

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 946**

51 Int. Cl.:

B29C 70/52	(2006.01)
B29C 70/54	(2006.01)
B29D 99/00	(2010.01)
F03D 1/06	(2006.01)
F03D 1/00	(2006.01)
B32B 3/02	(2006.01)
B32B 3/26	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.11.2013 PCT/DK2013/050387**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2014 WO14079456**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2013 E 13799185 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2922690**

54 Título: **Palas de turbina eólica y método de fabricación de las mismas**

30 Prioridad:

20.11.2012 DK 201270722
20.11.2012 US 201261728268 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.07.2017

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

SANDERCOCK, STEPHEN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 625 946 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

Palas de turbina eólica y método de fabricación de las mismas

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere en general a palas de rotor para turbinas eólicas y a métodos de fabricación de palas de turbina eólica. Más específicamente, la presente invención se refiere a palas de turbina eólica que incluyen un apilado de tiras de refuerzo de soporte de carga integradas dentro de la estructura de la carcasa, y a un método de fabricación de dichas palas.

Antecedentes

La Figura 1 es una vista en sección transversal de una pala de rotor 10 de turbina eólica. La pala 10 tiene una carcasa exterior 12, que se fabrica a partir de dos semi-carcasas: una carcasa de sotavento 14 y una carcasa de barlovento 16. Las carcasas 14, 16 se moldean a partir de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP). Las piezas de la carcasa exterior 12 son de construcción en panel emparedado y comprenden un núcleo 18 de espuma ligera (por ejemplo poliuretano), que se empareda entre las capas interior y exterior de GRP 20, 22 o "revestimientos".

La pala 10 comprende un primer y segundo par de cabezas de larguero 24, 26, 28, 30 dispuestas entre zonas de panel emparedadas de la carcasa exterior 12. Una cabeza de larguero de cada par 24, 28 se integra con la carcasa de barlovento 16 y la otra cabeza de larguero de cada par 26, 30 se integra con la carcasa de sotavento 14. Las cabezas de larguero 24, 26, 28, 30 de los pares respectivos se oponen mutuamente y se extienden longitudinalmente a lo largo de la longitud de la pala 10. Una primera alma de conexión 32 longitudinalmente extendida conecta el primer par de cabezas de larguero 24, 26 y una segunda alma de conexión 34 longitudinalmente extendida conecta el segundo par de cabezas de larguero 28, 30. Las almas cortantes 32, 34 en combinación con las cabezas de larguero 24, 26, 28, 30 forman un par de estructuras de viga en I, que transfieren cargas de modo efectivo desde la pala giratoria 10 al buje de la turbina eólica (no mostrado). Las cabezas de larguero 24, 26, 28, 30 transfieren en particular las cargas de tracción y compresión por flexión, mientras que las almas cortantes 32, 34 transfieren las tensiones cortantes en la pala 10.

Cada cabeza de larguero 24, 26, 28, 30 tiene una sección transversal sustancialmente rectangular y se fabrica de una pila de tiras de refuerzo 36 prefabricadas. Las tiras 36 son tiras fabricadas por pultrusión de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP), y son sustancialmente planas y de sección transversal rectangular. El número de tiras 36 en el apilado depende del espesor de las tiras 36 y del espesor requerido de la carcasa 12, pero típicamente puede haber entre cuatro y doce tiras 36 en el apilado. Las tiras 36 tienen una alta resistencia a la tracción, y por ello tienen una elevada capacidad de soporte de carga.

Las tiras 36 se forman por pultrusión, un proceso continuo similar a la extrusión, en el que las fibras se transfieren a través de un suministro de resina líquida y a través de troqueles que conforman la tira 36. La resina se cura a continuación, por ejemplo mediante calentamiento en una cámara abierta, o mediante el empleo de troqueles calentados que curan la resina según se fabrica la tira 36 por pultrusión.

El denominado "diseño de carcasa estructural" mostrado en la Figura 1 en el que las cabezas de larguero 24, 26, 28, 30 se integran dentro de la estructura de la carcasa exterior 12 evita la necesidad de una cabeza de larguero separada tal como una viga de refuerzo, que se une típicamente a una superficie interior de la carcasa en muchas palas de turbina eólica convencionales. Otros ejemplos de palas de rotor que tienen un diseño de carcasa estructural se describen en los documentos EP 1 520 983, WO 2006/082479 y la solicitud de patente del Reino Unido número 1121649.6.

La pala de turbina eólica mostrada en la Figura 1 se fabrica usando un proceso de infusión de resina (RI), en el que se disponen las diversas capas de laminados de la carcasa 12 en una cavidad de molde, y se aplica un vacío a la cavidad. Se introduce entonces la resina en el molde, y la presión del vacío provoca que la resina fluya sobre y alrededor de las capas de laminado y se infunda en el interior de los espacios intersticiales entre las capas. Para completar el proceso, la acumulación de resina infundida se cura para endurecer la resina y unir las diversas capas de laminado juntas para formar la pala.

Las tiras de refuerzo fabricadas por pultrusión descritas anteriormente tienden a tener una superficie exterior relativamente lisa y plana, lo que es una característica del proceso de pultrusión. Como resultado, cuando las tiras se apilan unas encima de las otras en el molde, hay poco espacio en las interfaces entre las tiras. Esta falta de espacio hace difícil que la resina se infunda entre las tiras, y puede dar como resultado una pobre unión de formación entre las tiras. Si las tiras no están apropiadamente unidas entre sí, existe el riesgo de que tenga lugar delaminación en la estructura de la pala, lo que puede conducir a fallos de la pala durante el uso. Este problema no está limitado a las tiras fabricadas por pultrusión, sino que también existe cuando se apilan otros tipos de tiras de refuerzo que tengan una superficie exterior lisa. El documento WO 03/008800 A1 divulga un método de fabricación de una cabeza de larguero para una pala de turbina eólica usando tiras de compuesto fibroso fabricadas por

pultrusión.

Un método conocido para la obtención de una superficie que sea más adecuada para la unión es proporcionar una "lámina pelable" 38 sobre la tira de refuerzo hecha por pultrusión tal como se ilustra en la Figura 2a, que puede retirarse para formar una superficie rugosa 40 tal como se muestra en la Figura 2b. Dichas láminas pelables 38 se fabrican típicamente de una tela entretrejida tal como poliamida. Durante el proceso de pultrusión, la lámina pelable 38 se saca a través de un troquel junto con las fibras y la resina. La lámina pelable 38 se cura sobre la superficie de la tira de refuerzo 36 cuando se cura la resina. Cuando se retira la lámina pelable 38, retira una capa de resina curada de la superficie de la tira 36, proporcionando de ese modo una superficie rugosa 40 que está libre de contaminación. La superficie rugosa 40 proporciona espacio en la interfaz entre tiras apiladas 36, permitiendo que la resina se infiltre entre las tiras 36, por ejemplo mediante una acción de capilaridad.

Sin embargo, en la práctica, la lámina pelable 38 no puede aplicarse a toda la superficie de una tira 36 durante el proceso de pultrusión. En particular, la lámina pelable 38 no puede extenderse en los bordes más exteriores de la superficie, dado que la lámina pelable 38 quedaría atrapada en la maquinaria usada en el proceso de pultrusión. Por lo tanto debe dejarse una zona periférica 42 de la tira 36 sin cubrir por la lámina pelable 38, tal como se muestra en la Figura 2a. Esta zona periférica 42 se dispone enrasada con la superficie de la lámina pelable 46, de modo que cuando se retira la lámina pelable 38, la zona periférica 42 se sitúa sobre la superficie rugosa 40, tal como se muestra en la Figura 2b.

