, en las almas se genera presión de aplastamiento y fuerzas de cizalladura. Estas fuerzas pueden hacer que el alma se chafe, debido a que el alma pandea fuera del plano del alma. Cuando el alma pandea debido a la presión de aplastamiento, todo el lateral del alma flexa hacia fuera en una dirección. El pandeo debido a las fuerzas de cizalladura en el alma muestra un claro patrón de onda que flexa hacia fuera hacia un lado en una parte del alma y al otro lado en una parte vecina del alma. Cuando se conecta un 25 elemento con forma de placa a un alma (el alma hacia el borde de salida o el alma hacia el borde de ataque, en el caso de que se utilicen dos almas), soporta la parte del alma que trata de pandear y esto aumenta la resistencia del alma al pandeo, y por lo tanto en la construcción tipo sándwich en el alma se necesita un núcleo más delgado. Esto permitirá una reducción del peso de la pala, y una reducción de los costes de material.

30 En la parte inferior de la pala, comprende una transición desde un perfil aerodinámico ancho a una sección de raíz cilíndrica. La raíz es la parte de la pala que se monta en el eje de aerogenerador. En esta parte de la pala, un elemento con forma de placa en el borde de salida es una estructura muy eficiente para la transferencia de esfuerzos desde la cubierta de pala a la raíz cilíndrica circular. De ese modo, se reducen significativamente los esfuerzos en la sección de borde de salida en la parte de la pala proximal a la raíz y se minimiza el riesgo de fallo en la conexión entre las partes de cubierta en el borde de salida de la pala.

35 Por otra parte, una conexión o acoplamiento de los bordes de salida y de ataque con el alma aumentará la rigidez a la torsión de la pala. Esto a su vez aumentará la frecuencia propia a torsión de la pala y a su vez disminuye las cargas inerciales dinámicas que la pala está aplicando en la otra estructura del aerogenerador, debido a que el aumento de la frecuencia propia a torsión reduce la amplitud de las oscilaciones armónicas de la pala.

40 En unas realizaciones, los elementos con forma de placa que se utilizan en la conexión o acoplamiento entre los bordes de salida y/o de ataque y el alma pueden adaptarse especialmente de modo que se acopla la flexión y la torsión de la pala. Esto se utiliza para absorber la carga de la pala cuando se producen fuertes ráfagas de viento. Esto conduce a bajar las cargas de fatiga en la pala y también a facilitar una mayor producción de energía del aerogenerador.

45 Más adelante se describirá la invención con mayor detalle haciendo referencia a los ejemplos de realizaciones ilustrados en los dibujos, en donde

La Fig. 1 es una vista esquemática de una sección transversal de una pala de aerogenerador que indica una deformación de la cubierta de pala (o panel) entre un borde de salida y una jácena interna/alma debido a cargas en sentido del flap,

50 La Fig. 2 es una vista esquemática en perspectiva de una pala de aerogenerador que indica una deformación en un borde de salida de la pala en forma de patrón de pandeo ocasionado por la carga en sentido del borde que también se indica,

La Fig. 3 es una vista esquemática de una sección transversal de una pala de aerogenerador que indica la presión de aplastamiento en la pala por el momento de flexión que actúa en la pala durante el funcionamiento,

55 La Fig. 4 es una vista esquemática de una parte de la sección transversal de una pala de aerogenerador, que muestra en particular un alma en forma de un perfil de cajón y que indica la potencial deformación (ovalamiento) ocasionada por la presión de aplastamiento (el estado de deformación se muestra como líneas discontinuas),

- La Fig. 5 es una vista esquemática en perspectiva de una pala de aerogenerador que indica las deformaciones ocasionadas por la influencia de las fuerzas de cizalladura transversales en el perfil de pala,
- 5 La Fig. 6 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas y un elemento con forma de placa desde una sección de borde de salida al alma más cercana y conectada mediante adhesión,
- La Fig. 7 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas y un piso de refuerzo que se extiende desde una posición en las inmediaciones (cerca) del borde de salida al alma más cercana y conectada por laminación,
- La Fig. 8 es una vista en perspectiva de la realización mostrada en la Fig. 7,
- 10 La Fig. 9 es una vista esquemática en sección transversal en la raíz de la realización también mostrada en las Figs. 7 y 8,
- La Fig. 10 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas y un elemento con forma de placa que se extiende desde un borde de ataque al alma más cercana,
- 15 La Fig. 11 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas y dos elementos con forma de placa, uno se extiende desde un borde de salida y uno se extiende desde un borde de ataque a su respectiva alma más cercana,
- La Fig. 12 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con un alma y dos elementos con forma de placa, uno se extiende desde un borde de salida y uno se extiende desde un borde de ataque a cada lado del alma,
- 20 La Fig. 13 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas, cada una dividida en dos, y un solo elemento con forma de placa desde un borde de salida a un borde de ataque de la pala,
- La Fig. 14 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas y dos elementos con forma de placa, uno se extiende desde un borde de salida y uno se extiende desde un borde de ataque a cada una de las almas,
- 25 La Fig. 15 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala con dos almas y un elemento con forma de placa que se extiende entre las dos almas,
- La Fig. 16 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada de aerogenerador según la invención que muestra la pala sin almas y un elemento con forma de placa que se extiende desde un borde de salida a un borde de ataque,
- 30 La Fig. 17 muestra la deformación de una pala convencional de aerogenerador en un sector cerca de la mitad de la pala,
- La Fig. 18 muestra la deformación de una pala de aerogenerador según la invención en un sector cerca de la mitad de la pala,
- 35 La Fig. 19 muestra la deformación de una pala convencional de aerogenerador en un sector cerca de la raíz de la pala, y
- La Fig. 20 muestra la deformación de una pala de aerogenerador según la invención en un sector cerca de la raíz de la pala.
- 40 Ahora se describirá la presente invención con más detalle en lo sucesivo haciendo referencia a los dibujos acompañantes, en los que se muestran unos ejemplos de realizaciones de la invención. La invención puede, sin embargo, plasmarse de formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones expuestas en esta memoria. En cambio, estas realizaciones se proporcionan de modo que esta descripción sea metódica y completa, y expresará plenamente el alcance de la invención para los expertos en la técnica. Las figuras son esquemáticas y simplificadas por motivos de claridad, y muestran meramente los detalles que son esenciales para el entendimiento de la invención, mientras que otros detalles se han quedado fuera. En todo momento, se utilizan los mismos números de referencia para partes idénticas o correspondientes.
- 45 La Fig. 1 muestra una sección transversal de una pala 1 de aerogenerador, que indica (mediante una línea discontinua) una deformación de la cubierta (o panel) de pala 2 entre un borde de salida 4 y una jácena interna/alma 5 debido a las cargas en sentido del flap procedentes de las fuerzas de inercia y de aerodinámica en la pala durante el funcionamiento. La dirección en sentido del flap se ilustra con una flecha A en la Fig. 3. La cubierta 2 mostrada en esta realización comprende dos partes de cubierta, designadas en este ejemplo como parte superior 6 y parte
- 50

inferior 7. La parte superior y la inferior de cubierta se conectan por adhesión en las uniones 8 y 9 (no se indican), preferiblemente en de los bordes de ataque y de salida 3 y 4, o cerca de ellos, respectivamente, de la pala.

5 La Fig. 2 muestra una vista en perspectiva de una pala 1 de aerogenerador que indica una deformación (dibujada exagerada en aras de la claridad) en el borde de salida 4 de la pala en forma de patrón de pandeo ocasionado por la carga en sentido del borde indicada por la flecha F.

10 La Fig. 3 muestra una sección transversal principal de una pala 1 de aerogenerador que tiene una cubierta 2 y con el borde de ataque 3 y el borde de salida 4. También se indica un perfil de cajón "compuesto por" dos almas 5 y las secciones 10 y 11 de la cubierta 2 ubicadas entre las almas. Las fuerzas de inercia y de aerodinámica que trabajan sobre una pala en funcionamiento inducen un momento de flexión en la pala y crean una presión de aplastamiento indicada por las flechas B. La presión de aplastamiento también se denomina como el efecto Brazier (se hace referencia al artículo "Structural testing and numerical simulation of a 34 m composite wind turbine blade" de F. M. Jensen et. al. publicado por Elsevier en Composite Structures 76 (2006) 52-61). La dirección en sentido del flap se ilustra con la flecha A.

