

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 475**

51 Int. Cl.:

B32B 5/26 (2006.01)

B32B 5/28 (2006.01)

B29C 70/42 (2006.01)

B29C 70/08 (2006.01)

B29C 70/54 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2009 PCT/FR2009/052039**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.04.2010 WO2010046609**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2009 E 09760204 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2016 EP 2342073**

54 Título: **Materiales de refuerzo novedosos, adaptados para la formación de piezas de material compuesto**

30 Prioridad:

23.10.2008 FR 0857214

06.02.2009 FR 0950759

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

13.06.2017

73 Titular/es:

HEXCEL REINFORCEMENTS (100.0%)

**45 rue de la Plaine
01120 Dagneux, FR**

72 Inventor/es:

**BERAUD, JEAN-MARC;
LAMETHE, JEAN-FLORENT y
MINNI, JEAN-CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 616 475 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

Materiales de refuerzo novedosos, adaptados para la formación de piezas de material compuesto

5 La presente invención se refiere al campo técnico de los materiales de refuerzo adaptados para la formación de piezas de material compuesto. Más concretamente, la invención se refiere a un nuevo material intermedio que incluye una capa unidireccional para la realización de piezas de material compuesto, mediante inyección o infusión posterior de resina termoendurecible, los apilamientos multiaxiales de dichos materiales, un procedimiento de fabricación de piezas de material compuesto a partir de un apilamiento de dicho material, así como las piezas de material compuesto
10 obtenidas.

La fabricación de piezas o artículos de material compuesto, es decir, que comprenden, por una parte, uno o varios refuerzos o capas fibrosas y, por otra, una matriz de tipo termoendurecible ("resina") y que puede incluir materiales termoplásticos, puede, por ejemplo, llevarse a cabo mediante un procedimiento denominado "directo" o "LCM" del inglés "Liquid Compuesto Moulding", moldeo de compuesto en medio líquido). Un procedimiento directo se define por el hecho de que uno o varios refuerzos fibrosos se aplican en estado "seco" (es decir, sin la matriz final), la resina o la matriz, aplicándose por separado, por ejemplo, mediante inyección en el molde que contienen los refuerzos fibrosos (proceso "RTM", del inglés Resin Transfer Moulding", moldeo de transferencia de resina), por infusión a través del espesor de los refuerzos fibrosos (procedimiento "LRI", del inglés "Liquid Resin Infusion", infusión de resina líquida, o procedimiento "RFI", del inglés "Resin Film Infusion", infusión de película de resina), o incluso mediante recubrimiento/impregnación manual con rodillo o pincel, sobre cada una de las capas individuales de refuerzo fibroso, aplicadas sucesivamente sobre la forma.

Para los procedimientos RTM, LRI o RFI, por lo general, es necesario fabricar en primer lugar una preforma fibrosa con la forma del artículo acabado deseado, después impregnar esta preforma con una resina. La resina se inyecta o infunde mediante diferencia de presiones a una temperatura, a continuación, una vez que toda la cantidad de resina necesaria está incluida en la preforma, el conjunto se calienta a una temperatura más elevada para realizar el ciclo de polimerización/reticulación y así producir su endurecimiento.

30 Las piezas de material compuesto utilizadas en la industria del automóvil, aeronáutica o naval, están sometidas particularmente a requisitos muy estrictos, especialmente en lo que se refiere a sus propiedades mecánicas. Sin embargo, las propiedades mecánicas de las piezas están vinculadas principalmente a un parámetro que es el índice volumétrico de fibras (TVF).

35 En estos sectores, un importante número de preformas realiza con material de refuerzo, principalmente de fibras de carbono, especialmente de tipo unidireccional. El documento EP 1731282 describe una preforma formada a partir de una pluralidad de sustratos de fibras de refuerzo, apilados unos sobre otros, realizado cada uno de ellos con al menos hilos fibrosos de refuerzo, que incluye un material de resina cuyo componente principal es una resina termoplástica y está estratificado entre las capas de dichos sustratos de fibras de refuerzo en dicha preforma, así como un FRP (plástico reforzado con fibras) moldeado a partir de dicha preforma y los procedimientos que permiten su obtención. Dicha preforma comprende orificios pasantes que se extienden a través de una pluralidad de sustratos de fibras de refuerzo en la dirección del espesor de dicha preforma.

45 Es posible calcular teóricamente el índice volumétrico máximo de las fibras contenidas en una capa unidireccional, suponiendo dos tipos de disposición: hexagonal o cuadrada. Suponiendo respectivamente una disposición de tipo hexagonal y una disposición de tipo cuadrada, el TVF máximo obtenido es, respectivamente, de 90,7 % y 78,5 % (An Introduction to Composite Materials, D. Hull, T.W. Clyne, Segunda edición, Cambridge Solid State Science Series, 1996). Sin embargo, en la realidad, parece difícil obtener fracciones volumétricas de fibras superiores al 70 % para las piezas de material compuesto. En la práctica, el experto en la materia admite que un índice volumétrico de fibras (TVF) de aproximadamente 60 % es un patrón para la realización de piezas de material compuesto satisfactorias y esto, con una buena reproducibilidad (S. T. Peters, "Introduction, composite basics and road map", en Handbook of Composites, Chapman & Hall, 1998, p. 1- 20 y en particular la pág. 8).

55 La resina que se asocia posteriormente, especialmente mediante inyección o infusión, con capas unidireccionales de refuerzo, durante la realización de la pieza, puede ser una resina termoendurecible, por ejemplo, de tipo epoxi. Para permitir un flujo correcto a través de una preforma constituida por un apilamiento de diferentes capas de fibras de carbono, esta resina es, con mayor frecuencia, muy fluida. El principal inconveniente de este tipo de resina es su fragilidad, después de la polimerización/reticulación, lo que provoca una baja resistencia al impacto de las piezas realizadas de material compuesto.