Cuando se apilan las tiras 36, las zonas periféricas 42 de las tiras vecinas 36 hacen contacto entre sí. Las superficies lisas de las zonas periféricas 42 significan que queda poco espacio entre las zonas periféricas 42 de las tiras 36, y la resina no puede infiltrarse entre las superficies en esta área de contacto. Por ello, el área de contacto entre las zonas periféricas 42 actúa como una barrera que impide el infiltrado de la resina entre superficies rugosas 40 opuestas de tiras adyacentes 36 en el apilado. Se dispersa por lo tanto una cantidad insuficiente de resina entre las tiras 36, lo que reduce la resistencia de las uniones entre caras entre las tiras 36, y puede conducir a un delaminado.

Es un objeto de la invención mitigar o superar este problema.

Sumario de la invención

Contra estos antecedentes, la presente invención proporciona un método de fabricación de una cabeza de larguero para una pala de turbina eólica, de acuerdo con la reivindicación 1.

Al usar al menos una tira que comprende una zona del borde de reducido espesor para proporcionar una zona de holgura entre las zonas del borde de tiras adyacentes, la presente invención permite una infiltración efectiva de la resina dentro de la zona de interfaz entre tiras adyacentes, incrementando la resistencia de unión entre tiras vecinas. Esta infiltración efectiva proporciona una fuerte unión entre tiras vecinas en un apilado, reduciendo el problema de delaminado de las tiras en la cabeza de larguero montada.

La primera superficie de apoyo de cada tira puede apoyarse en una superficie de apoyo de una tira adyacente en el apilado para definir la zona de interfaz entre las tiras. En otra realización, se dispone una capa intermedia en la zona de interfaz entre la primera superficie de apoyo de cada tira y la superficie de apoyo de la tira adyacente en el apilado. La capa intermedia puede ser una capa de tejido de vidrio por ejemplo que se proporciona para ayudar a la infusión de la resina entre las tiras y para ayudar a que se retire el aire de entre las tiras durante un proceso de infusión de la resina.

Las tiras respectivas pueden ser de espesor en reducción en la primera zona de borde, de modo que cuando las tiras se apilan en la etapa (c), la zona de holgura se hace progresivamente más estrecha al trasladarse desde el primer borde hacia la zona de interfaz. Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante la disposición de la superficie del borde de modo que esté inclinada con relación a la primera superficie de apoyo. De esta manera, las zonas de holgura definen un embudo que favorece el movimiento de la resina desde la zona de holgura al interior de los espacios intersticiales entre tiras adyacentes.

En una realización, el primer borde es un borde longitudinal de la tira, de modo que la resina solo necesita infiltrarse una corta distancia para cubrir la zona de interfaz entre tiras adyacentes. En una realización alternativa, el primer borde es el borde transversal de la tira.

Cada tira puede tener también una segunda zona de borde de espesor relativamente reducido, comprendiendo la segunda zona de borde un segundo borde de la tira, y la etapa (c) del método puede comprender el apilado de las tiras en el molde de modo que se defina una zona de holgura entre la segunda zona de borde de cada tira y una zona de borde de una tira adyacente en la pila. Proporcionar una segunda zona de borde de espesor relativamente reducido es ventajoso, dado que permite que la resina se infiltre entre las tiras desde dos zonas de holgura.

En una realización de la invención, el primer lado de cada tira comprende una superficie del borde entre el segundo

borde y la primera superficie de apoyo, estando la superficie del borde inclinada con relación a la primera superficie de apoyo, y la primera capa de la lámina pelable cubre al menos parcialmente la superficie del borde, y la etapa (b) del método comprende retirar la primera capa de la lámina pelable de la superficie del borde. Proporcionar una capa de lámina pelable sobre la superficie del borde de esta manera permite que se cree una superficie rugosa sobre la superficie del borde y la superficie de apoyo cuando se retira la capa de la lámina pelable, facilitando adicionalmente la infiltración de la resina dentro de la zona de interfaz.

En otra realización, la segunda superficie de apoyo de cada tira se cubre al menos parcialmente mediante una segunda capa de lámina pelable, y la etapa (b) del método comprende retirar las segundas capas de la lámina pelable de las tiras respectivas para exponer las fibras sobre las segundas superficies de apoyo respectivas; y la etapa (c) del método comprende el apilado de las tiras en el molde de modo que la segunda superficie de apoyo de cada tira mire a la superficie de apoyo de una tira adyacente en la pila para definir una zona de interfaz entre las tiras. Al cubrir parcialmente la segunda superficie de apoyo de cada tira con una capa de lámina pelable, y retirar la capa de lámina pelable de esta manera se proporciona una superficie rugosa sobre la segunda superficie de apoyo, facilitando la infiltración de resina dentro de la zona de interfaz.

Preferentemente, la etapa (a) comprende la formación de las tiras mediante un proceso de pultrusión que comprende sacar una bandeja de fibras recubiertas con resina y la primera capa de lámina pelable través de un troquel de pultrusión que tiene una sección transversal correspondiente a la sección transversal de la tira definida en la etapa (a) anterior. La bandeja de fibras puede estar soportada por el primer y segundo borde longitudinal durante el proceso de pultrusión. La formación de la tira mediante un proceso de pultrusión permite una producción eficiente y continua de las tiras.

Preferentemente, la etapa (c) comprende el apilado de las tiras en un molde de pala de turbina eólica. De esta forma, la cabeza de larguero puede integrarse dentro de la pala de turbina eólica según se fabrica, permitiendo un proceso de fabricación más eficiente.

La invención se extiende a una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 13 y a una turbina eólica que comprende dicha pala.

La cabeza de larguero comprende una pluralidad de tiras de compuesto de fibra fabricadas por pultrusión tal como se ha descrito anteriormente en el que se retiran las capas de lámina pelable de las tiras respectivas. Las tiras se disponen en una pila de modo que se define una zona de holgura entre la primera zona de borde de cada tira y una zona de borde de una tira adyacente en la pila. Las tiras adyacentes se unen juntas mediante una capa de resina en una zona de interfaz entre las tiras. La capa de resina rellena también al menos parcialmente la zona de holgura definida entre las tiras.

La invención proporciona una cabeza de larguero en la que la resina se ha infiltrado de modo efectivo dentro de la zona de interfaz entre tiras, a través de la zona de holgura. La cabeza de larguero de la invención por lo tanto tiene una fuerte unión entre las tiras, dando como resultado una delaminación reducida de las tiras.

En una realización, las tiras respectivas son de un espesor en reducción en la primera zona de borde, de modo que la zona de holgura se haga progresivamente más estrecha al trasladarse desde el primer borde hacia la zona de interfaz. De esta manera, las zonas de holgura definen un embudo que favorece el movimiento de la resina al interior de la zona de interfaz entre tiras adyacentes.

Las zonas de holgura pueden definirse entre bordes longitudinales de tiras adyacentes en la pila. De esta manera, la resina solo necesita infiltrarse una corta distancia desde la zona del borde de la tira para cubrir la zona de interfaz entre tiras adyacentes.

La invención también reside en una tira de compuesto fibrosa fabricada por pultrusión para apilado con una o más tiras similares para formar una cabeza de larguero de una pala de turbina eólica, de acuerdo con la reivindicación 6.

