

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 552**

51 Int. Cl.:

**B29C 65/00** (2006.01)

**B29C 70/08** (2006.01)

**F03D 1/06** (2006.01)

**B29L 31/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.07.2014 PCT/GB2014/052337**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15015202**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2014 E 14749968 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020 EP 3027385**

54 Título: **Carenado aerodinámico resistente a la erosión**

30 Prioridad:

**01.08.2013 GB 201313779**

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

**01.03.2021**

73 Titular/es:

**BLADE DYNAMICS LIMITED (100.0%)  
Saunders Drive  
Cowes, Isle Of Wight PO31 8HU, GB**

72 Inventor/es:

**BEHMER, HARALD;  
BROOME, PETER ANTHONY y  
HAYDEN, PAUL TREVOR**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

ES 2 808 552 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

Carenado aerodinámico resistente a la erosión

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un carenado aerodinámico resistente a la erosión y más en particular a un carenado aerodinámico resistente a la erosión para una pala de rotor. La presente invención se describe en el presente documento por medio de un ejemplo práctico como un carenado aerodinámico resistente a la erosión para una pala de turbina eólica. Sin embargo, es fácilmente aplicable a otros tipos de superficies expuestas a la erosión, tales como las palas de rotor de un helicóptero o las aspas de un ventilador.

10 **[0002]** Las grandes palas de turbina eólica de tres palas rotan típicamente con velocidades de punta en el rango de 75 a 100 metros por segundo. Para algunas turbinas de dos palas, las palas pueden rotar con una velocidad de punta de hasta 130 metros por segundo. Esto causa condiciones de erosión muy severas en la punta de la pala, así como a lo largo del 1/3 externo del borde delantero, lo que daña la pala en estas áreas. Aunque típicamente se espera que las palas eólicas duren 20 años, este no suele ser el caso debido al daño causado por la erosión del borde delantero que requiere la reparación de la pala. Sin embargo, la reparación del borde delantero no es fácil, ya que se realiza típicamente con la pala aún erigida en la turbina. Esto también tiene implicaciones significativas de coste y seguridad, en particular si la turbina eólica se localiza en alta mar.

20 **[0003]** Para reducir el daño causado por la erosión, se sabe que protege el borde delantero de una pala de turbina eólica usando un recubrimiento de pintura especializado. Dichas pinturas, por ejemplo "BladeRep LEP 9" disponible de Mankiewicz Gebr. & Co. de Hamburgo, Alemania, tienen formulaciones muy llenas y especiales para brindar una mayor protección al borde delantero de una pala de turbina eólica. Sin embargo, aunque la resistencia a la erosión aumenta en el área a la cual se aplica la pintura, la protección proporcionada por un recubrimiento de pintura especializado disminuirá con el tiempo y no durará la vida útil de diseño de pala esperado de 20 años sin mantenimiento.

30 **[0004]** Otro ejemplo conocido de una medida de protección contra la erosión para las palas de turbina eólica es el uso de bordes delanteros metálicos. Sin embargo, estos dan lugar a un aumento en la masa de la punta de la pala y, por tanto, aumentan las cargas sobre el resto de la pala y de la turbina. Los bordes de ataque metálicos también aumentan la rigidez local de la pala, lo que puede empeorar el rendimiento aerodinámico y puede complicar los sistemas de protección contra rayos necesarios para la pala debido a su naturaleza conductiva.

35 **[0005]** También es conocida la aplicación de una capa protectora de película termoplástica sobre el borde delantero de una pala de turbina eólica. Se puede ver un ejemplo de esto en la Figura 1, que muestra el borde delantero 118 de un carenado 110 para una pala de turbina eólica a la cual se fija una capa protectora de la película termoplástica 120. Típicamente, el carenado 110 se forma a partir de un cuerpo laminado compuesto 112 y la película termoplástica 120 se aplica posteriormente al borde delantero 118 como una cinta delgada (150 mm de ancho) con una capa de adhesivo sensible a la presión 119. Dichas películas ofrecen buena resistencia a la erosión pero son difíciles de aplicar. Además, la calidad de la unión entre la película termoplástica 120 y el cuerpo laminado 112 depende de que la superficie del carenado 110 esté libre de grasa y polvo, etc.