60 Para resolver este problema, se ha propuesto en los documentos de la técnica anterior asociar las capas unidireccionales de fibra de carbono a una banda de fibras termoplásticas. Soluciones de este tipo se describen especialmente en las solicitudes de patente o las patentes EP 1125728, US 628016, WO 2007/015706, WO 2006/121961 y US 6,503,856. La adición de esta banda permite mejorar las propiedades mecánicas en el ensayo de compresión tras impacto (CAI), ensayo utilizado normalmente para caracterizar la resistencia de las estructuras frente a un impacto.

El documento US 2006/0154545 describe una solución de ese tipo en el caso de un tejido unidireccional, pero, que teniendo en cuenta las características del material descrito, no permite obtener un TVF satisfactorio.

Se indican a continuación algunos detalles sobre estas soluciones anteriores en el marco de los materiales unidireccionales. La solicitud de patente EP 1125728 a nombre de Toray Industries Inc. describe un material de refuerzo asociando una lámina de fibras de refuerzo a un material no tejido de fibras cortas. El material no tejido está estratificado sobre al menos una cara de la lámina de refuerzo, de forma que las fibras que constituyen el material no tejido pasan a través de las fibras de refuerzo (de carbono) de la lámina y de esta forma quedan integradas en las fibras de refuerzo. El material no tejido está compuesto por una mezcla de fibras con bajo punto de fusión y de fibras con elevado punto de fusión. Se debe resaltar que todos los ejemplos citados utilizan un único material no tejido asociado por una sola cara de la lámina de fibras de refuerzo constituida por un tejido o una capa unidireccional, que produce un material de refuerzo no simétrico. El ejemplo 4 utiliza una lámina de fibras de refuerzo formada por un tejido unidireccional de 300 g/m². El espesor del material no tejido utilizado no se indica, pero es bastante elevado, teniendo en cuenta su masa superficial (8 g/m²) y un índice de vacío indicado del 90 %. El apilamiento utilizado es de tipo [-45/0/+45/90]_{2s}, es decir, 7 interpliegos que contienen el único material no tejido. Si la enseñanza de dicho documento se aplica a una capa de fibra de carbono de masa superficial más baja, 134 g/m² por ejemplo, su asociación a un mismo tipo de banda, pero por ambos lados para obtener un material simétrico, produciría un índice volumétrico de fibras muy bajo, no compatible con la realización de estructuras primarias para aeronáutica.

La solicitud de patente WO 2007/015706 al nombre de The Boeing Company describe un método para fabricar preformas que combina un conjunto cosido alternando las capas de fibra de carbono y las capas de material no tejido para aumentar la resistencia al impacto de las estructuras de material compuesto. Los materiales no tejidos se colocan en cada interpliego y no a cada lado de las capas de fibra de carbono. Esta solicitud de patente no menciona intervalo de masa superficial para las capas de carbono, ni intervalo de espesores para los materiales no tejidos. Los ejemplos mencionan el uso de tres materiales no tejidos diferentes de los que solamente se citan sus superficiales 4,25 g/m² (0,125 oz/yarda² con las unidades de medida estadounidenses), 8,5 g/m² (0,25 oz/yarda²), 12,7 g/m² (0,375 oz/yarda²). No se proporciona ninguna indicación sobre el espesor de los productos. Una de las bandas a base de copoliéster tiene incluso un efecto negativo sobre las propiedades de resistencia al impacto. Los ejemplos indican el espesor de los paneles realizados, la masa superficial de las capas de carbono (190 g/m²) y el tipo de fibras de carbono (T700 que tienen una masa volumétrica de 1780 kg/m³). Los espesores varían de 0,177 a 0,187 pulgadas (es decir, de 4,5 a 4,75 mm) para los paneles que presenten los mejores resultados de límite de rotura a compresión tras impacto (CAI). A partir de estos espesores y de las informaciones sobre el tipo de fibras y la masa superficial de los pliegos de carbono, es posible evaluar el TVF de los paneles, que está comprendido entre un 54 y un 57 %, un índice inferior al normalmente considerado por el experto en la materia para la realización de piezas primarias. El mejor resultado de CAI (39,6 ksi o 273 MPa) se obtiene para un TVF del 54 %.

En la solicitud de patente WO 2006/121961, un material no tejido constituido por fibras solubles (en resinas de tipo epóxido, por ejemplo) se intercala en cada interpliego de capas de fibras de carbono durante la realización de la preforma. El material no tejido no está asociado directamente a la capa de carbono. El ejemplo presentado utiliza un tejido de fibra de carbono con una masa superficial de 370 g/m² con un material no tejido de 60 g/m². La placa realizada permite obtener un TVF solamente del 55 %. Por otra parte, la falta de precisión en el ensayo de compresión tras impacto (CAI) (falta de precisión de la energía a la que se realiza el impacto) no permite deducir el comportamiento mecánico del valor medido indicado.

La patente US 6.503.856 menciona el uso de una capa de carbono sobre la cual se superponen dos capas adhesivas en forma de banda sobre al menos un lado de la capa de carbono. Esta patente no indica los espesores de capas adhesivas (solamente los diámetros de las fibras de ambas caras) y la masa superficial de carbono preferida está comprendida entre 200 y 1000 g/m². Los generadores eléctricos (baterías, pilas de combustible) son la aplicación considerada para este tipo de producto y el interés de dicho producto no se pone en evidencia.

En consecuencia, parece que, en las técnicas de la materia anterior, la adición de una banda se realiza, muy habitualmente a costa de otras propiedades mecánicas. Efectivamente, como se ha indicado anteriormente, las propiedades mecánicas están principalmente controladas por el índice volumétrico de fibras (TVF) y las técnicas descritas en la materia anterior no permiten obtener especialmente piezas de material compuesto que tengan un TVF de aproximadamente un 60 %.