15 La Fig. 4 muestra una vista esquemática parcial de una sección transversal de la pala 1. La pala se muestra en un estado cargado u ovalado, indicado por la línea discontinua. La figura también indica una sección transversal de la pala en una posición neutra o descargada (línea continua). La figura está destinada a apoyar el entendimiento de cómo las fuerzas en la pala hacen variar su perfil/forma en sección transversal. La exposición repetida a ovalamiento se añade para fatigar la estructura de la pala en el tiempo.

20 La Fig. 5 se divide en dos vistas esquemáticas en perspectiva de una pala 1 de aerogenerador. La Fig. 5a indica las fuerzas de cizalladura transversas (flechas C) en el perfil de pala y la Fig. 5b indica en principio el perfil deformado resultante de la pala por la influencia de las fuerzas de cizalladura transversas. La pala 1 se ilustra como "retorcida a derechas" por las fuerzas transversas.

25 La Fig. 6 muestra una sección transversal de una pala reforzada 20 de aerogenerador según la invención en la que la pala 20 tiene dos almas 25. Junto con la cubierta 22, las jácenas forman un perfil de cajón. La parte superior y la inferior del perfil de cajón a menudo se denominan las tapas. Las tapas siguen la forma curvada aerodinámica de la cubierta 22 y, por lo tanto, tienen una curvatura transversa. Las tapas están reforzadas. Por otra parte, la cubierta aerodinámica es típicamente sólo una piel o laminado delgadas, tal como una construcción en sándwich con pieles delgadas y un material de núcleo.

30 Además la pala 20 tiene un elemento con forma de placa que se extiende desde el borde de salida 24 a la más cercana de las almas 25b. En la realización ilustrada, la cubierta 22 de pala tiene una parte superior 26 y una parte inferior 27. Las piezas se conectan entre sí por adhesión con unos medios adecuados de adhesión en las uniones de conexión 28 y 29 o en las inmediaciones (cerca o proximales) del borde de ataque 23 y el borde de salida 24, respectivamente. En la realización ilustrada, el piso 15 se conecta con la sección 24 de borde de salida y el alma 25b por medio de adhesión 30 y, preferiblemente, la conexión 33 del piso 15 con el alma 25b se ubica sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20.

40 La Fig. 7 muestra una sección transversal de una pala reforzada 20 de aerogenerador según la invención, en la que la pala 20 tiene dos almas 25 y un elemento con forma de placa 15 que se extiende desde una posición en la superficie interior de la cubierta 22 de pala en las inmediaciones del borde de salida 24 y a la más cercana de las almas 25b. En la realización ilustrada, la cubierta 22 de pala tiene una parte superior 26 y una parte inferior 27. Las partes superior e inferior 26, 27 se conectan entre sí por adhesión con unos medios adecuados de adhesión en las uniones de conexión 28 y 29 o en las inmediaciones (cerca o proximales) del borde de ataque 23 y el borde de salida 24, respectivamente. En esta figura en particular, el piso 15 se conecta con la parte inferior 27 de la cubierta en las inmediaciones de la sección 24 de borde de salida y al alma 25b mediante unos medios de laminación 31 y, preferiblemente, la conexión 33 del piso 15 con el alma 25b se ubica sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20.

50 Por supuesto en cualquiera de las realizaciones descritas en esta solicitud, entre el piso de refuerzo 15 y el alma 25, entre el piso de refuerzo 15 y la superficie interior de la cubierta 22 o entre el alma 25 y la superficie interior de la cubierta 22 puede aplicarse cualquier medio de conexión o método adecuados, especialmente, aunque no exclusivamente, adhesión, laminado y medios mecánicos.

55 La Fig. 8 muestra en perspectiva la realización de la Fig. 7. Para todas las realizaciones, el elemento con forma de placa puede extenderse sustancialmente por toda la extensión longitudinal de la pala 20 o a lo largo de sustancialmente toda la extensión longitudinal de la jácena o alma 25 o el piso puede extenderse a lo largo de una parte de la extensión longitudinal de la pala. Además, el piso puede dividirse en varias secciones en la dirección longitudinal de la pala. El efecto de refuerzo del piso tiende a aumentar hacia la raíz de la pala 20 y disminuye hacia la punta de la pala 20.

La Fig. 9 muestra la sección transversal de la pala 20 de las Figs. 7 y 8 en la raíz de la pala 20.

Cabe señalar que el punto de conexión 32 del elemento con forma de placa 15 con la parte inferior 27 de la cubierta 22 en el borde de salida 24 se ubica por debajo de la unión de conexión 29 de la parte superior 26 de la cubierta 22 en una posición de distancia mínima desde el borde de salida 24 a la conexión 33 del piso 15 con el alma 25b para reforzar al máximo la pala 20.

5 La Fig. 10 muestra una sección transversal de otra realización de una pala 20 de aerogenerador según la invención que comprende dos almas 25 y un elemento con forma de placa 15 que se extiende desde el borde de ataque 23 a la más cercana de las almas 25. La sección 29 de la cubierta 22 de pala que forma el borde de ataque 23 está de ese modo reforzada, de modo es considerablemente más delgada que en las palas existentes de aerogeneradores, reduciendo de ese modo el peso de la pala 20. Preferiblemente, la conexión 34 del elemento con forma de placa 15 con el alma 25a se ubica sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20.

15 La Fig. 11 muestra una sección transversal de incluso otra realización de una pala 20 de aerogenerador según la invención que comprende dos almas 25 y dos elementos con forma de placa 15a, 15b. Se proporciona un primer piso de refuerzo 15a entre el borde de ataque 23 y el alma 25a más cercana al mismo, y se proporciona un segundo elemento con forma de placa 15b entre el borde de salida 24 y el alma 25b más cercana al mismo. En unas realizaciones, el elemento con forma de placa 15b puede conectarse a la sección 24 de borde de salida en la unión de conexión 29 entre las partes superior e inferior de cubierta 22. En este tipo de realización las tres partes 26, 27 y 15b se adhieren juntas. En otras realizaciones, el elemento con forma de placa 15b se conecta a la parte superior 26 o preferiblemente a la parte inferior 27 de la cubierta 22 en las inmediaciones (más cerca proximal) de la sección 24 de borde de salida. Preferiblemente, la conexión 34 del elemento con forma de placa 15a al alma 25a se encuentra sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20; y, preferiblemente, la conexión 33 del elemento con forma de placa 15b al alma 25b se encuentra sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20.

25 La Fig. 12 muestra una sección transversal de una realización en la que la pala 20 de aerogenerador comprende una sola alma 25 y dos elementos con forma de placa 15a, 15b. Un primer elemento reforzado con forma de placa 15a se extiende desde una posición sobre la superficie interior de la cubierta 22 en las inmediaciones del borde de ataque 23 a un primer lado del alma 25 y un segundo elemento con forma de placa 15b se extiende desde una posición sobre la superficie interior de la cubierta 22 en las inmediaciones o en el borde de salida 24 a un segundo lado del alma 25. Preferiblemente, la conexión 34 del elemento con forma de placa 15a al alma 25 se encuentra sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20; y, preferiblemente, la conexión 33 del elemento con forma de placa 15b al alma 25 se encuentra sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20.

35 La Fig. 13 muestra otra vista en sección transversal de una realización de una pala 20 de aerogenerador que comprende dos almas 25 y un solo elemento con forma de placa 15 que se extiende desde una posición en las inmediaciones de la unión de conexión 28 en la sección 23 de borde de ataque a una posición en las inmediaciones de las uniones de conexión 29 en la sección 24 de borde de salida de la pala 20. Las almas 25 se dividen en dos y topan con el elemento con forma de placa 15 en ambos lados del mismo.

40 La Fig. 14 muestra otro ejemplo de una sección transversal de una realización en la que la pala 20 de aerogenerador comprende dos almas 25 divididas en dos (25c y 25d) y dos elementos con forma de placa 15a y 15b adicionales. Un primer elemento con forma de placa 15a se extiende desde una posición sobre la superficie interior de la cubierta 22 en las inmediaciones del borde de ataque 23 a las almas 25c y un segundo elemento con forma de placa 15b se extiende desde una posición sobre la superficie interior de la cubierta 22 en las inmediaciones o en el borde de salida 24 a las almas 25d. Preferiblemente, los elementos con forma de placa 15a, 15b se extienden a lo largo de unas superficies planas sustancialmente coincidentes.