Cuando la capa de lámina pelable se retira de una tira de acuerdo con la invención, y la tira se apila con una o más tiras similares para formar una cabeza de larguero, las zonas de borde vecinas de tiras vecinas definen una zona de holgura, que proporciona medios para la infiltración efectiva de la resina dentro de la zona de interfaz entre tiras adyacentes, incrementando la resistencia de la unión entre tiras vecinas.

La tira puede ser de un espesor en reducción en la primera zona de borde. Por ejemplo, el primer borde puede estar achaflanado en la primera zona de borde. De esta manera, una zona de holgura proporcionada por la tira cuando se proporciona en una pila define un embudo que favorece el movimiento de la resina al interior de la zona de interfaz entre tiras adyacentes.

Opcionalmente, una zona periférica del primer lado adyacente al primer borde no se cubre mediante la primera capa de lámina pelable. En esta realización de la invención, la primera capa de lámina pelable puede reposar al mismo nivel que la zona periférica. Esta puede ser una característica del proceso de fabricación, por ejemplo si la tira se

fábrica mediante un proceso de pultrusión.

Preferentemente, la superficie del borde está inclinada con relación a la primera superficie de apoyo.

5 Preferentemente, el primer borde es el primer borde longitudinal de la tira.

10 En una realización de la invención, la tira puede tener una segunda zona de borde de espesor relativamente reducido. La segunda zona de borde comprende un segundo borde de la tira. En esta realización, la tira puede ser de espesor en reducción en la segunda zona de borde. Por ejemplo, el segundo borde puede estar achaflanado en la segunda zona de borde. De esta manera, la resina puede infiltrarse desde dos zonas de borde dentro de la zona de interfaz entre las tiras, de modo que se requiere que la resina se infiltre una distancia más corta dentro de la zona de interfaz.

15 El primer lado puede comprender una superficie del borde entre el segundo borde y la primera superficie de apoyo, y la primera capa de lámina pelable puede cubrir al menos parcialmente dicha superficie del borde.

En una realización de la invención, una zona periférica del primer lado adyacente al segundo borde no se cubre mediante la primera capa de lámina pelable.

20 Preferentemente, la superficie del borde está inclinada con relación a la primera superficie de apoyo para proporcionar el espesor reducido.

25 En cualquier realización en la que la tira comprende dos zonas de borde de espesor reducido, el segundo borde puede ser el segundo borde longitudinal de la tira.

30 La segunda superficie de apoyo de la tira puede cubrirse al menos parcialmente mediante una segunda capa de lámina pelable. En una realización de la invención, el segundo lado comprende una superficie del borde entre el primer borde y la segunda superficie de apoyo, y la segunda capa de lámina pelable cubre al menos parcialmente dicha superficie del borde. La cobertura parcialmente de la segunda superficie de apoyo de cada tira con una capa de lámina pelable significa que la capa de lámina pelable puede retirarse para proporcionar una superficie rugosa sobre la segunda superficie de apoyo, facilitando la infiltración de la resina dentro de la zona de interfaz. En esta realización, una zona periférica del segundo lado adyacente al primer borde puede no estar cubierta por la segunda capa de lámina pelable. Opcionalmente, la superficie del borde puede estar inclinada con relación a la segunda superficie de apoyo.

35 El segundo lado puede comprender también una superficie del borde entre el segundo borde y la segunda superficie de apoyo, y la segunda capa de lámina pelable cubre al menos parcialmente dicha superficie del borde. En esta realización, una zona periférica del segundo lado adyacente al segundo borde puede no estar cubierta mediante la segunda capa de lámina pelable. En una realización, la superficie del borde está inclinada con relación a la segunda superficie de apoyo.

40 La invención aún se extiende adicionalmente a un método para la realización de una tira tal como se ha descrito anteriormente. El método comprende sacar una bandeja de fibras recubiertas con resina y la primera capa de lámina pelable a través de un troquel de pultrusión que tiene una sección transversal correspondiente a la sección transversal de la tira.

45 Este método proporciona una forma eficiente de formación de una tira de acuerdo con la invención en un proceso continuo. La conformación del troquel de modo que su sección transversal corresponda a la sección transversal de la tira de la invención significa que no se requieren etapas de fabricación adicionales después de que se haya fabricado la tira por pultrusión.

50 En una realización, la tira tiene capas de lámina pelable en ambos lados, y el método comprende adicionalmente sacar la segunda capa de lámina pelable a través del troquel de pultrusión, en el que la bandeja de fibras se dispone entre la primera y la segunda capa de lámina pelable. De esta manera, la segunda capa de lámina pelable puede disponerse sobre un segundo lado de la tira, sin necesidad de etapas adicionales en el proceso de fabricación.

Breve descripción de los dibujos

60 Las Figuras 1, 2a y 2b ya se han descrito anteriormente por medio de los antecedentes de la presente invención. Para que la invención se entienda más fácilmente, se describirán ahora realizaciones específicas de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos siguientes en los que:

65 la Figura 3a es una vista en perspectiva parcial de una sección de una tira de compuesto de fibra fabricada por pultrusión que tiene una capa de lámina pelable sobre ambos lados de la tira de acuerdo con una primera realización de la presente invención;

la Figura 3b es una vista en planta parcial de la sección de la tira de compuesto de fibra fabricada por pultrusión

de la Figura 3a;

la Figura 4a es una sección transversal parcial de la tira de compuesto de fibra fabricada por pultrusión de las Figuras 3a y 3b;

5 la Figura 4b es una sección transversal parcial de la tira de las Figuras 3a y 3b dispuesta en una pila con una tira idéntica, y con las capas de lámina pelable retiradas; y

las Figuras 5a y 5b ilustran un método de fabricación de una pala de turbina eólica de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada

10 Una tira de compuesto de fibra fabricada por pultrusión tiene típicamente un espesor de aproximadamente 5 mm, y una capa de lámina pelable tiene típicamente un espesor de aproximadamente 50 a 500 micras. Se apreciará que los dibujos proporcionados no son representaciones a escala, y las características particulares de la tira se han exagerado en gran medida con finalidades ilustrativas.

15 Las Figuras 3a, 3b y 4a muestran una tira de compuesto de fibra 100 fabricada por pultrusión para el apilado con una o más tiras similares para fabricar una cabeza de larguero para una pala de turbina eólica. La tira 100 se fabrica de un plástico reforzado con fibra, y comprende fibras de carbono unidireccionales alineadas en una matriz de resina.

20 La tira 100 se conforma sustancialmente como un cuboide plano que se extiende a lo largo de un eje longitudinal L , teniendo el cuboide una longitud sustancialmente mayor que su espesor o anchura. La tira 100 comprende primeros y segundos lados 102, 104 que se extienden longitudinalmente. Los lados 102, 104 se unen mediante bordes transversales opuestos 106, 108 que son sustancialmente perpendiculares al eje longitudinal L , y mediante bordes longitudinales opuestos 110, 112 que están alineados con el eje longitudinal L . Cada lado 102, 104 está cubierto al menos parcialmente por una capa de lámina pelable 114 que puede retirarse para exponer una superficie rugosa 116 sobre el lado respectivo 102, 104 tal como se muestra en la Figura 4b.