También, uno de los objetivos de la presente invención es proponer un nuevo producto intermedio, adaptado a la realización de piezas de material compuesto a base de resina termoendurecible, y especialmente mediante inyección o infusión de resina, que permite realizar las piezas de material compuesto con índices volumétricos de fibras de aproximadamente un 60 % y con propiedades mecánicas satisfactorias, para responder a determinadas solicitudes de cargas muy estrictas, impuestas por ejemplo en el ámbito de la aeronáutica.

Otro objetivo de la invención es cumplir con dichas solicitudes de cargas, proponiendo a la vez un producto intermedio simétrico que sea más fácil de aplicar y más adaptado a procesos automatizados.

En este contexto, la invención se refiere a un nuevo material intermedio para la realización de piezas de material compuesto, mediante inyección o infusión posterior de resina termoendurecible, constituido por una capa unidireccional de fibras de carbono que tienen una masa superficial de 100 a 280 g/m², asociado, en cada una de sus caras, a una banda de fibras termoplásticas que tienen un espesor de 0,5 a 50 micrómetros, presentando el producto intermedio de acuerdo con la invención un espesor total comprendido en el intervalo de 80 a 380 micrómetros, preferentemente en el intervalo de 90 a 320 micrómetros.

La presente invención tiene también por objeto un procedimiento de fabricación de un material intermedio de ese tipo donde una capa unidireccional de fibras de carbono con una masa superficial de 100 a 280 g/m², está asociada, en cada una de sus caras, a una banda de fibras termoplásticas, mostrando cada una de dichas bandas, un espesor de 0,5 a 50 micrómetros, preferentemente de 3 a 35 micrómetros, mediante una etapa de fusión/enfriamiento de las bandas, de forma que el material intermedio tenga un espesor total de 80 a 380 micrómetros, preferentemente de 90 a 320 micrómetros.

De acuerdo con otro de sus aspectos, la invención se refiere a un apilamiento de materiales intermedios de acuerdo con la invención unidos entre sí en el interior del apilamiento. De acuerdo con una realización preferida, un apilamiento de ese tipo no está unido por costura, ni por tricotado, sino mediante una soldadura realizada con una operación de calentamiento/enfriamiento de la banda.

La presente invención tiene también por objeto un procedimiento de fabricación de una pieza de material compuesto que incluye las etapas siguientes:

- a) disponer un apilamiento de materiales intermedios de acuerdo con la invención,
- b) opcionalmente, unir el apilamiento obtenido en la forma de una preforma,
- c) añadir, mediante infusión o inyección, una resina termoendurecible,
- d) unir la pieza deseada mediante una etapa de tratamiento térmico bajo presión, seguido de enfriamiento,

así como las piezas de material compuesto obtenidas que presentan especialmente un índice volumétrico de fibras (TVF) de 57 a 63 %, preferentemente del 59 al 61 %. De acuerdo con una realización particular del procedimiento de acuerdo con la invención, la resina termoendurecible se añade mediante infusión a una presión inferior a la presión atmosférica, especialmente a una presión inferior a 100 kPa (1 bar) y, por ejemplo, comprendidas entre 10 kPa (0,1 bar) y 100 kPa (1 bar).

El material intermedio y el procedimiento de acuerdo con la invención permiten realizar piezas de material compuesto que tienen un TVF de aproximadamente un 60 %, que corresponde al índice convencional para las estructuras primarias en el sector aeronáutico (es decir, las piezas fundamentales del aparato) y, análogamente, para mejorar en gran medida la resistencia al impacto a baja velocidad de las piezas de material compuesto obtenidas: por ejemplo, la caída de una herramienta en un taller durante la fabricación de una estructura de material compuesto, un choque con un cuerpo extraño durante su utilización en funcionamiento.

La presión aplicada durante un procedimiento por inyección es mayor que la usada durante un procedimiento por infusión. El resultado es que es más fácil realizar las piezas con un TVF correcto con un procedimiento de inyección que en infusión. Los materiales de acuerdo con la invención permiten alcanzar el índice volumétrico de fibras deseado, y especialmente de aproximadamente un 60 %, incluso aunque la pieza de material compuesto esté realizada con una etapa c) que aplica una infusión y no una inyección de resina. Una realización de ese tipo constituye, además una variante ventajosa.

Las piezas de material compuesto que se pueden obtener de acuerdo con el procedimiento de la invención también forma parte íntegra de la invención, en particular, piezas que tengan un índice volumétrico de fibras del 57 al 63 %, y especialmente del 59 al 61 %.

La descripción siguiente, en referencia a las figuras anexas, permite comprender mejor la invención.

La **Figura 1** representa de manera esquemática una vista en sección de un material intermedio de acuerdo con la invención. La **Figura 2** proporciona un esquema del principio de una máquina de fabricación de un material intermedio de acuerdo con la invención.

Las **Figuras 3a** y **3B** representan un dispositivo para medir el espesor de una preforma al vacío.

Las **Figuras 4A** y **4B** son vistas esquemáticas superiores de un material intermedio de acuerdo con la invención, donde ya se han realizado las perforaciones.

La **Figura 5** es una vista en perspectiva de un ejemplo de medio de perforación.

La **Figura 6** es una vista parcial de un dispositivo que integra una serie de medios de perforación en línea.

Las **Figuras 7** a **10** son cortes microscópicos de productos intermedios constituidos por una capa unidireccional que tiene asociada en cada una de sus grandes caras a una banda (de material no tejido).

Las **Figuras 11** a **14** son fotografías desde arriba de apilamientos soldados y perforados de acuerdo con la invención,

siendo la **Figura 15** una fotografía desde arriba de un producto intermedio perforado de acuerdo con la invención.

La **Figura 16** compara los valores de permeabilidad en función de los índices volumétricos de fibras obtenidos en varias configuraciones.