45 **[0006]** De forma alternativa, es conocida la aplicación de la película termoplástica a la pala durante el moldeo del carenado como se describe en la Publicación Internacional N.º WO2006/066593. En este procedimiento, se colocan capas de fibra de refuerzo encima de una película colocada contra la superficie del molde, después de lo cual se aplica resina para unir las capas. Aunque este procedimiento proporciona una unión mejorada en relación con las películas postaplicadas, es difícil controlar la calidad de la interfaz entre la película y el carenado y la calidad del sustrato inmediatamente debajo de la película usando este procedimiento.

50 **[0007]** Un ejemplo más conocido de un carenado resistente a la erosión se puede encontrar en la publicación internacional N.º WO2010/117262. Este carenado comprende un cuerpo compuesto formado por carcasas de pala reforzadas con fibra y una cubierta protectora formada por una capa termoplástica, una estera de fibra de vidrio y una capa de resina epoxi curada. El cuerpo compuesto y la cubierta protectora se forman por separado y la cubierta protectora se pone en un rebajo en el cuerpo compuesto antes de que los dos componentes se fijen juntos usando una capa de resina epoxi curable por calor. Sin embargo, este enfoque requiere un control preciso de la tolerancia de las piezas para garantizar que encajen entre sí correctamente y, al igual que con la aplicación de una película termoplástica, la calidad de la unión entre la cubierta y el cuerpo compuesto no se controla fácilmente, ya que depende de la limpieza de las superficies unidas.

60 **[0008]** De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un carenado aerodinámico resistente a la erosión para una pala de rotor, de acuerdo con la materia objeto de la reivindicación 1.

65 **[0009]** El uso de una forma previa formada por una película termoplástica fusionada directamente a un sustrato de fibra y la fijación de la capa resistente a la erosión con la resina del cuerpo de carenado permite un control mucho mejor de la calidad de la interfaz entre el carenado y la película y de la calidad del sustrato inmediatamente debajo de la película, que se ha encontrado que tiene un efecto significativo en el rendimiento de erosión a largo

plazo del carenado

5 **[0010]** La película termoplástica puede comprender cualquier material termoplástico adecuado, por ejemplo poliuretano. Preferentemente, la película termoplástica comprende un poliuretano alifático. Se ha descubierto que estos tipos de poliuretano poseen propiedades resistentes a la erosión, estabilidad hidrolítica y flexibilidad a baja temperatura, lo que los hace muy adecuados para su uso en carenados aerodinámicos. La energía superficial de estos materiales también les permite adherirse bien a las resinas epoxídicas, mejorando aún más la fijación de la capa resistente a la erosión al cuerpo compuesto. Más preferentemente, el poliuretano alifático comprende glicoles de poliéter, poliéster o caprolactona de cadena larga y corta, o una combinación de los mismos del cuerpo compuesto de la misma manera que la película termoplástica 120 mostrada en la Figura 1.

15 **[0011]** De acuerdo con la invención, la película tiene una superficie externa texturizada. Al tener una superficie externa texturizada, es decir, la superficie que entra en contacto con el molde durante la fabricación, el aire puede escapar fácilmente cuando la preforma se coloca en el molde y se aplica un vacío. Esto da como resultado una mejora adicional de la calidad del carenado final resistente a la erosión.

20 **[0012]** La textura superficial puede ser cualquier disposición adecuada. Preferentemente, la textura superficial comprende una pluralidad de protuberancias que pueden comprender una pluralidad de protuberancias cuadradas y/o piramidales dispuestas preferentemente en una disposición regular. Se ha descubierto que esto da como resultado un carenado de calidad particularmente alta.

25 **[0013]** De acuerdo con la invención, la capa resistente a la erosión se pone y se fija a la superficie externa del cuerpo de carenado de manera que los bordes de la capa resistente a la erosión están a ras del cuerpo de carenado. Con esta disposición, la capa resistente a la erosión no tiene bordes libres, lo que reduce el riesgo de que la película termoplástica se despegue de sus bordes y evita los pasos aerodinámicos a través de la superficie externa del carenado que de lo contrario pueden empeorar el rendimiento aerodinámico.