45 La Fig. 15 es una vista esquemática en sección transversal de una pala reforzada 20 de aerogenerador según la invención con dos almas 25a, 25b y un elemento con forma de placa 15 que se extiende entre las dos almas 25a, 25b. Preferiblemente, la conexión 34 del elemento con forma de placa 15a al alma 25 se encuentra sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20; y, preferiblemente, la conexión 33 del piso 15b al alma 25 se encuentra sustancialmente a medio camino entre la parte superior 26 y la parte inferior 27 de la cubierta 22 para reforzar al máximo la pala 20. El elemento con forma de placa 15 también puede extenderse a lo largo de un plano que interconecta el borde de salida 24 y el borde de ataque 23 de la pala 20.

55 Una fuerza en la dirección en sentido del flap aplicada a las tapas entre las dos almas 25 insta a las tapas hacia el volumen interior de la cubierta 22 y también insta a las dos conexiones 33, 34 a que se alejen entre sí. Sin embargo, el elemento con forma de placa mantiene las dos conexiones 33, 34, en unas posiciones de manera sustancial mutuamente fijas y, de este modo, evita que la distancia entre las conexiones 33, 34 aumente o disminuya fortaleciendo de ese modo la pala 20 contra las fuerzas en sentido del flap. De este modo, el elemento con forma de placa 15 tiene deseablemente una alta rigidez.

60

En una realización en donde al fuerza en sentido del flap aumenta la distancia entre las conexiones 33, 34, el elemento con forma de placa 15 tiene deseablemente una alta fortaleza a tensión a la vez que el elemento con forma de placa 15 no tiene por qué ser capaz de resistir las fuerzas de compresión.

5 El elemento con forma de placa puede ser sólido o hueco o cualquier combinación de los mismos. El material de la placa puede comprender cualquiera entre metal, aleación de metal, madera, madera contrachapada, chapa, fibra de vidrio, fibra de carbono y otros materiales adecuados, tal como p. ej. uno o más materiales compuestos. El elemento se puede proporcionar también como una malla o red que comprende uno o varios de alambres, cuerdas, cables, hilos o fibras. Como alternativa, el elemento de placa también puede comprender un material textil o de tela. El material de tela puede fabricarse a partir de materiales tales como, pero no limitados a, fibras de carbono o fibras de aramida, que proporcionan de este modo una alta fortaleza y poco peso. Cuando sea adecuado, también puede utilizarse fibra de vidrio.

Los mencionados materiales también se pueden combinar con cualquier construcción. De este modo, en otra realización el por lo menos un elemento de refuerzo es una construcción laminada o tipo sándwich.

15 Con el fin de obtener una alta resistencia contra las fuerzas en sentido del flap, el elemento con forma de placa 15 también tiene una alta fortaleza contra las fuerzas de compresión. En este caso, las almas 25a, 25b y el elemento con forma de placa 15 cooperan para formar un perfil en I, en donde el piso 15 forma del cuerpo del perfil en I. El perfil en I formado tiene una alta rigidez contra las fuerzas de flexión en la dirección en sentido del borde de la pala 20.

20 Se analizó una realización de la invención con respecto al aumento de fortaleza en comparación con una pala convencional de aerogenerador utilizando una prueba experimental de subestructura realizada en una parte de la jácena que soporta la carga de pala de aerogenerador de 34 m aerogenerador diseñada para el uso en un aerogenerador de 1,5 MW.

25 La prueba se describe en "Experimental and numerical analysis of a wind turbine blade cross section - Under lateral load conditions". Rune F. Nielsen. Student Report (special course) - Technical University of Denmark and Risø National Laboratory. (Diciembre de 2006).

En esta realización la invención evita que las almas de la jácena se chafen por la presión de aplastamiento inducida por las fuerzas de inercia y de aerodinámica que trabajan sobre una pala en funcionamiento.

Los resultados mostraron un aumento de más del 50% de la presión final de aplastamiento que el alma puede resistir en comparación con una jácena cajón convencional.

30 La Fig. 16 muestra una sección transversal de todavía otra realización de la invención en la que la pala 20 de aerogenerador comprende una cubierta 22 sin almas y con un elemento con forma de placa 15 que se extiende desde una posición en la superficie interior de la cubierta 22 en las inmediaciones del borde de salida 24 a una posición en la superficie interior de la cubierta 22 en las inmediaciones del borde de ataque 23. El elemento con forma de placa 15 tiene una alta rigidez contra las fuerzas de flexión en la dirección en sentido del borde de la pala 20. Se analizó una realización de la invención con respecto al aumento de fortaleza en comparación con una pala convencional de aerogenerador utilizando un modelo numérico de pala de aerogenerador de 34 m aerogenerador diseñada para el uso en un aerogenerador de 1,5 MW.

40 El análisis numérico incluía análisis de elementos finitos de un modelo que contenía más de 150.000 elementos de cubierta y 3D. Se utilizó software y algoritmos avanzados en el análisis para tener en cuenta el efecto de las deformaciones geométricas no lineales.

45 El modelo de la pala ha sido verificado con una prueba a escala real de la pala "Structural testing and numerical simulation of a 34 m composite wind turbine blade" de F. M. Jensen et. al. publicado por Elsevier en Composite Structures 76 (2006) 52-61). La pala se cargó en la dirección en sentido del borde con cargas que eran similares a las cargas de certificación de la pala. Las cargas combinadas en la dirección en sentido del flap y en la dirección en sentido del borde eran unas cargas que debían simular a las cargas en funcionamiento de la pala.

50 El análisis mostró una significativa reducción de la deformación en la sección de borde de salida de la cubierta cuando la pala se equipa con la invención, tanto en las cargas en sentido del borde como en una combinación de cargas en sentido del flap y en sentido del borde. Las Figs. 17 y 18 muestran los resultados del análisis de un sector cerca de la mitad de la pala, y las Figs. 19 y 20 muestran los resultados del análisis de un sector cerca de la raíz de la pala.

La reducción de la deformación de la sección de cubierta reduce los esfuerzos de despegue en el borde de salida de la pala y, por lo tanto, mejora la fiabilidad de la unión adhesiva del borde de salida.

Por otra parte, también se ha mejorado la eficacia aerodinámica de la pala dado que se mantiene en mayor medida la forma diseñada de la pala.

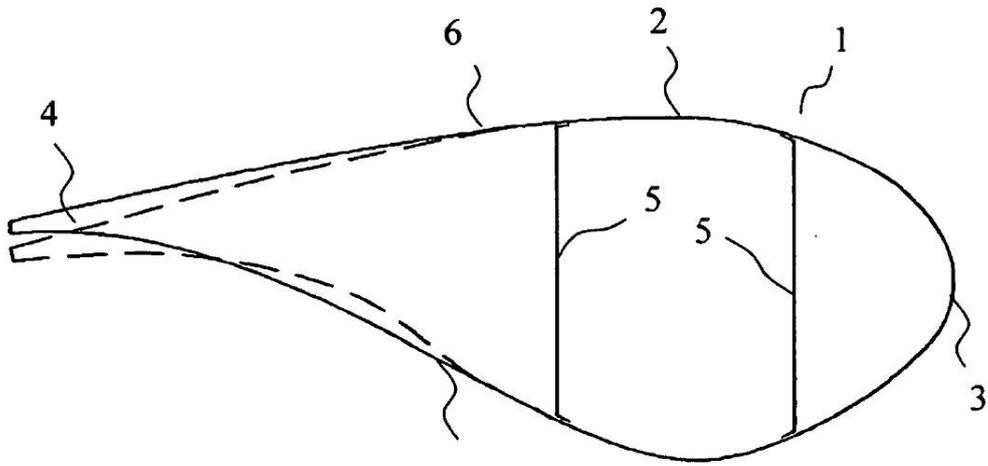
Por otra parte, el análisis mostró una reducción significativa de la distorsión del perfil y esto aumenta la resistencia de la pala a la presión de aplastamiento y aumenta de ese modo la fortaleza última de la pala de aerogenerador.