La **Figura 17** muestra los resultados de ensayos mecánicos.

5 Por "capa unidireccional de fibras de carbono", se entiende una capa formada exclusivamente o casi exclusivamente por fibras de carbono depositadas paralelas entre sí. Se puede prever la presencia de hilos de unión del tipo termoplástico, especialmente, de poliamidas, copoliamidas, poliésteres, copoliésteres, copoliamidas en bloque éster/éter, poliacetales, poliolefinas, poliuretanos termoplásticos, fenoxi, para facilitar la manipulación de la capa, de ser necesaria, antes de su asociación con las bandas de fibras termoplásticas. Estos hilos de unión se extenderán con mayor frecuencia transversalmente a las fibras de carbono. El término "capa unidireccional" incluye también los tejidos unidireccionales, donde los hilos de trama separados se cruzan de forma entrelazada con las fibras de carbono que se extienden paralelamente entre sí y constituyen los hilos de la cadena del tejido unidireccional. Incluso en estos casos diferentes, donde dichos hilos de unión, de costura o de trama están presentes, las fibras de carbono paralelas entre sí representarán al menos el 95 % en masa de la capa, que se denomina "unidireccional". Sin embargo, de acuerdo con una realización particular de la invención, la capa unidireccional no contiene ningún hilo de trama para entrelazar las fibras de carbono, de forma que se eviten ondulaciones. En particular, el material intermedio de acuerdo con la invención no conlleva ni tejido, ni costura, ni tricotado. En la capa unidireccional, los hilos de carbono, preferentemente, no están asociados a un aglutinante polimérico y, por tanto, se consideran secos, es decir que no están impregnados, ni recubiertos, ni asociados a ningún aglutinante polimérico antes de su asociación a las bandas termoplásticas. Les fibras de carbono, sin embargo, se caracterizan muy frecuentemente por un índice másico de apresto que puede representar como máximo el 2 % de su masa.

En el marco de la invención, la capa de fibras de carbono que constituye el núcleo del material intermedio tiene un gramaje comprendido entre 100 y 280 g/m². Este intervalo de gramaje permite, de forma sencilla, a los ingenieros de los gabinetes de estudio dimensionar correctamente las estructuras compuestas adaptando las secuencias de apilamiento de las diferentes capas, en función de los distintos modos de sollicitaciones mecánicas de las estructuras compuestas. Un gramaje de carbono de una capa elemental más débil ofrecerá más versatilidad en la selección de los diferentes apilamientos posibles de espesor constante.

30 El gramaje de la capa unidireccional, en el interior del material intermedio, corresponde al de la capa unidireccional antes de su asociación con las bandas, pero no se puede medir el gramaje de la capa unidireccional antes de su asociación con las bandas ya que los hilos no tienen ninguna cohesión entre sí. El gramaje de la capa de fibras de carbono se puede determinar a partir del gramaje del material intermedio (capa unidireccional + 2 bandas). Si se conoce la masa superficial de las bandas, entonces es posible deducir la masa superficial de la capa unidireccional. De forma ventajosa, la masa superficial se determina a partir del producto intermedio por ataque químico (opcionalmente igualmente mediante pirolisis) de la banda. El experto en la materia suele utilizar este método para determinar el índice de fibras de carbono de un tejido o una estructura de material compuesto.

Se describe a continuación un método para medir el gramaje del material intermedio. El gramaje del material intermedio se mide pesando muestras recortadas de 100 cm² (es decir, de 113 mm de diámetro). Para facilitar el recorte de las muestras de un material intermedio que sea flexible, el material intermedio se coloca entre dos cartones bruñidos de la empresa Cartonnage Roset (Saint Julien en Genevois, Francia) de 447 g/m² y de 0,450 mm de espesor para garantizar una determinada rigidez del conjunto. Un cortador de formas neumático de la empresa Novi Profibre (Eybens, Francia) se utiliza para cortar el conjunto; se toman 10 muestras por tipo de producto intermedio fabricado.

En la capa unidireccional, las fibras de carbono, se encuentran más a menudo en forma de hilos de al menos 1000 filamentos, y especialmente de 3000 a 50.000 filamentos, por ejemplo, de 3K, 6K, 12K o 24K. Los hilos de carbono tienen un título comprendido entre 60 y 3800 Tex, y preferentemente entre 400 y 900 tex. Los espesores de la capa unidireccional de carbono están comprendidos entre 90 y 270 µm.

La capa unidireccional está asociada, en cada una de sus caras, a una banda de fibras termoplásticas, para producir un producto intermedio como el que se esquematiza en la **Figura 1**. El uso de un producto intermedio simétrico permite evitar los errores de apilamiento, durante su montaje manual o automático para constituir piezas de material compuesto, y limitar de esta manera la generación de zonas frágiles, especialmente un interpliego sin banda.

Por "banda", se entiende un material no tejido de fibras continuas o cortas. En particular, las fibras constitutivas del material no tejido tendrán diámetros promedio comprendidos en el intervalo de 0,5 a 70 µm. En el caso de un material no tejido de fibras cortas, las fibras mostrarán, por ejemplo, una longitud comprendida entre 1 y 100 mm.

En el marco de la invención, las fibras constitutivas de la banda, ventajosamente, están constituidas por un material termoplástico, especialmente seleccionado entre poliamidas (PA: PA6, PA12, PA11, PA6,6, PA 6,10, PA 6,12, ...), copoliamidas (CoPA), poliamidas - bloques éter o éster (PEBAX, PEBA), polifalamida (PPA), poliésteres (tereftalato de polietileno -PET-, poli(tereftalato de butileno) - PBT-...), copoliésteres (CoPE), poliuretanos termoplásticos (TPU), poliacetales (POM...), poliolefinas (PP, HDPE, LDPE, LLDPE...), polietersulfonas (PES), polisulfonas (PSU...), polifenilensulfonas (PPSU...), polieteretercetonas (PEEK), poliétercetona (PEKK), poli(sulfuro de fenileno) (PPS), o polieterimididas (PEI), poliimididas termoplásticas, polímeros de cristal líquido (ECP), fenoxis, copolímeros de

bloques como los polímeros de estireno-butadieno-metacrilato de metilo (SBM), copolímeros de metacrilato de metilo-acrilato de butilo-metacrilato de metilo (MAM) o una mezcla de fibras formadas por estos materiales termoplásticos. Por supuesto, la materia está bien adaptada a los diferentes tipos de sistemas termoendurecibles para la constitución de la matriz, durante la realización posterior de las piezas de material compuesto.