30 **[0014]** La capa resistente a la erosión puede aplicarse a toda la longitud de una pala de rotor. Preferentemente, la capa resistente a la erosión está sustancialmente confinada al tercio más externo de la longitud de la pala. En dicha disposición, la pala todavía puede incluir uno o más parches de la capa resistente a la erosión hacia adentro del tercio más externo de la longitud de la pala, por ejemplo para proteger la pala en áreas de erosión localmente alta.

35 **[0015]** La capa resistente a la erosión se puede fijar al cuerpo compuesto sobre todo el perfil de una pala de rotor, o sobre una parte particular de la pala de rotor, tal como el borde posterior. Preferentemente, la capa resistente a la erosión está fijada al cuerpo de carenado en el borde delantero de la pala de rotor.

40 **[0016]** De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento para fabricar un carenado aerodinámico resistente a la erosión para una pala de rotor de acuerdo con la materia objeto de la reivindicación 9.

**[0017]** Este procedimiento disfruta de las mismas ventajas mencionadas anteriormente con respecto al primer aspecto de la presente invención.

45 **[0018]** La película termoplástica puede extrudirse o fundirse directamente sobre el sustrato de fibra. De forma alternativa, la etapa de fusionar la película termoplástica al sustrato de fibra comprende calentar la película termoplástica y el sustrato de fibra a una temperatura de al menos 60 °C y presionarlos juntos. Esto asegura que la película termoplástica esté fuertemente fusionada al sustrato de fibra. Preferentemente, la película y el sustrato se fusionan juntos a una temperatura de entre 60 °C y 150 °C. Esto asegura que la película termoplástica esté fuertemente fusionada con el sustrato de fibra y también evita la pérdida de forma de la película termoplástica que puede producirse a temperaturas más altas, proporcionando por tanto un acabado superficial de alta calidad.

50 **[0019]** La preforma y el cuerpo de carenado se pueden unir sin ningún calentamiento significativo de la película termoplástica. En un modo de realización preferente, la película termoplástica se calienta por encima de su temperatura de reblandecimiento Vicat antes de que la resina alcance su viscosidad mínima.

55 **[0020]** El paso de impregnar la capa de fibra de refuerzo puede incluir la impregnación de la capa de fibra de refuerzo con la resina curable después de colocar la capa de fibra de refuerzo en el molde. Por ejemplo, la capa de fibra de refuerzo se puede infundir con la resina al vacío. Preferentemente, la etapa de impregnar la capa de fibra de refuerzo incluye preimpregnar la capa de fibra de refuerzo con la resina curable antes de colocar la capa de fibra de refuerzo en el molde. Esto permite un contenido de resina altamente controlado y una mayor fiabilidad y repetibilidad del proceso, tiempos de proceso reducidos y permite el uso de resinas de mayor rendimiento para mejorar el rendimiento mecánico del carenado.

60 **[0021]** El sustrato de fibra puede insertarse en el molde sin haber aplicado previamente ninguna resina. Usando este enfoque, a medida que el apilado de la preforma y del cuerpo compuesto no curado se cura, la resina migra

del compuesto no curado para impregnar el sustrato de fibra antes de curar para fijar la capa resistente a la erosión al cuerpo de carenado. De forma alternativa, el sustrato de fibra se puede impregnar previamente con la resina curable antes de colocar la preforma en el molde.

5 **[0022]** Durante la etapa de curado, la resina puede impregnar el sustrato de fibra solo parcialmente. Esto aun así dará como resultado una unión firme entre la capa resistente a la erosión y el cuerpo de carenado. En un modo de realización preferente, la resina impregna completamente el sustrato de fibra durante la etapa de curado. Esto permite que la resina proporcione una conexión química adicional a la película termoplástica para mejorar la fijación de la película termoplástica al carenado.