Aunque la presente invención se ha descrito en relación con las realizaciones especificadas, no debe interpretarse en modo alguno como limitada a los ejemplos presentados. El alcance de aplicación de la presente invención está definido por el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

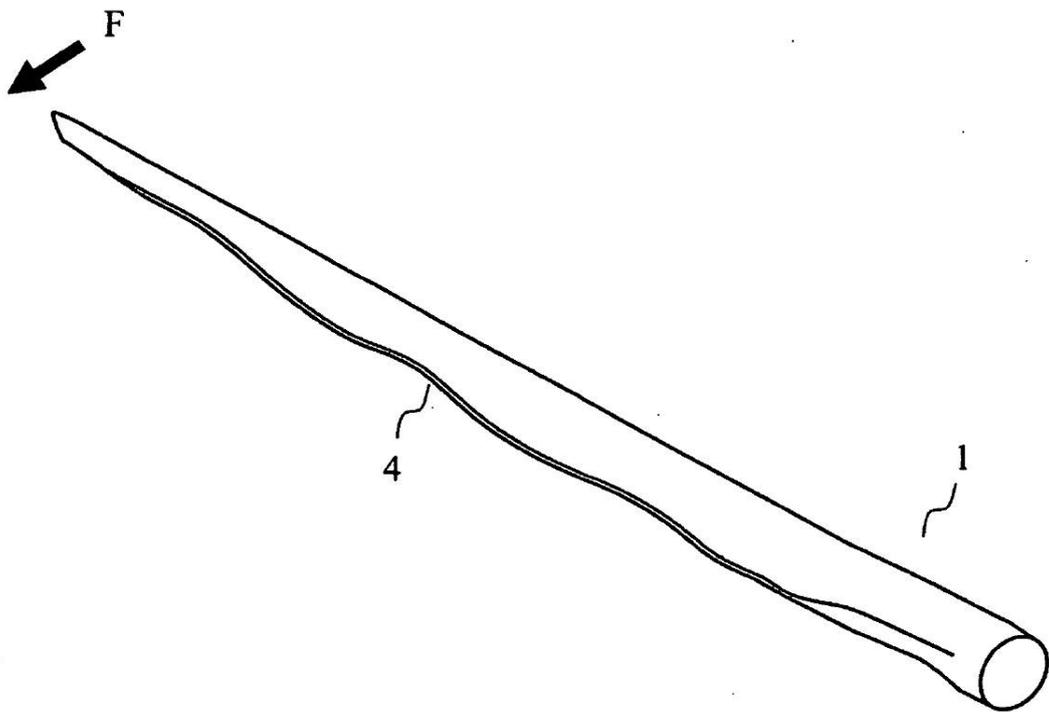
5

**REIVINDICACIONES**

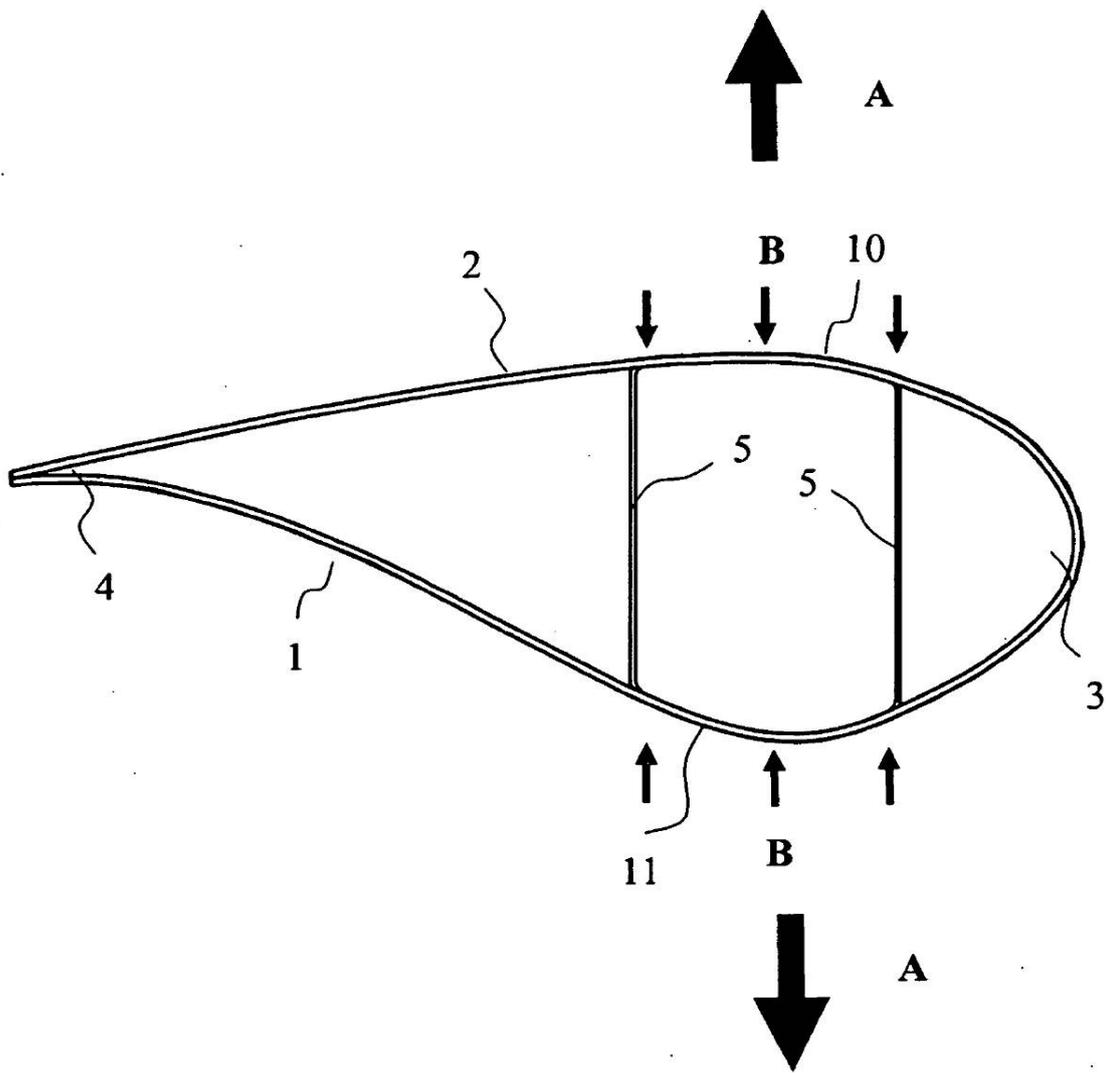
1. Una pala de aerogenerador que comprende una cubierta que tiene una sección con un perfil aerodinámico, y por lo menos un elemento con forma de placa conectado dentro de la cubierta para aumentar la resistencia de la pala y que se extiende sustancialmente a lo largo de la cuerda del perfil de la pala.
2. Una pala de aerogenerador según la reivindicación 1, en donde el por lo menos un elemento con forma de placa se conecta a una superficie interior de la cubierta en el borde de salida o el borde de ataque de la pala.
3. Un aerogenerador según la reivindicación 2, en donde el por lo menos un elemento con forma de placa se conecta a la superficie interior de la cubierta en el borde de salida de la pala.
4. Una pala de aerogenerador según la reivindicación 3, en donde la cubierta tiene una sección de raíz cilíndrica para el montaje de la pala en el árbol del aerogenerador, y en donde el por lo menos un elemento con forma de placa se conecta a la superficie interior de la cubierta en el borde de salida junto con por lo menos una parte de la transición entre la cubierta con el perfil aerodinámico y la sección de raíz.
5. Una pala de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una jácena y en donde el por lo menos un elemento con forma de placa se conecta a la por lo menos una jácena interna.
6. Una pala de aerogenerador según la reivindicación 5 dependiente de la reivindicación 4, en donde el por lo menos un elemento con forma de placa se conecta a la superficie interior de la cubierta en la sección de raíz con una distancia mínima entre la conexión en el borde de salida y la conexión en la por lo menos una jácena.
7. Una pala de aerogenerador según la reivindicación 5, en donde una conexión entre uno del por lo menos un elemento con forma de placa y el respectivo de la por lo menos una jácena interna se ubica con una distancia más corta a la cubierta que es más de 0,16 veces la distancia total entre la parte superior de la cubierta y la parte inferior de la cubierta a lo largo de una extensión transversal de la respectiva jácena que comprende la conexión.
8. Un aerogenerador según la reivindicación 5 o 6, que comprende una primera y una segunda jácena, y en donde uno del por lo menos un elemento con forma de placa se conecta con la primera y la segunda jácena.
9. Un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el por lo menos un elemento con forma de placa comprende un material textil o de tela de alta resistencia a la tensión sin la capacidad de resistir las fuerzas de compresión.
10. Un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde por lo menos una parte del elemento con forma de placa tiene una construcción laminada.
11. Un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8 o 10, en donde el elemento con forma de placa comprende uno o más refuerzos.
12. Un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8 o 11, en donde el elemento con forma de placa está provisto de uno o más recortes.
13. Un método para aumentar la fortaleza de una pala de aerogenerador que tiene una cubierta con una sección que tiene un perfil aerodinámico, el método comprende la etapa de colocar y conectar por lo menos un elemento con forma de placa dentro de la cubierta para la extensión sustancialmente a lo largo de la cuerda del perfil de la pala.
14. Un método según la reivindicación 13, en donde la etapa de colocación y conexión incluye la conexión de por lo menos un elemento con forma de placa a la superficie interior de la cubierta en el borde de ataque de la pala.
15. Un método según la reivindicación 14, en donde la cubierta tiene además una sección de raíz cilíndrica para el montaje de la pala en el árbol del aerogenerador, y en donde el método comprende además la etapa de conectar el por lo menos un elemento con forma de placa a la superficie interior de la cubierta en el borde de salida a lo largo de por lo menos una parte de la transición entre la sección de la cubierta con el perfil aerodinámico y la sección de raíz.