5 El espesor de las bandas antes de su asociación a la capa unidireccional se seleccionará dependiendo de la forma en que vaya a asociarse a la capa de fibras de carbono. Con mayor frecuencia, su espesor será muy cercano al espesor deseado para el producto intermedio. También es posible seleccionar el uso de una banda de mayor grosor que se lamina a temperatura durante la etapa de asociación, de forma que se consiga el espesor deseado. Preferentemente, 10 la capa de carbono está asociada en cada una de sus grandes caras a dos bandas prácticamente idénticas, de forma que se obtenga un producto intermedio perfectamente simétrico. El grosor de la banda antes de su asociación con la capa unidireccional de carbono está comprendida entre 0,5 y 200 μm , preferentemente entre 10 y 170 μm . En el producto intermedio de acuerdo con la invención, el grosor de cada banda está comprendido en el intervalo de 0,5 a 50 micrómetros, preferentemente en el intervalo de 3 a 35 micrómetros.

15 El espesor de las diferentes bandas antes de la asociación se determina mediante la norma NF EN ISO 9073-2 usando el método A con un aire de ensayo de 2827 mm^2 (disco de 60 mm de diámetro) y una presión aplicada de 0,5 kPa.

20 El producto intermedio de acuerdo con la invención tiene un espesor comprendido en el intervalo de 80 a 380 micrómetros, preferentemente en el intervalo de 90 a 320 micrómetros, lo que permite especialmente conseguir el índice volumétrico de fibras deseado para la pieza final producida, e incluso en el caso de que esta última se realice mediante infusión a presión reducida.

25 La norma NF EN ISO 9073-2 no permite medir uno de los componentes de un material combinado a partir de varios elementos. Por tanto, se han planteado dos métodos: uno para medir el espesor de la banda una vez contrapegada a la capa unidireccional y el otro para medir el espesor del producto intermedio.

30 Así, el espesor del material o banda no tejido fijado a la capa unidireccional de carbono se ha determinado a partir de cortes microscópicos que permiten una precisión de $\pm 1 \mu\text{m}$. El método es el siguiente: Un material intermedio que asocia una capa unidireccional formada por hilos de carbono y dos bandas contrapegadas a cada lado de la banda se impregna mediante un pincel con una resina que polimeriza a temperatura ambiente (Araldite y Araldur 5052 de la empresa Huntsman). El conjunto se fija entre dos placas para aplicar una presión de aproximadamente 2-5 kPa durante la polimerización. La medida del espesor de la banda presente en el producto intermedio es independiente de la presión ejercida en esta etapa. Una sección del conjunto se recubre con una resina de endurecimiento en frío Epofix 35 Kit de Struers, y se pule a continuación (mediante un papel de lija a base de carburo de silicio con un grano de 320 μm y diferentes fieltros hasta un grano de 0,3 μm) para poder observarse mediante un microscopio óptico Olympus BX 60 acoplado a una cámara Olympus ColorView II lu. La aplicación de esta resina que polimeriza a temperatura ambiente no tienen influencia alguna sobre el espesor de la banda, sino que permite únicamente efectuar las mediciones. El programa informático analySIS auto 5.0 de la empresa Olympus Soft Imaging Solution GmbH permite tomar fotos y 40 realizar las mediciones del grosor. Para cada material intermedio (capa unidireccional combinada con bandas de cada lado), se toman 5 imágenes con un aumento de 20. En cada imagen, se realizan 15 mediciones del espesor de la banda, y se determinan la media y la desviación típica de dichas medidas.

45 El grosor del producto intermedio se determinó a partir del método siguiente, cuyo dispositivo se esquematiza en las **Figuras 3a y 3b**, que determina una media en un apilamiento de productos intermedios. En dichas Figuras, A designa la preforma; B la placa de soporte; C el papel de silicona; D la película de puesta al vacío; E la junta de puesta al vacío; F el fieltro de drenado y G la toma de vacío. El experto en la materia utiliza de forma clásica este método, y permite una medición global minimizando la variabilidad que puede existir localmente en el interior de un mismo producto intermedio. Una preforma compuesta por un apilamiento de diferentes capas orientadas del producto intermedio se 50 coloca entre dos capas de papeles de silicona de 130 g/m^2 y con un espesor de 0,15 mm comercializado por la sociedad SOPAL en una película de puesta al vacío CAPRAN 518 de la empresa Aerovac (Aerovac Systèmes France, Umeco Composites, 1 rue de la Sausse 31240 Saint-Jean, France) y en contacto con un fieltro de drenaje Airbleed 10HA comercializado por Aerovac. La estanqueidad del conjunto se garantiza mediante una junta de puesta al vacío SM5130 comercializada por Aerovac. Se aplica un vacío comprendido entre 0,1 y 0,2 kPa mediante una bomba de vacío Leybold SV40 B (Leybold Vacuum, Bourg les Valence, Francia). A continuación, se mide el espesor de la preforma entre dos comparadores digitales TESA Digico 10 tras restar el espesor de la tapa de vacío y de los papeles de silicona. Se realizan 25 mediciones por preforma, y se determinan la media y la desviación típica de dichas 55 medidas. El espesor obtenido del producto intermedio se determina seguidamente dividiendo el espesor de la preforma total por el número de capas de productos intermedios superpuestos.