10 **[0023]** La capa resistente a la erosión y el material compuesto no curado pueden curarse juntos, o "curarse conjuntamente", a cualquier temperatura adecuada. Preferentemente, la etapa de curado comprende calentar la resina curable a una temperatura de 60 °C a 130 °C. Esto permite una fijación firme entre las dos capas pero evita la distorsión de la película termoplástica y un acabado superficial deficiente que puede resultar de temperaturas más altas.

15 **[0024]** En un modo de realización preferente, el procedimiento comprende además el paso de aplicar una textura superficial a la superficie externa de la película termoplástica antes del paso de colocar la preforma en el molde, más preferentemente durante el paso de fusionar la película termoplástica al sustrato de fibra para formar la preforma. Como se indica anteriormente con respecto al primer aspecto de la invención, la textura superficial permite que el aire escape más fácilmente cuando la preforma se coloca en el molde y se aplica un vacío. Esto da como resultado una mejora adicional de la calidad del carenado final resistente a la erosión. La textura superficial puede ser cualquier disposición adecuada. Preferentemente, la textura superficial comprende una pluralidad de protuberancias que pueden comprender una pluralidad de protuberancias cuadradas y/o piramidales dispuestas preferentemente en una disposición regular. Se ha descubierto que esto da como resultado un carenado de calidad particularmente alta.

**[0025]** Ejemplos de la invención se describirán ahora con referencia a los dibujos, en los cuales:

30 la Figura 1 es una vista en sección transversal del borde delantero de un carenado aerodinámico convencional resistente a la erosión para una pala de turbina eólica;

la Figura 2 es una vista en sección transversal del borde delantero de un carenado aerodinámico resistente a la erosión para una pala de turbina eólica de acuerdo con la presente invención; y

35 las Figuras 3 a 6 son vistas esquemáticas en sección transversal del carenado de la Figura 2 en diversas etapas de fabricación.

40 **[0026]** En referencia a la Figura 2, se muestra un carenado aerodinámico resistente a la erosión 10. El carenado aerodinámico resistente a la erosión 10 está formado por un cuerpo de carenado 12 y una preforma resistente a la erosión 14 fijada a una superficie externa 16 del cuerpo de carenado 12 en el borde delantero 18 del carenado 10.

45 **[0027]** En referencia a las Figuras 3 y 4, la preforma resistente a la erosión 14 comprende una capa externa de película termoplástica 20 fusionada a un sustrato de fibra 22. La película termoplástica 20 se forma a partir de un poliuretano alifático, que tiene aproximadamente 600 micras de grosor y se puede producir usando glicoles de poliéter, poliéster o caprolactona de cadena larga y corta. Los tipos de poliéter tienen una mejor estabilidad hidrolítica y flexibilidad a baja temperatura, los tipos de poliéster tienen mejores propiedades mecánicas y las caprolactonas ofrecen un buen compromiso entre las propiedades de los tipos de poliéter y poliéster. En este ejemplo, se usan glicoles de caprolactona. Esto da como resultado que la película 20 tenga una dureza Shore A de aproximadamente 75 a 95, un alargamiento de al menos un 300 % y una energía superficial en la región de 40 a 44 mN/m. El sustrato de fibra 22 es una preforma de tela de fibra de vidrio que es multiaxial y tiene un peso de aproximadamente 150 g/m<sup>2</sup>.

55 **[0028]** La película termoplástica 20 y el sustrato de fibra 22 se calientan a una temperatura de 60 a 150 °C y se presionan juntos bajo una presión adicional de aproximadamente 1 bar durante aproximadamente 60 segundos. Esto causa que la película 20 y el sustrato 22 se fusionen, formando la preforma resistente a la erosión 14, como se muestra en la Figura 3. El proceso de fusión crea una conexión muy fuerte entre la película 20 y el sustrato 22. Además, en esta etapa, la preforma resistente a la erosión 14 es muy flexible y se puede colocar fácilmente en un molde para obtener una forma compleja, tal como para el borde delantero de una pala de turbina eólica.