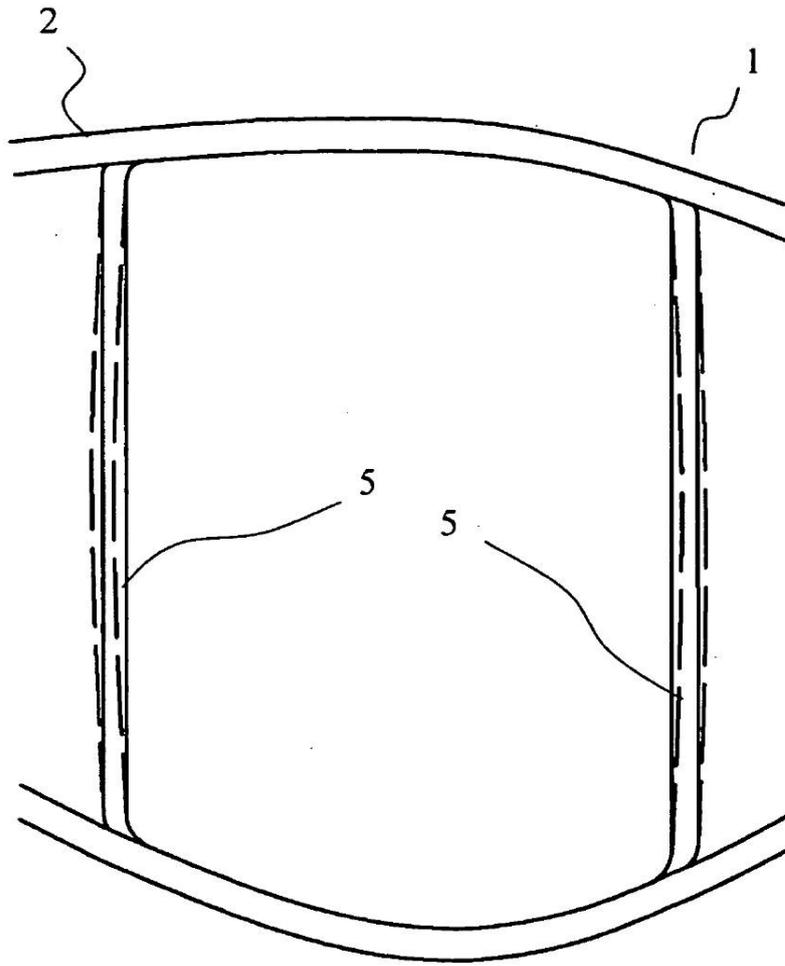
**Fig. 1**



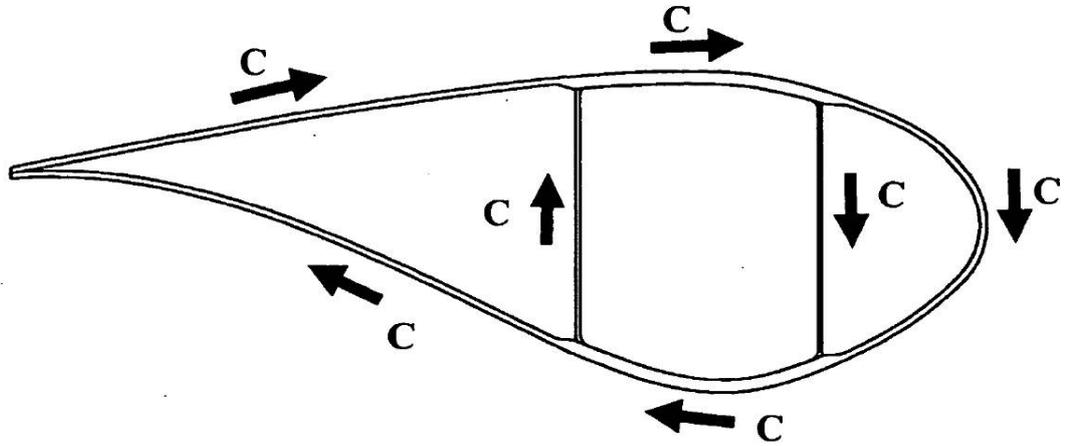
**Fig. 2**



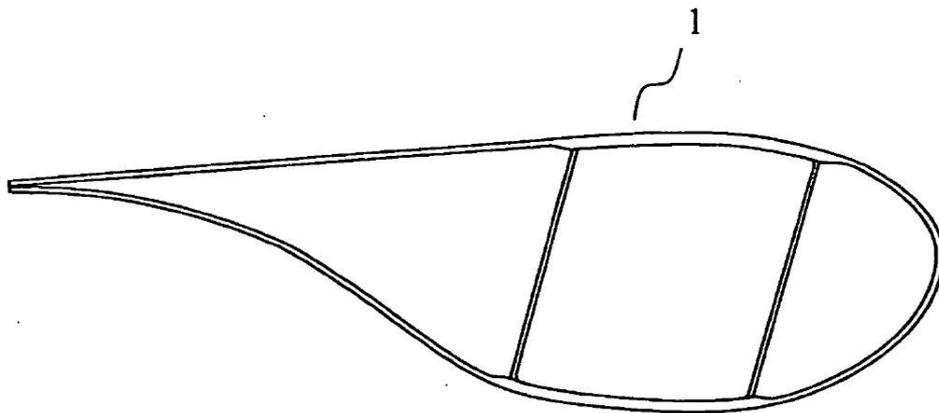
**Fig. 3**



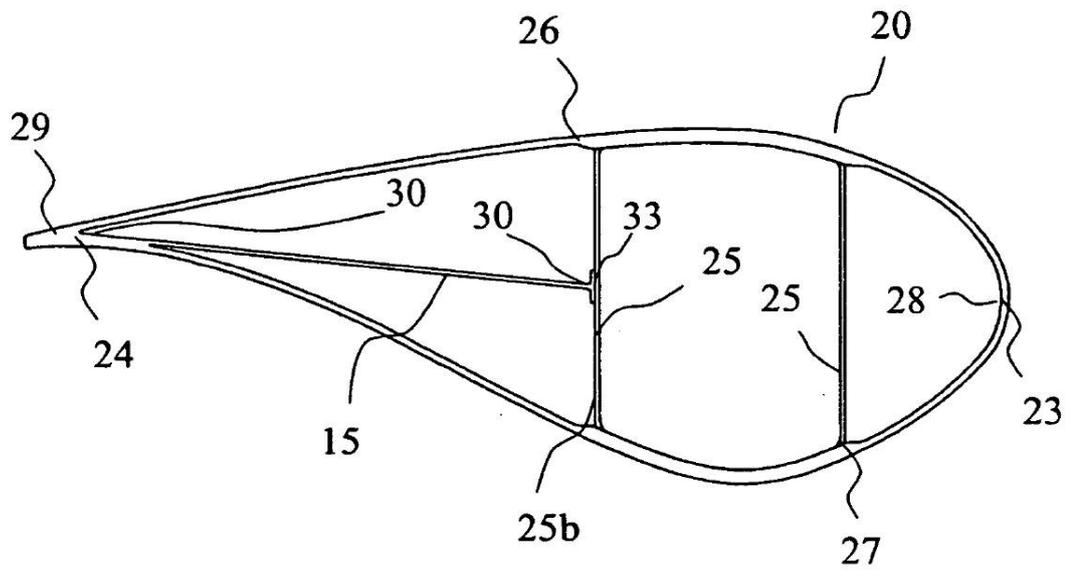
**Fig. 4**



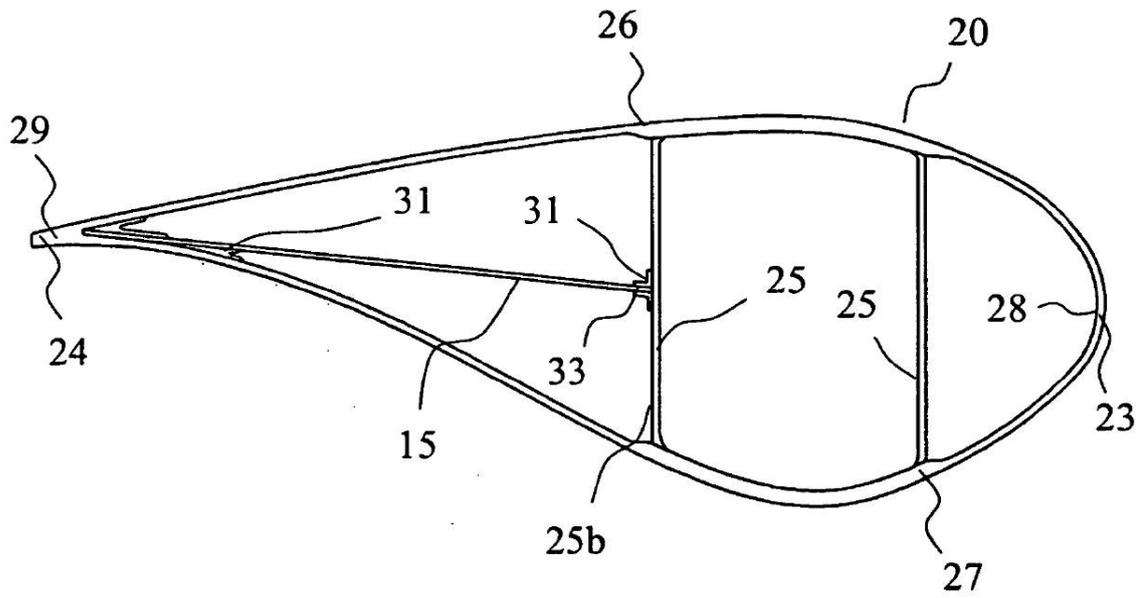