30 La separación entre los lados 102, 104 define el espesor de la tira 100. La mayoría de la tira 100 es de espesor sustancialmente uniforme. De esta manera, la mayoría de cada lado 102, 104 es sustancialmente plano. Esta mayoría plana de la tira 102, 104 define una superficie de apoyo 118. Cuando la tira 110 se dispone en una pila, esta superficie de apoyo 118 se apoya en una superficie de apoyo enfrentada 118 de una tira 100 vecina. Debido a que la mayoría del lado 102, 104 se forma mediante la superficie de apoyo 118, se proporciona una gran área de contacto entre tiras 100 vecinas. Maximizar el área de contacto de esta manera incrementa la resistencia de la unión entre tiras 100 vecinas.

40 Como se muestra más claramente en las Figuras 3a y 4a, la tira 100 comprende una zona de borde 120 que incluye uno de los bordes longitudinales 110 de la tira 100. La zona de borde 120 se extiende a lo largo de la longitud del borde longitudinal 110, y se extiende una distancia ortogonal X dentro de la tira 100 desde el borde longitudinal 110. La zona de borde 120 de la tira 100 comprende una superficie del borde 122 que se dispone adyacente a la superficie de apoyo 118. Esta superficie del borde 122 se extiende entre un borde 124 de la superficie de apoyo 118 y una esquina superior 126 del borde longitudinal 110, y presenta un escalón 140, que se explica con más detalle a continuación.

45 La zona de borde 120 de la tira 100 es de un espesor relativo reducido respecto a la mayoría de la tira 100. Específicamente, la zona de borde 120 de la tira 100 es de un espesor en reducción, de modo que la superficie del borde 122 está inclinada con respecto a la superficie de apoyo 118. La superficie del borde 122 se une a la superficie de apoyo 118 en un ángulo interno α , que es menor de 180° , y mayor de 90° . La dimensión del ángulo α puede determinarse con relación a otros parámetros de la tira 100, tal como se explicará adicionalmente, pero está típicamente entre 172° y 178° .

50 En la realización mostrada, se dispone una capa de lámina pelable 114 en cada uno de los lados superior e inferior 102, 104, de modo que la capa de lámina pelable 114 cubra al menos parcialmente su lado 102, 104 respectivo. La capa de lámina pelable 114 puede fabricarse a partir de cualquier material adecuado tal como poliamida, tejido de fibra de vidrio o nailon recubiertos o sin recubrir. La capa de lámina pelable 114 tiene un espesor t que está entre aproximadamente 50 micras y aproximadamente 500 micras, y es de preferentemente 150 micras.

60 La capa de lámina pelable 114 comprende también bordes paralelos 132 que se extienden longitudinalmente, y se alinean con el eje longitudinal (Figura 3a) de la tira 110.

65 La capa de lámina pelable 114 superior cubre la superficie de apoyo 118 del lado superior 102, y se extiende parcialmente dentro de la zona de borde 120 para cubrir parte de la superficie del borde 122 del lado superior 102. De esta manera, la capa de lámina pelable 114 se extiende sobre la interfaz 124 entre la superficie de apoyo 118 y la superficie del borde 122. Una parte de borde 134 de la capa de lámina pelable 114, que cubre parcialmente la superficie del borde 122 de la tira 100, está por lo tanto inclinada con respecto a una parte central 136 de la capa de lámina pelable 100, que recubre la superficie de apoyo 118 de la tira 100.

Debido al proceso de pultrusión previamente descrito, la capa de lámina pelable 114 no puede extenderse sobre la totalidad de la superficie del borde 122. Dicho de otra forma, la capa de lámina pelable 114 se queda corta respecto al borde longitudinal 110 de la tira 100, de modo que define una zona periférica 138 del lado 102, 104 que no está cubierta por la capa de lámina pelable 114.

5 La zona periférica 138 se localiza sobre la superficie del borde 122 de la tira 100, y se dispone adyacente al borde longitudinal 110 de la tira 100. La zona periférica 138 se extiende entre la esquina superior 126 del borde longitudinal de la tira 100, y un borde 132 de la capa de lámina pelable 114. La zona periférica 138 se extiende dentro de la tira 100 una distancia ortogonal Y desde el borde longitudinal 110 de la tira 100. Longitudinalmente, la zona periférica 138 se extiende a lo largo de toda la longitud de la tira 100.

Debido al proceso de pultrusión, la zona periférica 138 de la superficie del borde 122 se dispone enrasada con la superficie exterior 130 de la capa de lámina pelable 114. Por ello, en la zona de borde 120 de la tira 100, la zona de la superficie del borde 122 que se cubre mediante la capa de lámina pelable 114 se dispone hacia el interior de la zona periférica 138.

En la interfaz entre la zona periférica 138 de la superficie del borde 122 y la parte de la superficie del borde 122 que está cubierta por la capa de lámina pelable 114, la superficie del borde 122 comprende un escalón 140 tal como se ha mencionado anteriormente. El escalón 140 comprende una pared que es aproximadamente ortogonal a la superficie del borde 122 y tiene una altura que es igual al espesor t de la capa de lámina pelable 114. En ambos lados del escalón 140, la superficie del borde 122 está inclinada con el mismo gradiente. Cuando la capa de lámina pelable 114 se dispone sobre la tira 100, el borde 132 de la capa de lámina pelable 114 se apoya en la pared del escalón 140.

25 Se apreciará que, dado que el espesor t de la capa de lámina pelable 114 es pequeño (del orden de micras), la altura del escalón 140 es de una magnitud pequeña. El escalón 140 mostrado en la Figura 4b está ampliamente exagerado con finalidades ilustrativas; en la práctica, el escalón 140 toma la forma de una hendidura superficial.

De ese modo, al moverse desde la superficie de apoyo 118 de la tira 100 al borde longitudinal 110 de la tira 100 (es decir, de derecha a izquierda tal como se muestra en la Figura 4a), el lado superior 102 de la tira 100 es inicialmente horizontal para definir la superficie de apoyo 118. La superficie de apoyo 118 se une a la superficie del borde 122 en un ángulo α , y la superficie del borde 122 se reduce con un gradiente de ahusado constante de modo que se extiende hacia un plano longitudinal central de la tira 100. La superficie del borde 122 continúa con el gradiente de ahusado constante hasta el escalón 140 en la superficie del borde 122. El escalón 140 en la superficie del borde 122 se inclina abruptamente separándose del plano longitudinal central de la tira 100, en una dirección aproximadamente ortogonal a la superficie del borde 122. La altura del escalón es igual al espesor t de la capa de lámina pelable 114. Más allá del escalón 140, la superficie del borde 122 continúa dentro de la zona periférica 138 con el mismo gradiente de ahusado. La zona periférica 138 de la superficie del borde 122 está inclinada en un ángulo α respecto a la superficie de apoyo 118, y termina en el borde longitudinal 110 de la tira 100.

En la realización mostrada, el lado inferior, o segundo, 104 de la tira 100 es una imagen especular del lado superior 102. Por ello, todas las características descritas anteriormente con relación al lado superior 102 de la tira 100 se aplican al lado inferior 104 de la tira 100. Por ello, las superficies del borde 122 respectivas de la tira 100 se inclinan hacia el interior del borde longitudinal 110.

Antes de que la tira 100 se disponga en una pila para formar la cabeza de larguero, las capas de lámina pelable 114 se retiran de los lados superior e inferior 102, 104. Cuando se retira una capa de lámina pelable 114 desde un lado 102, 104 de la tira 100, una parte de la resina curada se retira de ese lado 102, 104. Esta retirada de la resina forma una textura rugosa sobre la superficie de apoyo 118 y sobre la parte de la superficie de borde 122 que se cubrió mediante la capa de lámina pelable 114.