60 **[0029]** En referencia finalmente a las Figuras 5 y 6, se muestra la fabricación del carenado 10. La preforma 14 resistente a la erosión se coloca en un molde 24 con la película termoplástica 20 contra la superficie del molde 24. Después de esto, las capas de preimpreg. 26, que se forman a partir de fibras de vidrio o carbono impregnadas previamente con una resina epoxi, se colocan sobre la preforma resistente a la erosión 14 para formar el laminado compuesto típico requerido para un carenado, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 5.

65

5 **[0030]** La preforma resistente a la erosión 14 y las capas de preimpreg. 26 se curan a continuación al vacío y a una temperatura de entre 60 y 130 °C durante aproximadamente 12 horas de la misma manera que para el procesamiento de preimpreg. normal. A medida que el apilamiento de la capa resistente a la erosión 14 y de las capas de preimpreg. 26 se cura, la resina del preimpreg. 26 migra e impregna el sustrato de fibra 22. La resina se cura completamente para formar el cuerpo de carenado 12 a partir del preimpreg. 26 y para fijar la preforma resistente a la erosión 14 al cuerpo compuesto 12. Al hacerlo, la resina forma una matriz continua a través del cuerpo compuesto 12 y la preforma 14 resistente a la erosión para unir firmemente las dos capas. La resina también forma una conexión química con la película termoplástica 20, fortaleciendo aún más la fijación de la preforma resistente a la erosión 14 al cuerpo compuesto 12. Por tanto, la interfaz resultante entre el cuerpo de carenado 12 y la preforma resistente a la erosión 14 está bien controlada y el cuerpo de carenado 12 y el sustrato de fibra 22 proporcionan un sustrato de muy alta calidad directamente debajo de la película termoplástica 20 para mejorar el rendimiento de la erosión a largo plazo.

10  
15 **[0031]** Dado que el cuerpo de carenado 12 y el preformado resistente a la erosión 14 están cocurados, el cuerpo de carenado 12 está conformado alrededor de la preforma resistente a la erosión 14, de modo que los bordes de la preforma resistente a la erosión 14 quedan a ras del cuerpo de carenado 12. Esto le da al carenado 10 resultante un perfil exterior liso, como se muestra en la Figura 6. Este perfil liso reduce el impacto de la preforma resistente a la erosión 14 en el rendimiento aerodinámico y evita la presentación de bordes libres que de otro modo podrían dar lugar a que la preforma resistente a la erosión 14 se elimine más fácilmente del cuerpo de carenado 12.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) para una pala de rotor, comprendiendo el carenado:
  - 5 un cuerpo de carenado (12) formado por al menos una capa de fibra de refuerzo puesta en una resina curada; y
  - una preforma resistente a la erosión (14) fijada a una superficie externa del cuerpo de carenado,
  - 10 en el que la preforma resistente a la erosión (14) comprende una capa externa de película termoplástica (20) fusionada a un sustrato de fibra (22), teniendo la película termoplástica (20) una superficie externa texturizada configurada para entrar en contacto con un molde,
  - 15 en el que el sustrato de fibra (22) de la preforma resistente a la erosión (14) está impregnado con la resina curada del cuerpo de carenado (12) que se fija en la preforma al cuerpo de carenado (12), y
  - 20 en el que la preforma resistente a la erosión se fija a la superficie externa del cuerpo de carenado (12) de modo que los bordes de la preforma resistente a la erosión están a ras con el cuerpo de carenado (12) y el carenado (10) tiene un perfil externo liso.
2. Un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la película termoplástica (20) comprende un poliuretano alifático.
3. Un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la superficie externa texturizada comprende una pluralidad de protuberancias.
4. Un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la pluralidad de protuberancias comprende una pluralidad de protuberancias cuadradas y/o piramidales dispuestas preferentemente en una disposición regular.
5. Una pala de rotor que comprende un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.
6. Una pala de rotor (10) de acuerdo con la reivindicación 5, en la que la capa resistente a la erosión está sustancialmente confinada al tercio más externo de la longitud de la pala.
7. Una pala de rotor de acuerdo con la reivindicación 5 o con la reivindicación 6, en la que la capa resistente a la erosión está fijada al cuerpo de carenado (12) en el borde delantero de la pala de rotor.
8. Una turbina eólica que comprende un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.
9. Un procedimiento para fabricar un carenado aerodinámico resistente a la erosión (10) para una pala de rotor de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende:
  - 45 fusionar una película termoplástica (20) a un sustrato de fibra (22) para formar una preforma resistente a la erosión (14);
  - 50 colocar la preforma resistente a la erosión (14) en un molde de manera que la película se coloca directamente contra la superficie del molde;
  - colocar al menos una capa de fibra de refuerzo en el molde y en la parte superior de la preforma;
  - 55 impregnar la capa de fibra de refuerzo con una resina curable para formar un cuerpo compuesto no curado; y
  - 60 curar la resina para formar un cuerpo de carenado (12) a partir del cuerpo compuesto sin curar, de modo que la resina impregna el sustrato de fibra y forma una matriz de resina continua entre la preforma (14) y la capa de fibra de refuerzo para fijar la preforma al cuerpo de carenado (12).
10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la etapa de fusionar la película termoplástica (20) al sustrato de fibra (22) comprende calentar la película termoplástica (20) y el sustrato de fibra a una temperatura de al menos 60 °C, más preferentemente entre 60 °C y 150 °C, y presionándolos juntos.
11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la etapa de fusionar la película termoplástica (20) al sustrato de fibra (22) comprende extrudir o fundir la película termoplástica (20) directamente sobre el