**Fig. 5a**



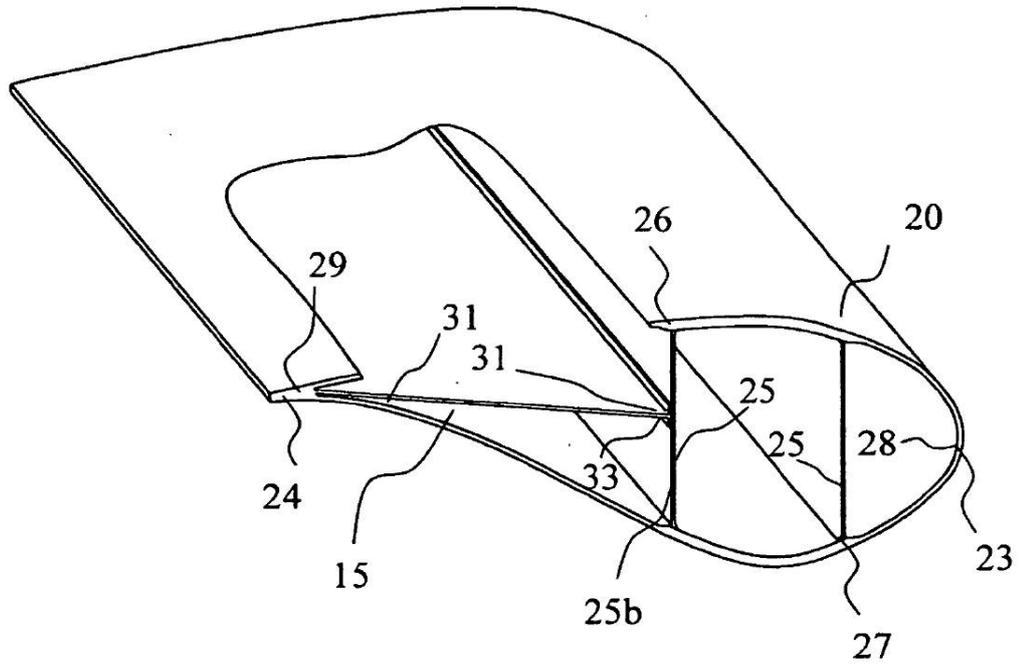
**Fig. 5b**



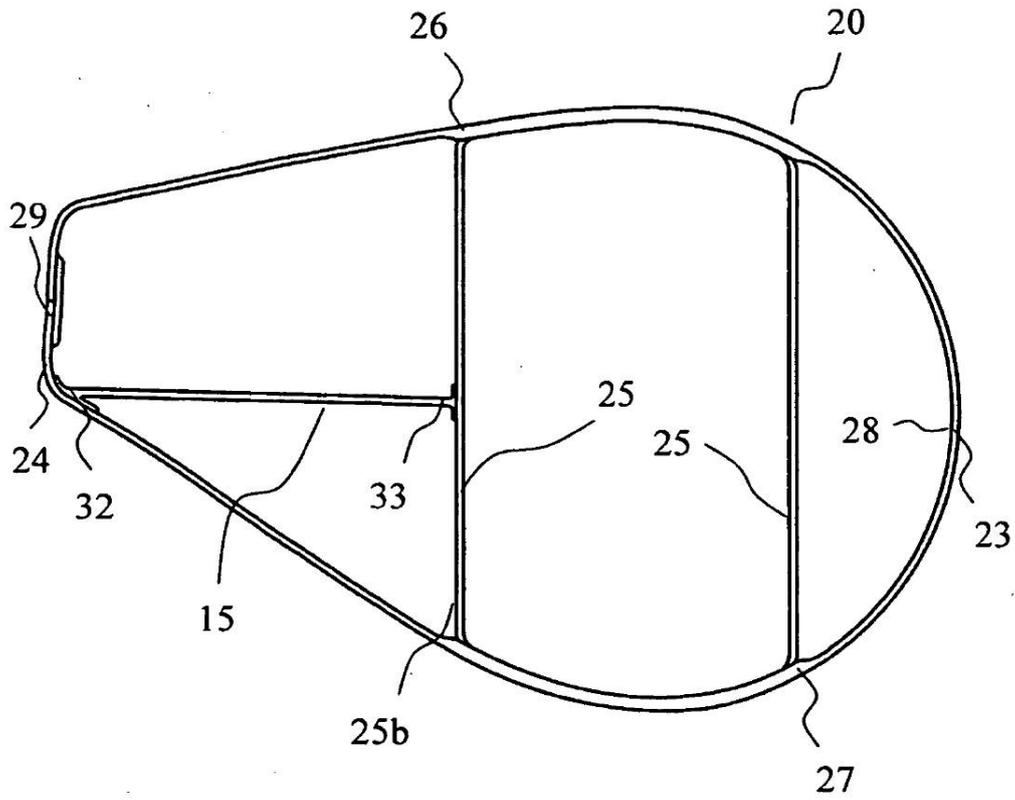
**Fig. 6**



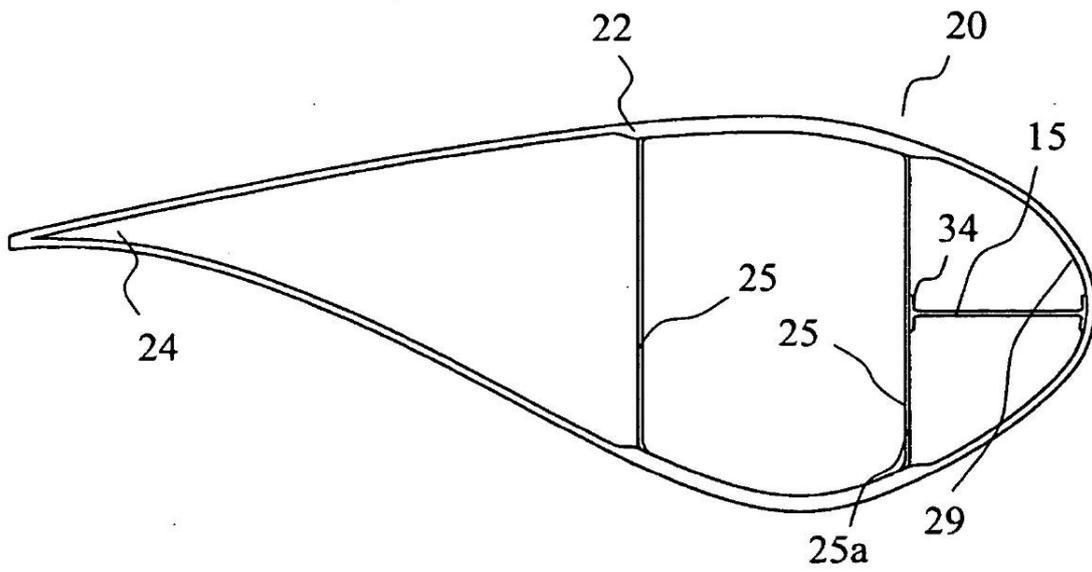
**Fig. 7**



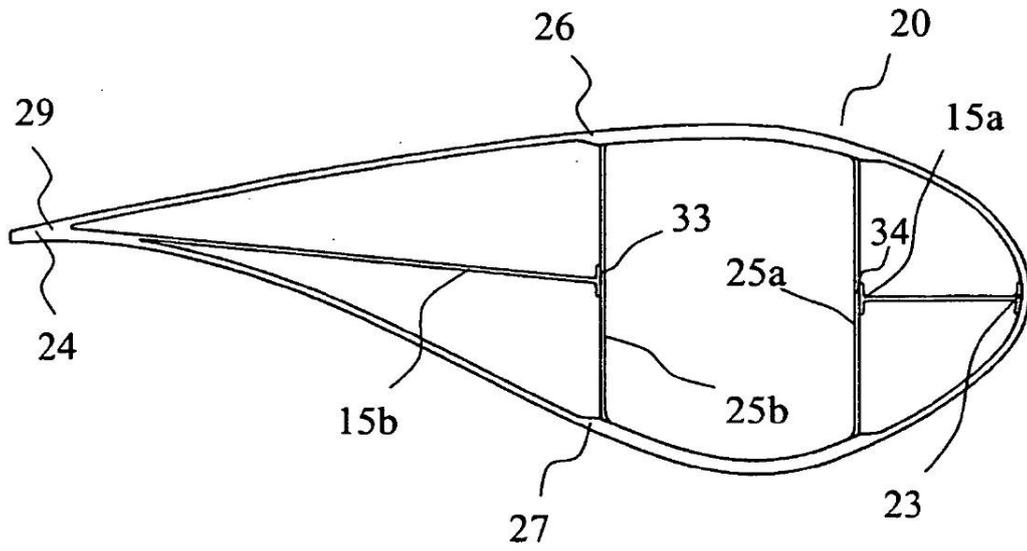
**Fig. 8**



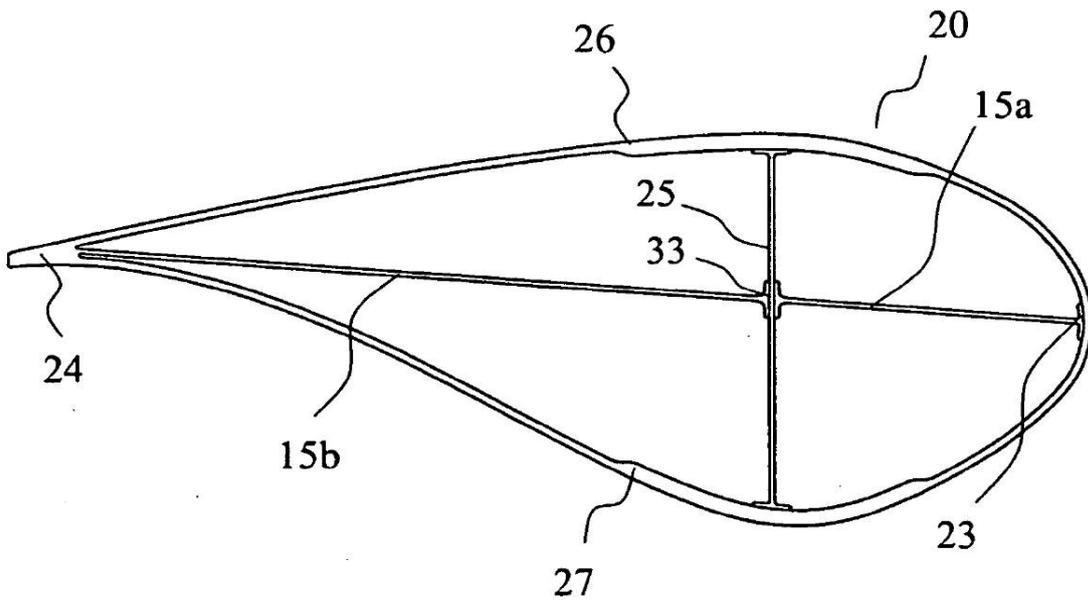