En la cabeza de larguero montada, la tira 100, con la capa de lámina pelable 114 retirada, se dispone en una pila que comprende tiras 100 similares, tal como se muestra en la Figura 4b. La superficie de apoyo 118 de la tira 100 se dispone en apoyo con una superficie de apoyo 118 similar de una tira 100 vecina para definir una zona de interfaz 142 entre las tiras 100. Se interpone una delgada capa de resina entre tiras adyacentes 100 en la pila para unir las tiras 100 entre sí.

60 Cuando las tiras se apilan, las zonas de borde en reducción de las tiras respectivas significan que las zonas periféricas 138 de tiras adyacentes están separadas entre sí de modo que se define una zona de holgura 144 entre las zonas de borde 120 de las tiras 100 vecinas. Debido al espesor en reducción de la zona de borde 120, la zona de holgura 144 se hace progresivamente más estrecha al trasladarse desde el primer borde longitudinal 110 hacia la zona de interfaz 142. Expresado en otros términos, la zona de holgura 138 se hace progresivamente más ancha al moverse desde la zona de interfaz 142 hacia el primer borde 110. En la cabeza de larguero montada, esta zona de holgura 144 se llena con resina.

65 En la realización mostrada, la tira 100 vecina es idéntica a la primera tira 100. La zona de holgura 144 se define por

lo tanto entre las zonas de borde 102 estrechadas respectivas de las tiras 100 vecinas.

Para realizar una cabeza de larguero a partir de las tiras 100, las capas de lámina pelable 114 se retiran del número deseado de tiras 100, y las tiras 100 se apilan en un molde de modo que sus superficies de apoyo 118 estén
5 alineadas y se apoyen entre sí. Se introduce entonces la resina dentro del molde, y la resina se infunde dentro de las zonas de holgura 144 que se define entre tiras 100 vecinas.

El estrechamiento de la zona de holgura 144 hacia la zona de interfaz 142 de las tiras 100 proporciona un efecto de embudo ventajoso mediante el que se crea una entrada relativamente grande para la resina entre tiras 100 apiladas
10 adyacentes, y la zona de holgura 144 en reducción sirve para concentrar y guiar la resina hacia la zona de interfaz 142 entre las tiras 100.

El flujo de resina dentro de las zonas de interfaz 142 es ayudado también por la textura rugosa 116 de las superficies de apoyo 118 y de la parte adyacente de la superficie de borde 122, lo que da lugar a una acción de
15 capilaridad para mejorar la infusión de la resina.

Después de que se haya infiltrado la resina dentro de la zona de interfaz 142 entre las tiras 100, la resina se cura para unir las tiras 100. La resina puede curarse, por ejemplo, mediante el calentamiento de la pila de tiras 100.

La cabeza de larguero 146 puede fabricarse en un molde dedicado, de modo que forme una cabeza de larguero 146 pre-curada para integrarse dentro de una pala de turbina eólica en una etapa posterior. Alternativamente, la cabeza de larguero 146 puede formarse e integrarse dentro de la pala de turbina eólica simultáneamente con la fabricación de la pala en sí. Se describirá ahora un método de fabricación de una pala de turbina eólica de acuerdo con la
20 presente invención con referencia a las Figuras 5a y 5b.

Con referencia a las Figuras 5a y 5b, la pala de turbina comprende una carcasa de barlovento 148 y una carcasa de sotavento (no mostrada), fabricada cada una en semi-moldes 150 respectivos. Durante la fabricación de cada carcasa 148, se coloca primero un revestimiento exterior 152 en la forma de un material de fibra seco sobre una superficie del semi-molde 150. Las tiras 100 se posicionan entonces en el molde 150.
25

A continuación, se introduce una capa de espuma estructural 154 dentro del semi-molde 150 para rellenar las zonas entre las cabezas de larguero 146. Se coloca entonces un revestimiento interior 156, en la forma de un material de fibra seco, sobre las superficies superiores de las cabezas de larguero 146 y la espuma estructural 154. Los componentes se cubren con una bolsa estanca al aire 158 para formar una cámara de vaciado que encapsula todos los componentes.
30
35

Se vacía entonces la cámara usando una bomba de vacío 160. Con la bomba 160 aún en funcionamiento, se conecta un suministro de resina líquida 162 a la cámara, y la resina fluye al interior de la cámara a través de una pluralidad de entradas de resina, que se espacian longitudinalmente a lo largo del molde. La resina se infunde a lo
40 largo del molde en una dirección generalmente en el sentido de la cuerda. La resina se infunde dentro de las zonas de holgura 144 localizadas entre zonas de borde 120 de tiras vecinas 100. La resina se suministra en las zonas de holgura 144 a lo largo de toda la longitud de cada pila, y se infunde entre las tiras 100 en cada pila a través de las superficies rugosas 116. De esta manera, la resina solo necesita infundirse una distancia relativamente corta en una dirección que se extiende desde un borde longitudinal 110 de la tira 100 al otro borde longitudinal 112. La resina también se infunde entre otros componentes en la semi-carcasa 148.
45

La bomba 160 continúa funcionando durante una operación de moldeo posterior en la que el molde 150 se calienta de modo que cure la resina, aunque durante el proceso de curado puede ajustarse la presión de vacío.

Se fijan entonces almas cortantes al revestimiento interior 156 inmediatamente por encima de las cabezas de larguero 146 en el semi-molde 150 inferior, y los extremos libres superiores de las almas se recubren con capas respectivas de adhesivo.
50

El semi-molde superior pivota entonces a una posición por encima del semi-molde inferior 150, de modo que el semi-molde superior se dé la vuelta y se coloque en la parte superior del semi-molde inferior 150. Esto provoca que las cabezas de larguero 146 dentro del semi-molde superior se adhieran a los extremos libres superiores de las almas cortantes. La naturaleza flexible de las almas da lugar a una fuerza de impulsión de las almas contra las cabezas de larguero 146 superiores de modo que aseguren una buena adhesión.
55

El molde se abre entonces, y la pala de turbina acabada se levanta del molde. La pala de turbina resultante se incorpora entonces dentro de la turbina eólica por métodos conocidos.
60

Cada tira 100 de compuesto de fibra fabricada por pultrusión se realiza mediante un proceso de pultrusión en el que las fibras recubiertas con resina se sacan a través de un troquel en una dirección de proceso junto con un par de capas de lámina pelable 114. Cuando los componentes se sacan a través del troquel, las capas de lámina pelable 114 se disponen de modo que se localicen sobre los lados superior e inferior 102, 104 respectivos de la tira 100.
65

Durante el proceso de pultrusión, una zona de borde 120 de la tira 100 se conforma de modo que su espesor sea menor que el espesor de la mayoría de la tira 100. Esto se consigue mediante la conformación del troquel para reflejar la sección transversal deseada de la tira 100.

5 Específicamente, el troquel tiene una sección transversal a la dirección del proceso que se define mediante caras principales opuestas que se unen mediante caras menores opuestas. La separación entre caras principales define la altura del troquel. La mayoría del troquel tiene una altura sustancialmente uniforme, mientras que las zonas de borde del troquel, que corresponden a las zonas de borde 120 de la tira 100, son de altura relativamente reducida en comparación con la mayoría del troquel.