60 De forma ventajosa, el espesor del producto intermedio muestra poca variabilidad, especialmente con variaciones en el espesor que no superan los 20 μm en desviación típica, preferentemente que no superan 10 μm de desviación típica, como se ilustra especialmente en los siguientes ejemplos.

65 Por otra parte, de manera ventajosa, la masa superficial de la banda está comprendida en el intervalo de 0,2 a 20 g/m^2 .

La asociación entre la capa unidireccional y las bandas se puede realizar de manera discontinua, por ejemplo, solamente en determinados puntos o zonas pero, preferentemente, se realiza según una unión que se extiende a la totalidad de la superficie de la capa, considerada continua. La asociación de la capa unidireccional y las dos bandas se puede hacer mediante una capa adhesiva, seleccionada por ejemplo entre los epóxidos adhesivos, poliuretano adhesivo, colas termoendurecibles, adhesivos a base de monómero polimerizables, adhesivos acrílicos estructurales o acrílicos modificados, los adhesivos de fusión en caliente. Pero, la asociación más habitual se lleva a cabo mediante el carácter de cola que tienen las bandas en caliente, por ejemplo, durante una etapa de termocompresión que permite garantizar una unión entre la capa unidireccional y las bandas. Esta etapa conlleva el reblandecimiento de las fibras termoplásticas de la banda, lo que permite unir la capa unidireccional a las bandas, tras el enfriamiento. Las condiciones de calentamiento y presión se adaptarán al material que constituye las bandas y a su espesor. Lo más frecuente es que se realice una etapa de termocompresión sobre la totalidad de la capa unidireccional a una temperatura comprendida en el intervalo de $T_{f \text{ banda}} - 15^\circ\text{C}$ y $T_{f \text{ banda}} + 60^\circ\text{C}$ (donde $T_{f \text{ banda}}$ designa la temperatura de fusión de la banda) y a una presión de 0,1 a 0,6 MPa. De esta forma, es posible conseguir índices de compresión de la banda antes y después de la asociación en un intervalo e 1 a 10. La etapa de contrapegado de la banda sobre la capa unidireccional de carbono también es determinante para controlar correctamente el espesor final del producto intermedio. Efectivamente, dependiendo de las condiciones de temperatura y presión, especialmente durante el contrapegado, se puede modificar y, por tanto, ajustar, el espesor de la banda situada a cada lado del producto intermedio. También puede preverse asociar la capa unidireccional con banda(s), solamente en determinadas zonas, realizando un calentamiento localizado de la banda, de forma que se obtenga un enlace que podría equivaler a una unión puntual por cosido o tricotado utilizada en la técnica anterior para la realización de materiales multiaxiales y unir las capas unidireccionales entre sí. El calentamiento se puede llevar a cabo por medios térmicos clásicos con resistencias o por medios ultrasónicos. Se pueden prever soldaduras puntuales que producen una soldadura global discontinua. El término "puntual" se utiliza, en el marco de la descripción, para designar las soldaduras individuales que pertenecen a un conjunto de soldaduras e incluye soldaduras de diferentes formas. En el plano del material intermedio, las soldaduras puntuales se podrán presentar especialmente, en forma de líneas discontinuas o continuas, es decir, que se extienden a toda la anchura de la capa unidireccional, de puntos de diferentes formas, especialmente circular o de tipo prismático, anillos.... Medios de calentamiento adecuados, que actúan como un punzón, se utilizan para llevar a cabo dichas soldaduras puntuales. Estas soldaduras puntuales conducen a una soldadura global discontinua que permite, por ejemplo, conseguir mayor flexibilidad. Estas soldaduras puntuales se reparten por la superficie del material intermedio para garantizar su cohesión y permiten garantizar una unión entre la capa unidireccional y las bandas. Para garantizar la unión del conjunto de los hilos de la capa unidireccional, las soldaduras podrán extenderse según las líneas continuas en toda la anchura del material intermedio, por ejemplo, transversalmente a la capa unidireccional. Es también posible aplicar líneas discontinuas o puntos de soldadura desplazados o puntos de soldadura desplazados unos con respecto a otros, de forma que cada hilo encuentre periódicamente una soldadura, por ejemplo, al menos una soldadura cada 100 mm, preferentemente al menos una soldadura cada 10 mm.

La capa unidireccional se puede crear directamente, en línea, antes de su asociación con las bandas termoplásticas. Los hilos necesarios para constituir la capa se devanan entonces de bobinas y se colocan sobre una cinta transportadora, de forma que se extienden paralelos entre sí, de manera unitaria. También se puede aplicar un procedimiento tal como se describe en la patente EP 0972102. También se podrá utilizar igualmente una capa unidireccional comercial cuya cohesión y maleabilidad, por ejemplo, esté garantizada por los hilos de unión, según una unión mecánica por tejido, o según una unión química debido a la naturaleza polimérica de los hilos de unión. En todos los casos, la capa unidireccional que se va a unir a la(s) banda(s), mostrará una cobertura total, con un factor de abertura del 0 %. Este tipo de capas, por ejemplo, se comercializan por SIGMATEX UK Limited, Runcom Cheshire WA7 1 TE, Reino Unido, con las referencias PW-BUD (ej: n.º producto PC2780600 200GSM/PW-BUD/T700SC 12K 50C/0600mm), o la empresa OXEON AB, Suecia, con las referencias TEXERO. Una vez que la unión entre las bandas y la capa unidireccional se lleva a cabo, el material intermedio obtenido muestra, en general, un factor de abertura de 0 %. El factor de abertura, por ejemplo, se determina de acuerdo con el método descrito en los ejemplos siguientes.