**Fig. 9**



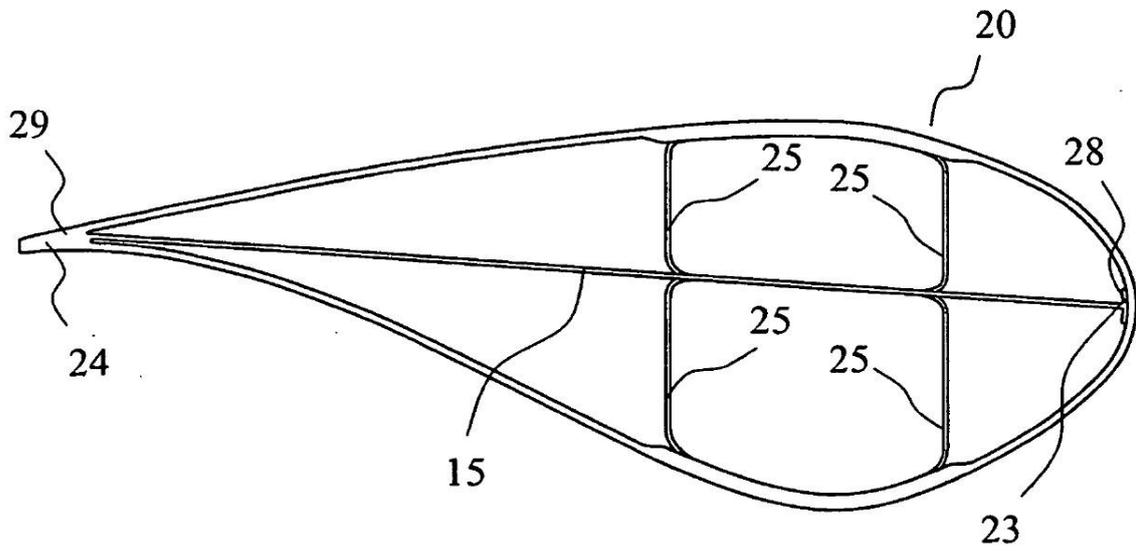
**Fig. 10**



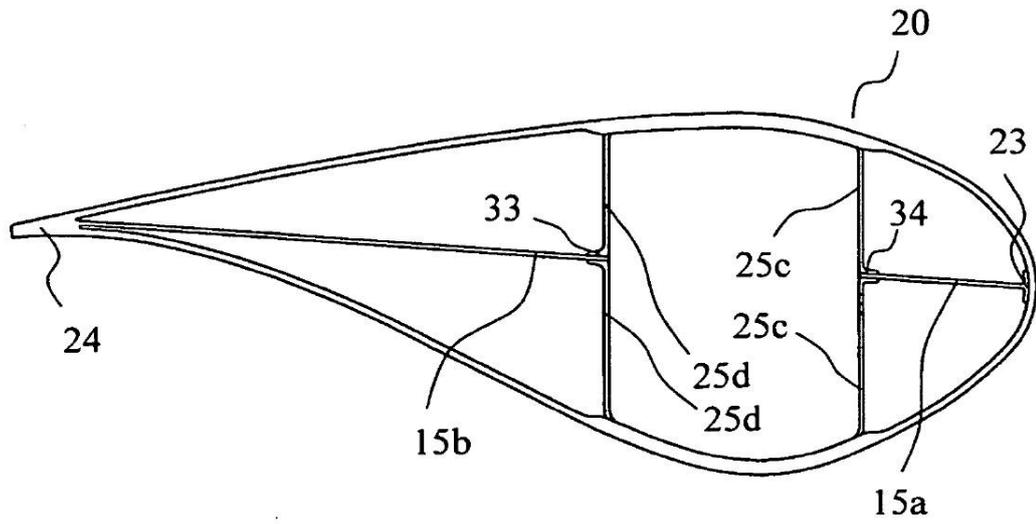
**Fig. 11**



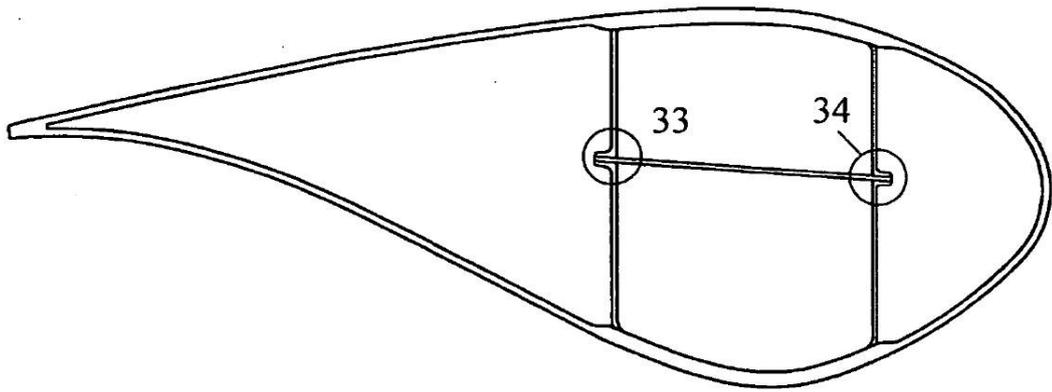
**Fig. 12**



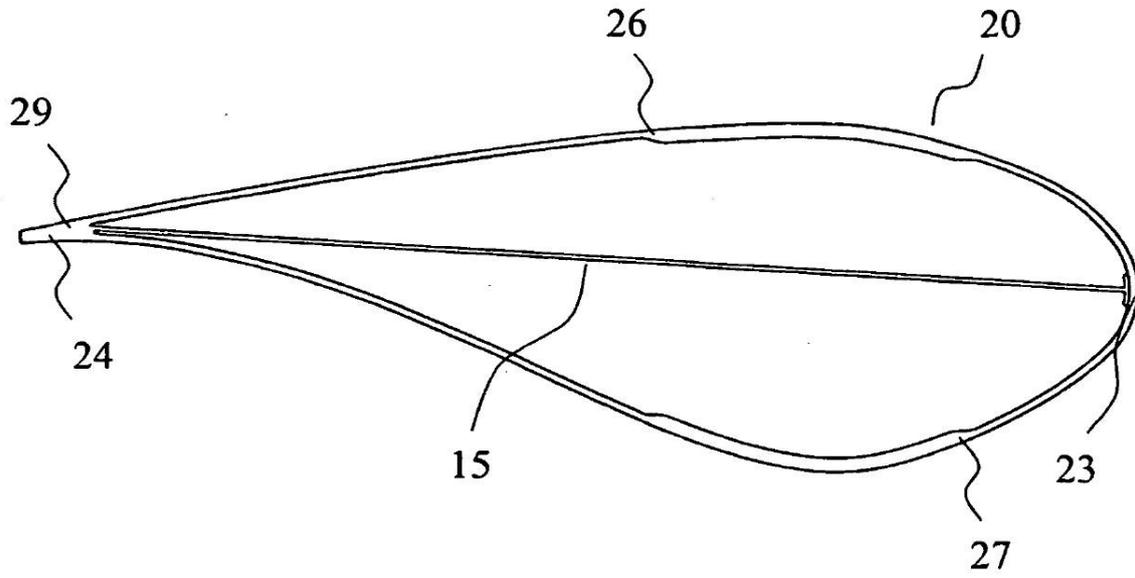