10 Cuando las fibras y las capas de lámina pelable 114 se sacan a través del troquel, el troquel conforma las fibras y las capas de lámina pelable 114 en la forma deseada de la tira 100. Como se ha descrito anteriormente, las capas de lámina pelable 114 se disponen respectivamente en ambos lados 102, 104 de la tira 100, pero no se extienden a los bordes longitudinales 110, 112 de la tira 100, de modo que dejen las fibras de las zonas periféricas 138 sin cubrir.
15 Cuando las capas de lámina pelable 114 y las fibras se sacan a través del troquel, se conforman mediante el troquel, y se disponen contra las superficies del troquel. Las capas de lámina pelable 114 y las fibras de las zonas periféricas 138 de la tira 100 se disponen por lo tanto enrasadas entre sí.

20 El troquel se calienta según se sacan los componentes a través de él, de modo que cure la tira 100 en un proceso de pultrusión continuo. Las capas de lámina pelable 114 se curan dentro de la resina sobre los lados 102, 104 de la tira 100. De esta forma, cuando se retiran las capas de lámina pelable 138, se retira una parte de la resina desde el lado 102, 104 de la tira 100, dejando una textura rugosa tal como se ha descrito anteriormente.

25 Pueden realizarse muchas modificaciones a las realizaciones descritas anteriormente sin apartarse del alcance de la invención tal como se define a continuación en las reivindicaciones.

Aunque en el ejemplo descrito anteriormente se disponen capas de lámina pelable sobre cada uno de los lados superior e inferior, se apreciará que este no es necesariamente el caso, y la capa de lámina pelable puede cubrir solo el lado superior, o solo el lado inferior de la tira. Aunque en el ejemplo descrito anteriormente, tanto la superficie del borde del lado superior como la superficie del borde del lado inferior están inclinadas con respecto a la superficie de apoyo, en una realización alternativa de la invención puede estar inclinada solo una de las zonas de borde respectivas.

30 Adicionalmente, en el ejemplo descrito anteriormente, la tira puede comprender una única, primera zona de borde en reducción que comprende un primer borde longitudinal. Alternativamente, sin embargo, la tira puede comprender primeras y segundas zonas de borde en reducción, comprendiendo la primera zona de borde el primer borde longitudinal y comprendiendo la segunda zona de borde el segundo borde longitudinal opuesto. La segunda zona de borde puede comprender todas las características descritas con relación a la primera zona de borde descrita anteriormente.

40 Se concibe también que, alternativa o adicionalmente, uno o ambos de los bordes transversales de la tira pueden estar provistos de un espesor reducido tal como se ha descrito previamente. En este caso, las zonas de borde comprenderían adicional o alternativamente un borde transversal de la tira. En la pila de tiras, se proporcionarían entonces zonas de holgura entre zonas de borde transversales, y la resina se infundiría dentro de la zona de interfaz longitudinalmente.

50 En la realización de la cabeza de larguero descrita, cada tira en la pila es una tira de acuerdo con la invención, de modo que cada tira comprende una zona de borde de espesor relativamente reducido. Sin embargo, este no es necesariamente el caso, y se conciben realizaciones en las que se incluyen también en la pila tiras de espesor sustancialmente uniforme que no comprenden zonas de borde de espesor relativamente reducido. Por ejemplo, pueden interponerse tiras de espesor sustancialmente uniforme entre tiras que tengan zonas de borde de espesor relativamente reducido. De esta manera, pueden definirse aún zonas de holgura entre tiras adyacentes, de modo que la resina pueda infiltrarse entre tiras adyacentes.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la realización de una cabeza de larguero (146) para una pala de turbina eólica, comprendiendo el método:

- 5 (a) proporcionar una pluralidad de tiras de compuesto de fibra (100) fabricadas por pultrusión alargadas, siendo cada tira de sección transversal sustancialmente constante definida por un primer y un segundo lado (102, 104) que se extienden longitudinalmente y mutuamente opuestos y primeros y segundos bordes longitudinales (110, 112), comprendiendo el primer y segundo lado, respectivamente, primeras y segundas superficies (118) de apoyo sustancialmente planas, definiendo la separación entre el primer y segundo lado el espesor de la tira, siendo la tira de espesor sustancialmente uniforme entre la primera y segunda superficie de apoyo, comprendiendo una primera zona de borde (120) de la tira un primer borde (110) de la tira que es de espesor relativamente reducido, comprendiendo el primer lado de la tira una superficie de borde (122) adyacente a la primera superficie de apoyo (118) en la primera zona de borde (120) de la tira, y teniendo la tira una primera capa de lámina pelable (114) que cubre al menos parcialmente la primera superficie de apoyo (118) y que cubre al menos parcialmente la superficie de borde (122);
- 10 (b) retirar la primera de las capas de lámina pelable (118) de las tiras (100) respectivas;
- (c) apilar las tiras (100) en un molde (150) de modo que la primera superficie de apoyo (118) de cada tira se enfrente a una superficie de apoyo de una tira adyacente en la pila para definir una zona de interfaz (142) entre las tiras, y de modo que se defina una zona de holgura (144) entre la primera zona de borde de cada tira y una zona de borde de una tira adyacente en la pila;
- 15 (d) suministrar resina a las zonas de holgura (144) respectivas y hacer que la resina se infiltre dentro de las zonas de interfaz (142) entre tiras (100) adyacentes; y
- (e) curar la resina para unir las tiras (100) entre sí.

25 2. El método de la reivindicación 1, en el que se dispone una capa intermedia en la zona de interfaz (142) entre la primera superficie de apoyo (118) de cada tira (100) y la superficie de apoyo de la tira adyacente en la pila.

30 3. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que cada tira (100) tiene una segunda zona de borde de espesor relativamente reducido, comprendiendo la segunda zona de borde el segundo borde (112) de la tira, y la etapa (c) del método comprende el apilado de las tiras en el molde de modo que se defina una zona de holgura entre la segunda zona de borde de cada tira y una zona de borde de una tira adyacente en la pila.

35 4. El método de la reivindicación 3, en el que el primer lado de cada tira (100) comprende una superficie de borde entre el segundo borde y la primera superficie de apoyo, estando la superficie de borde inclinada con relación a la primera superficie de apoyo, y la primera capa de la lámina pelable (114) cubre al menos parcialmente la superficie de borde, y la etapa (b) del método comprende retirar la primera capa de la lámina pelable de la superficie de borde.

40 5. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la segunda superficie de apoyo (118) de cada tira (100) se cubre al menos parcialmente mediante una segunda capa de lámina pelable (114), y la etapa (b) del método comprende retirar las segundas capas de la lámina pelable de las tiras respectivas para exponer las fibras sobre las segundas superficies de apoyo respectivas; y la etapa (c) del método comprende el apilado de las tiras en el molde (150) de modo que la segunda superficie de apoyo de cada tira se enfrente a una superficie de apoyo de una tira adyacente en la pila para definir una zona de interfaz (142) entre las tiras.

45 6. Una tira de compuesto de fibra (100) fabricada por pultrusión para apilado con una o más tiras similares para formar una cabeza de larguero (146) de una pala de turbina eólica, siendo la tira de sección transversal sustancialmente constante definida por un primer y un segundo lado (102, 104) mutuamente opuestos y que se extienden longitudinalmente y primeros y segundos bordes longitudinales (110, 112), comprendiendo el primer y segundo lado, respectivamente, primeras y segundas superficies de apoyo (118) sustancialmente planas, definiendo la separación entre el primer y segundo lado el espesor de la tira, siendo la tira de espesor sustancialmente uniforme entre la primera y segunda superficie de apoyo, comprendiendo una primera zona de borde (120) de la tira un primer borde de la tira (110) que es de espesor relativamente reducido, comprendiendo el primer lado (102) de la tira una superficie de borde (122) adyacente a la primera superficie de apoyo en la primera zona de borde de la tira, y

50 55 teniendo la tira una primera capa de lámina pelable (114) que cubre al menos parcialmente la primera superficie de apoyo (118) y que cubre al menos parcialmente la superficie de borde (122).