A continuación, una vez la capa unidireccional asociada a la(s) banda(s), es posible modificar su factor de abertura y, por tanto, de aumentar su permeabilidad, realizando orificios o perforaciones. En ese caso, puede ser interesante conseguir un factor de abertura comprendido en el intervalo de 0,1 al 5 %, preferentemente en el intervalo de 1 a 2 %, obtenido mediante perforaciones realizadas en el espesor del material intermedio, por ejemplo, transversalmente a este último. Como el material intermedio de acuerdo con la invención no está tejido, ni cosido, tiene presente un espesor fino controlado que permite tener un factor de apertura de 1 % al 2 %, ofreciendo al mismo tiempo la posibilidad de poder conseguir un estratificado que tenga un TVF de 59 a 61 %, especialmente de aproximadamente un 60 %, para infusión en vacío.

Por ejemplo, las perforaciones se realizan de forma regular y, preferentemente, están repartidas en rectas que se extienden en una o dos direcciones, con especialmente un paso de separación situado en el intervalo comprendido de 4 a 15 mm. Las **Figuras 4A** y **4B** son vistas esquemáticas de colocaciones de las perforaciones **100**, en el plano del material intermedio, con respecto a la dirección **f** correspondiente a la dirección de los hilos de la capa unidireccional. Las distancias que separan las perforaciones son meramente ilustrativas, y se podrán aportar diferentes variaciones, estas últimas se mencionan porque se utilizan en los ejemplos. Las soldaduras, de una línea paralela a la otra, podrán estar alineados como se muestra en la **Figura 4A** o desplazadas, especialmente medio paso, como se muestra en la

Figura 4B. La **Figura 4A** representa perforaciones realizadas según un modo alternativo donde las perforaciones se extienden a lo largo de dos líneas perpendiculares entre sí que forman cada una de ellas un ángulo de 45° con los hilos de la capa unidireccional, de forma que las perforaciones están desplazadas un semipaso si uno se desplaza paralela y perpendicular a los hilos de la capa unidireccional. La **Figura 4B** ilustra otro modo donde las perforaciones se extienden según dos líneas perpendiculares entre sí, estando una de ellas paralela a los hilos de la capa unidireccional. Las perforaciones presentes sobre el material intermedio tienen, por ejemplo, una dimensión mayor, medida en paralelo a la superficie de la capa unidireccional, situada en el intervalo comprendido de 1 a 10 mm. Las perforaciones pueden presentar, por ejemplo, en el plano del material intermedio, una sección circular más o menos alargada, en forma de un ojal o ranura como se muestra en la **Figura 15**, especialmente. La forma de las perforaciones es particularmente función del medio de perforación utilizado. De acuerdo con dichas realizaciones, también se puede conseguir de esta forma una permeabilidad transversal, especialmente, de 10^{-13} m² a 10^{-14} m² para índices volumétricos de fibra de 57 a 63 %. La permeabilidad transversal se puede definir por la capacidad que tiene un fluido para atravesar un material fibroso. Se mide en m². Los valores indicados anteriormente, así como los mencionados en los ejemplos siguientes, se miden con el equipamiento y la técnica de medición que se describen en la Tesis titulada "Problématique de la mesure de la perméabilité transverse de préformes fibreuses pour la fabrication de structures composites", de Romain Nunez, defendida en la Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, el 16 de octubre de 2009, que se puede consultar para más detalles. La medición se realiza especialmente con un control del espesor de la muestra durante el ensayo usando dos cámaras cocilíndricas que permiten reducir la influencia del "race-tracking" (paso del fluido al lado o "por el lado" del material cuya permeabilidad se va a medir). El fluido utilizado es agua, y la presión es de 100 kPa (1 bar) +/- 1 kPa (0,01 bar).

Las perforaciones se podrán realizar con cualquier medio de perforación adecuado, por ejemplo, como una aguja, pico, u otro elemento. Para mantener abierta la abertura después de la retirada del medio de perforación, el calentamiento se realiza alrededor del medio de perforación. La perforación se realiza entonces por penetración de un medio de perforación y de un calentamiento alrededor del medio de perforación que conlleva un reblandecimiento de la banda, seguido de enfriamiento. Se produce en ese momento una fusión de la banda que rodea el medio de perforación que, al enfriarse, produce una especie de ojal alrededor de la perforación. Cuando el medio de perforación se retira, el enfriamiento es instantáneo o casi instantáneo, lo que permite inmovilizar la perforación obtenida. Preferentemente, el medio de calentamiento está integrado directamente con el medio de perforación, de manera que el propio medio de perforación está calentado. En algunos casos, puede ser una ventaja que el medio de perforación **110** presente un hombro **120** como se muestra en la **Figura 5** sobre el que se apoya el material intermedio, durante la perforación. Este hombro también está calentado y permite calentar las bandas, a la vez que aplica una presión sobre el conjunto a soldar, y esto en una zona más importante que rodea la perforación. El tiempo de presión es, por ejemplo de 0,1 a 2 segundos, preferentemente de 0,5 a 1 s. Es posible realizar la perforación de forma manual o, preferentemente, automática, gracias a medios de perforación alineados según líneas de perforación y sin separaciones seleccionadas. En todos los casos, las perforaciones, preferentemente, se realizarán para modificar muy poco el espesor del material intermedio alrededor de la perforación. Cuando solamente se pretende una unión por puntos entre las bandas y la capa unidireccional, la realización de la perforación se podrá realizar simultáneamente junto con la unión, la unión de las bandas alrededor de las perforaciones consigue garantizar la unión del conjunto capa unidireccional/banda.

Como ejemplo, una máquina de ese tipo que representa la **Figura 2** se podrá aplicar en el caso de una unión mediante termocompresión y en ausencia de perforación. En el caso mostrado en la **Figura 2**, las bandas están asociadas a la capa unidireccional de fibras de carbono, justo después de la producción de esta última a la masa superficial deseada mediante una etapa de fijación o contrapegado en caliente a presión continua (termocompresión).