sustrato de fibra (22).

- 5      **12.** Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la película termoplástica (20) se calienta por encima de su temperatura de reblandecimiento Vicat antes de que la resina alcance su viscosidad mínima.
- 10     **13.** Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que la película termoplástica (20) comprende un poliuretano alifático.
- 10     **14.** Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende además:  
aplicar una textura superficial a una superficie externa de la película termoplástica (20) antes del paso de colocar la preforma en el molde.

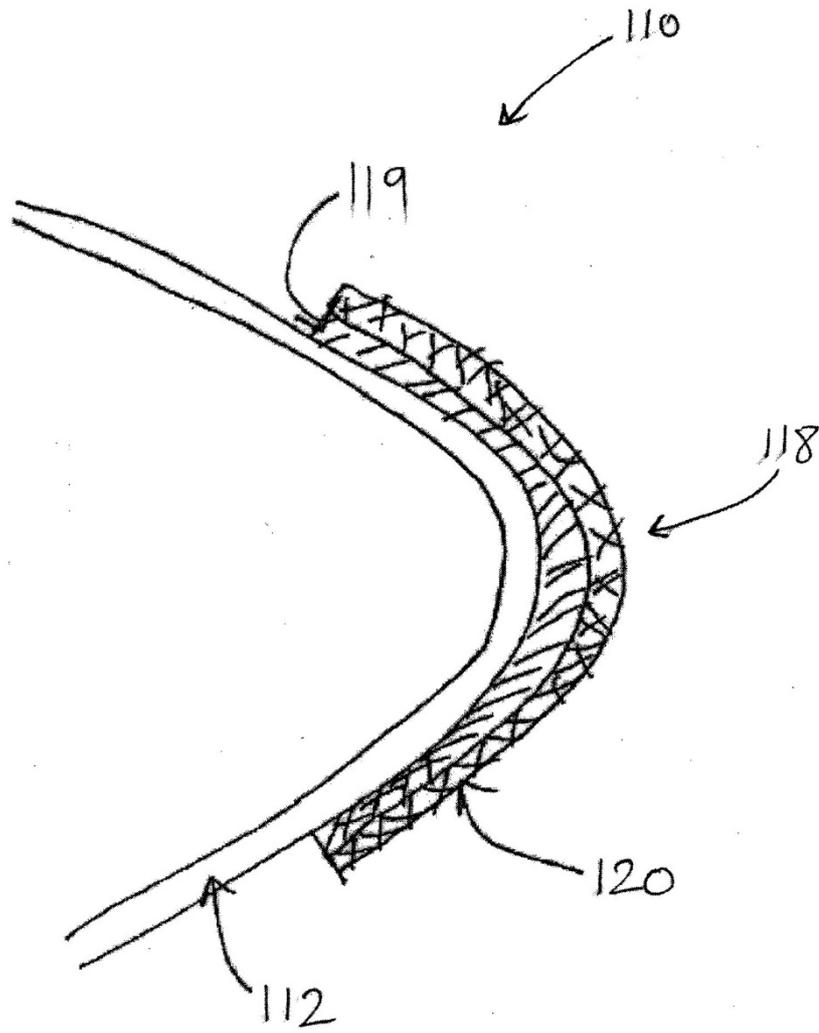


Figura 1

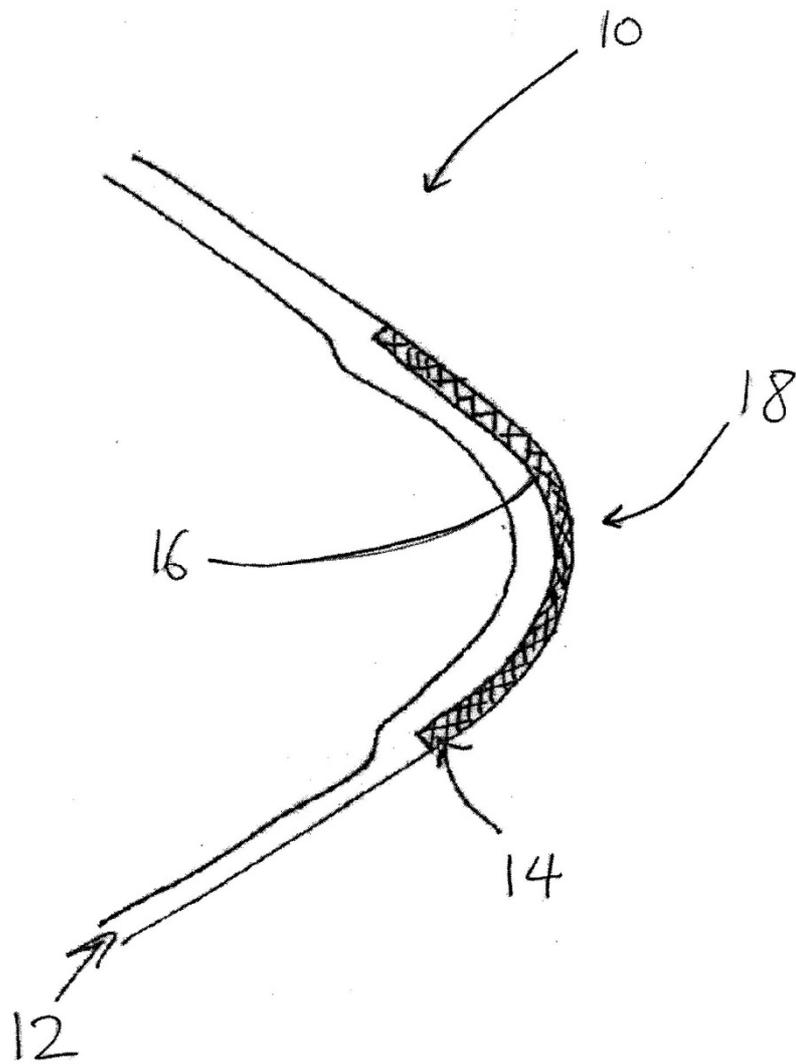


Figura 2

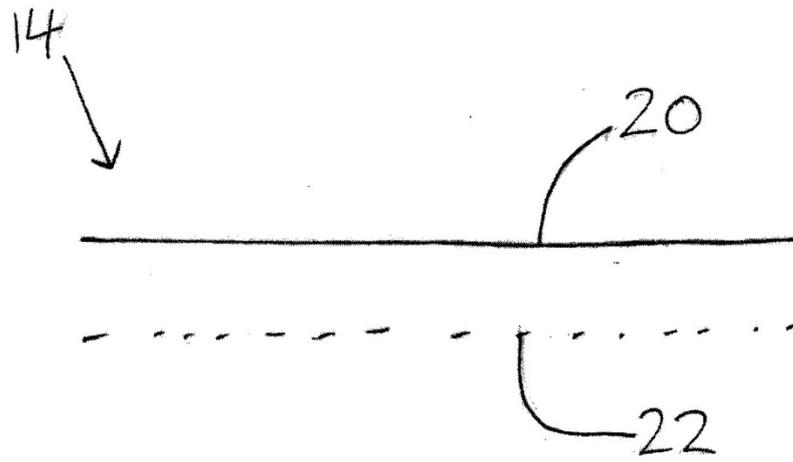


Figura 3

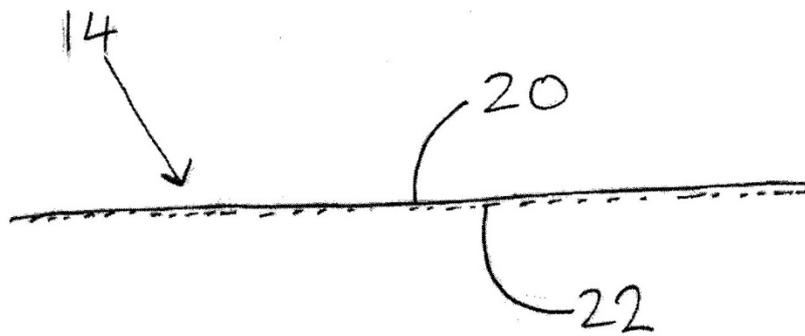


Figura 4

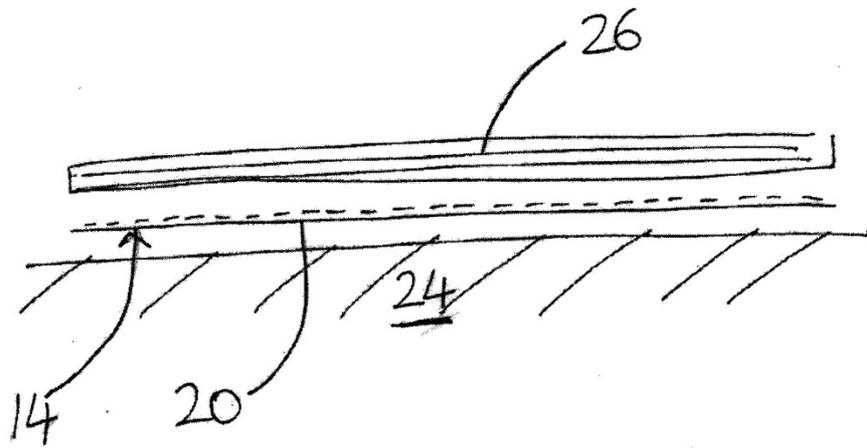


Figura 5

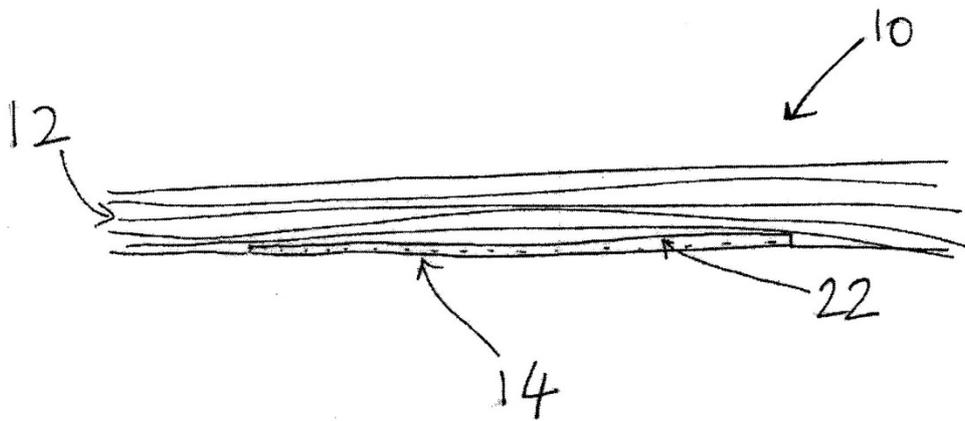


Figura 6