60 7. La tira de la reivindicación 6, en la que la tira (100) es de un espesor en reducción en la primera zona de borde (120).

8. La tira de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7, en la que la zona periférica (138) del primer lado (102) adyacente al primer borde (110) no se cubre mediante la primera capa de lámina pelable (114).

65 9. La tira de la reivindicación 8, en la que la primera capa de lámina pelable (114) se dispone enrasada con la zona periférica (138).

10. La tira de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en la que la segunda superficie de apoyo (118) se cubre al menos parcialmente mediante una segunda capa de lámina pelable (114).
- 5 11. La tira de la reivindicación 10, en la que el segundo lado (104) comprende una superficie de borde (122) entre el primer borde (110) y la segunda superficie de apoyo (118), y la segunda capa de lámina pelable (114) cubre al menos parcialmente dicha superficie de borde.
- 10 12. La tira de la reivindicación 11, en la que una zona periférica (138) del segundo lado adyacente al primer borde no se cubre mediante la segunda capa de lámina pelable.
- 15 13. Una pala de turbina eólica que tiene una cabeza de larguero (146) que comprende una pluralidad de tiras de compuesto de fibra (100) fabricadas por pultrusión tal como se define en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9 en la que se retira la primera capa de lámina pelable (114) de las tiras respectivas, o tal como se define en las reivindicaciones 10 a 12 en la que se retiran la primera y segunda capa de lámina pelable de las tiras respectivas, estando dispuestas las tiras en una pila de modo que se define una zona de holgura (114) entre la primera zona de borde de cada tira (120) y una zona de borde de una tira adyacente en la pila, en la que las tiras adyacentes se unen entre sí mediante una capa de resina en una zona de interfaz (142) entre las tiras, llenando la capa de resina también al menos parcialmente la zona de holgura definida entre las tiras.
- 20 14. Una turbina eólica que comprende la pala de turbina eólica de la reivindicación 13.
- 25 15. Un método de fabricación de una tira (100) tal como se ha definido en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, que comprende sacar una bandeja de fibras recubiertas con resina y la primera capa de lámina pelable a través de un troquel de pultrusión que tiene una sección transversal que corresponde a la sección transversal de la tira definida en la reivindicación 6.

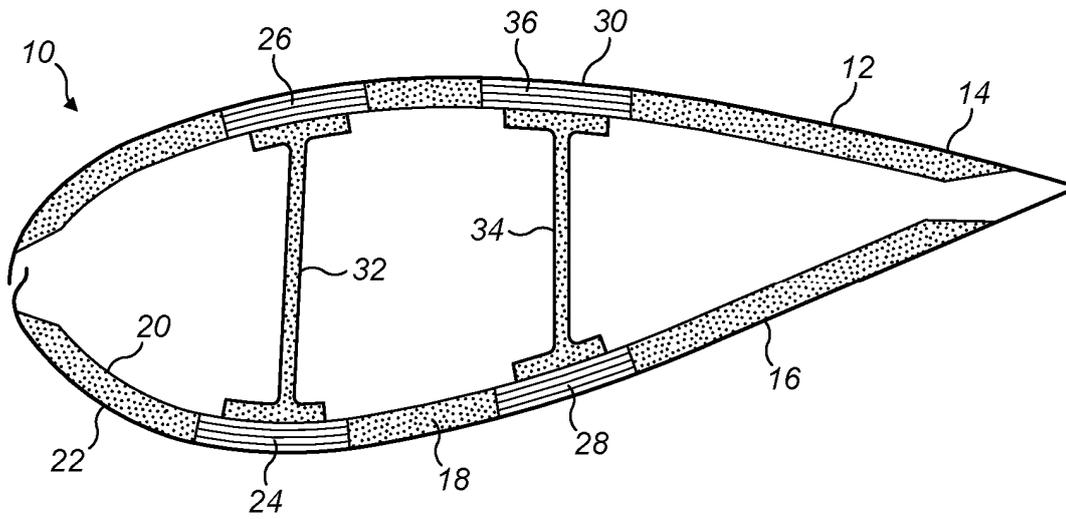


FIG. 1

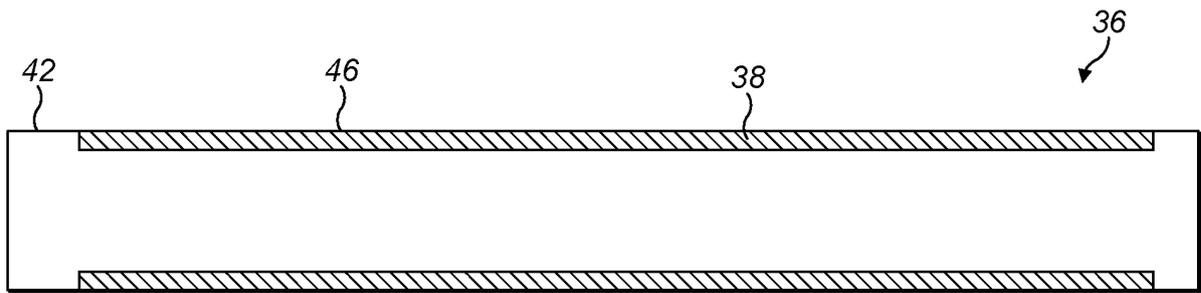


FIG. 2a
(Técnica anterior)

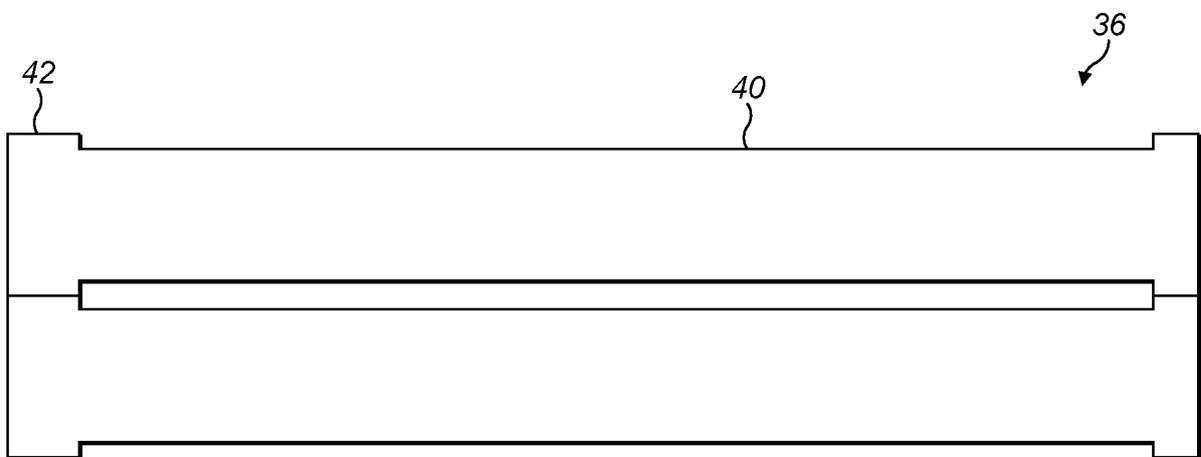


FIG. 2b
(Técnica anterior)