**Fig. 13**



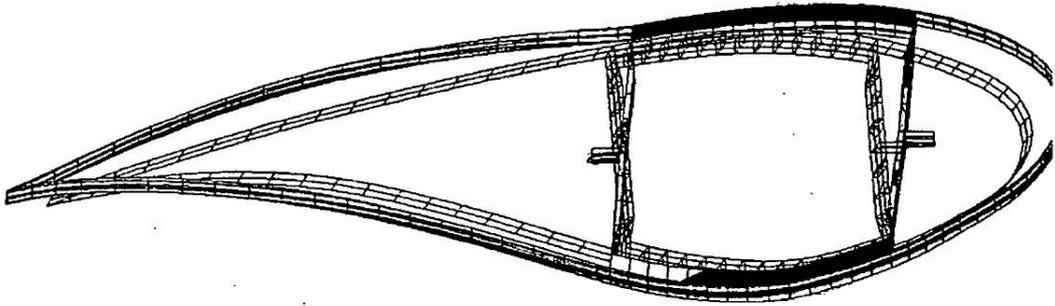
**Fig. 14**



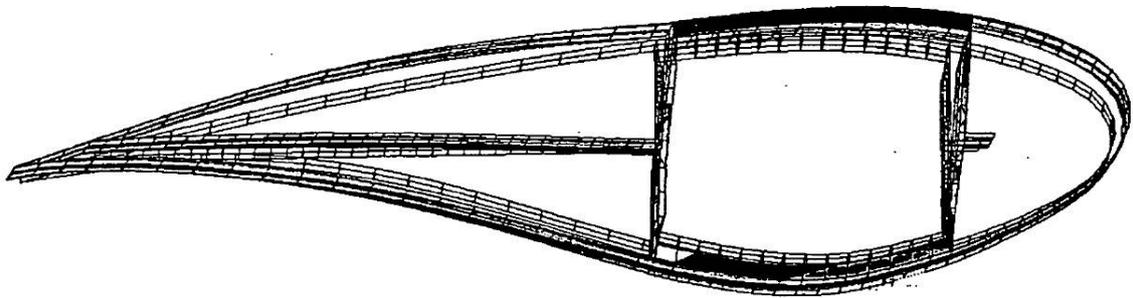
**Fig. 15**



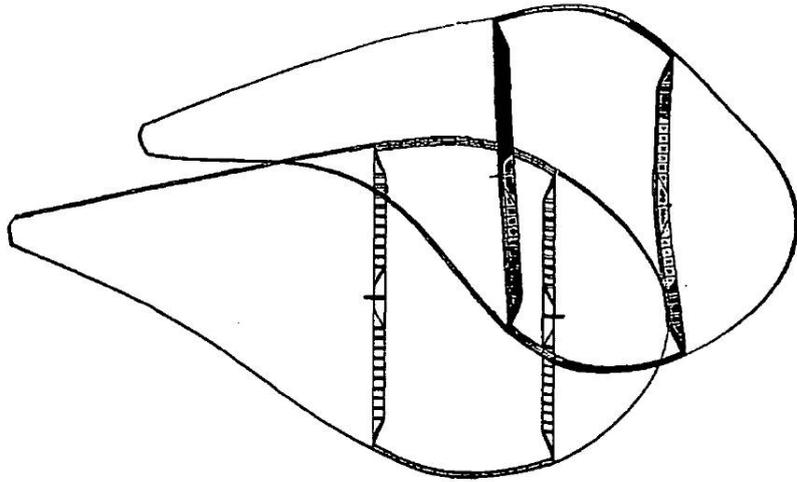
**Fig. 16**



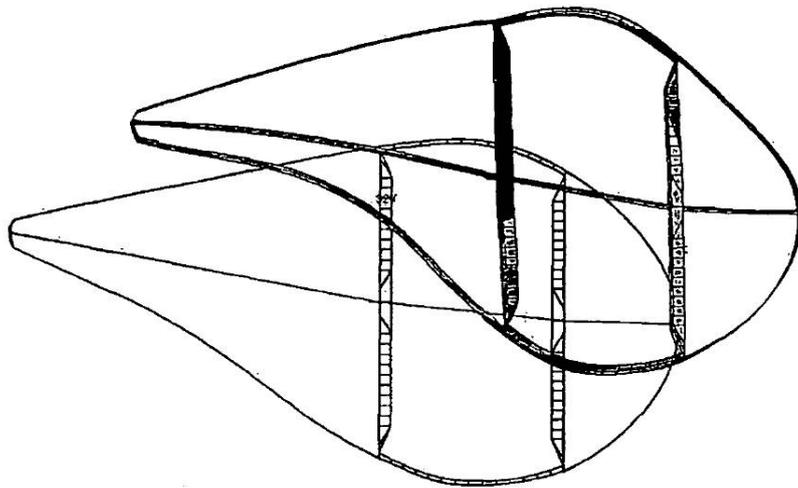
**Fig. 17**



**Fig. 18**



**Fig. 19**



**Fig. 20**