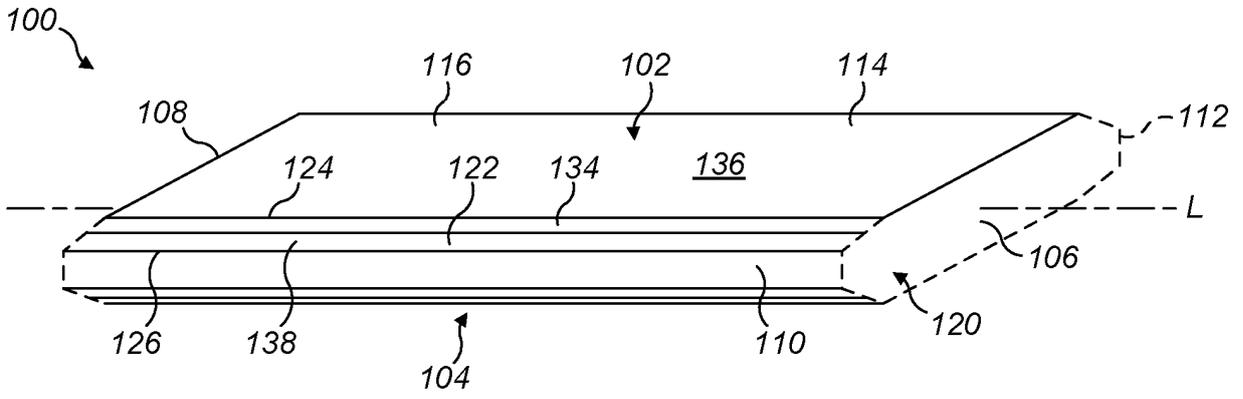


FIG. 3a

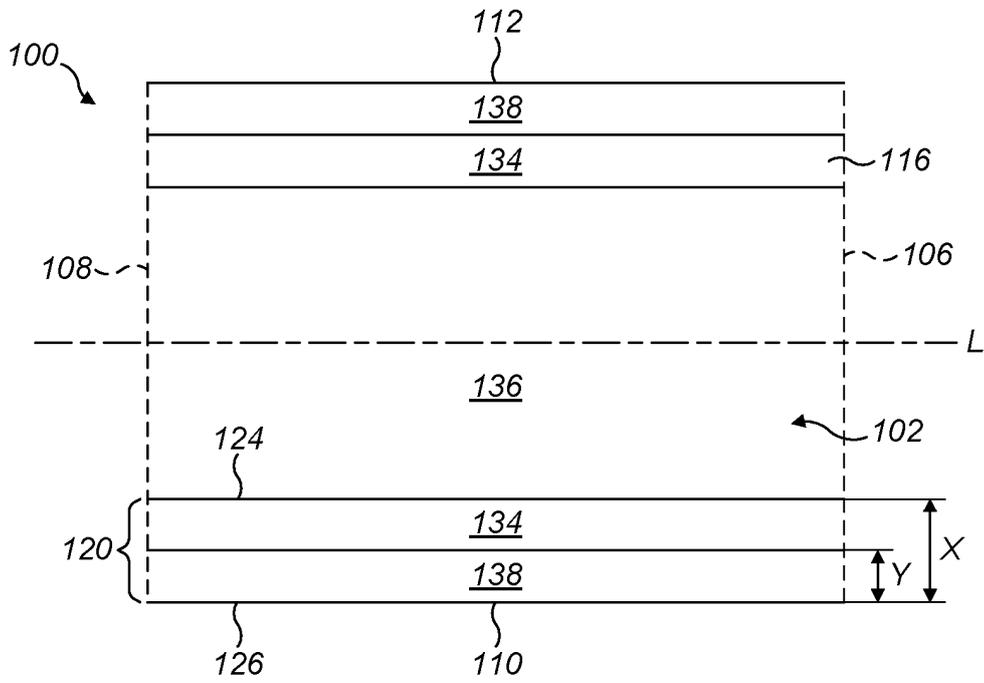


FIG. 3b

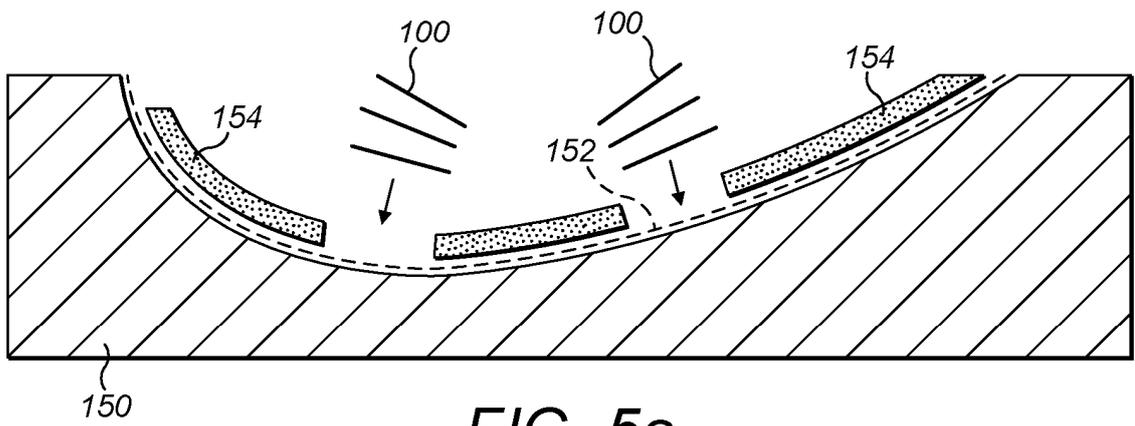


FIG. 5a

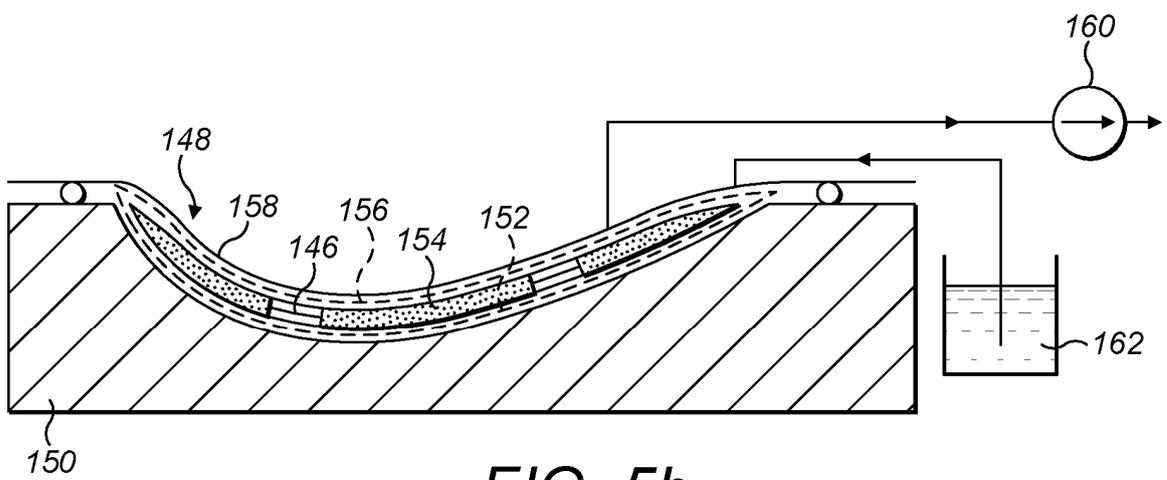


FIG. 5b