El producto intermedio de acuerdo con la invención muestra una buena capacidad de manipulación debido a la presencia de las bandas termoplásticas contrapegadas sobre cada una de las caras de la capa unidireccional. Esta arquitectura también permite un corte fácil, especialmente sin deshilachaduras, según direcciones no paralelas, especialmente transversales u oblicuas, a las fibras de la capa unidireccional.

Para la realización de piezas de material compuesto, se realiza un apilamiento o superposición de los materiales intermedios de acuerdo con la invención (también denominados pliegos). En el apilamiento obtenido, por lo general, los pliegos se disponen de forma que al menos dos capas unidireccionales de pliegos se orientan en direcciones diferentes. Todas las capas unidireccionales pueden tener direcciones diferentes o solamente algunas de ellas, el resto pueden tener direcciones idénticas. Las orientaciones preferidas son, con más frecuencia, las orientadas en direcciones que tienen un ángulo de 0°, +45° o -45° (que también corresponde a +135°), y +90° con el eje principal de la pieza a realizar. El eje principal de la pieza es por lo general el eje más grande de la pieza, y el ángulo de 0° confunde con este eje. Por ejemplo, es posible realizar apilamientos casi isotropos, simétricos u orientados seleccionando la orientación de los pliegos. Como ejemplos de apilamiento casi isotropo, se puede citar el apilamiento según ángulos de 45°/70°/135°/90°, o 9°/135°/0°/45°. Como ejemplo de apilamiento simétrico, se puede citar 0°/90°/0°, o 45°/135°/45°. Antes de añadir la resina necesaria para la realización de la pieza, es posible unir entre sí los pliegos en el interior del apilamiento, especialmente mediante una etapa intermedia de preformado a temperatura y con vacío, o un soldado en algunos puntos después de la adición de cada pliego, y realizar de este modo una preforma. En particular, se podrá prever el montaje de 2 a 32 pliegos, especialmente de 16 a 24 pliegos. El número de pliegos utilizados con más frecuencia son 8, 16, 24 y 32 pliegos, que podrán ser, por ejemplo, múltiplos de los apilamientos de cuatro pliegos casi

isótropos anteriormente mencionados.

De forma ventajosa, el apilamiento no está unido por costura, ni por tricotado, sino mediante soldadura realizada gracias al carácter termoplástico de las bandas presentes en el interior del apilamiento. Para ello, se lleva a cabo una operación de calentamiento/enfriamiento sobre la totalidad de la superficie del apilamiento o al menos en determinadas zonas de la superficie del apilamiento. El calentamiento conlleva la fusión o al menos el reblandecimiento de la banda. Una unión de ese tipo que utilice el carácter termoplástico de la banda es ventajosa ya que permite evitar los inconvenientes que supone la presencia de hilos de costura o tricotado, tales como especialmente los problemas de ondulación, microfisuración, las malas propiedades mecánicas de las piezas de material compuesto obtenidas posteriormente... Es posible realizar una unión mediante soldadura discontinua, por oposición a una soldadura continua obtenida mediante termocompresión realizada en la totalidad de la superficie del apilamiento. Una soldadura discontinua tiene una ventaja en términos de energía y también para la flexibilidad del apilamiento durante la realización de las piezas de material compuesto posteriores. Se pueden prever soldaduras puntuales que producen una soldadura global discontinua. En el marco de la invención, para cada capa unidireccional de cada material intermedio siguiente, la superficie del conjunto de soldaduras puntuales representa, por ejemplo, del 0,1 al 40 %, preferentemente del 0,5 al 15 % de la superficie de la capa unidireccional (siendo esta superficie igual a la superficie de una de las caras del apilamiento). El término "puntual" se utiliza, en el marco de la descripción, para designar las soldaduras individuales que pertenecen a un conjunto de soldaduras e incluye soldaduras de diferentes formas. En el plano del apilamiento, es decir, paralelo a las diferentes bandas y capas unidireccionales, las soldaduras puntuales se podrán presentar especialmente en forma de líneas discontinuas o continuas, es decir, que se extienden a toda la anchura de la capa unidireccional, de puntos de diferentes formas, especialmente circular o de tipo prismático, anillos... Las soldaduras puntuales se distribuyen por la superficie del apilamiento para garantizar su cohesión y permiten garantizar una unión entre las capas unidireccionales y las bandas en todo el espesor del apilamiento. Una unión de este tipo puede ser especialmente transversal. Se podrán utilizar medios de calentamiento adecuados, especialmente en forma de una barra calefactora en el caso de líneas de unión o punciones termógenas en el caso de puntos de unión, cuya geometría de los puntos de contacto con el apilamiento se adaptará a la forma de las uniones puntuales deseadas. Los medios de calentamiento de ese tipo se podrán calentar a una temperatura de 190 a 220°C y presionarse sobre el apilamiento con una presión de 10 a 50 kPa, por ejemplo, durante 0,1 a 2 s y preferentemente durante 0,5 a 1 s. También se podrán utilizar medios de soldadura por ultrasonidos. Evidentemente, estos valores son meramente ilustrativos y dependerán especialmente del número de pliegos y del material termoplástico que constituya las bandas. Por ejemplo, los puntos de soldadura pueden realizarse de forma regular y, preferentemente, están repartidos en rectas que se extienden en una o dos direcciones, especialmente con especialmente un paso de separación comprendido en el intervalo de 4 a 15 mm. Las **Figuras 4A y 4B** son vistas esquemáticas de colocaciones de las perforaciones **100**, en paralelo a la superficie del apilamiento, con respecto a la dirección **f** correspondiente a la dirección de 0°. Las distancias que separan las perforaciones son meramente ilustrativas, y se podrán aportar diferentes variaciones, estas últimas se mencionan porque se utilizan en los ejemplos. En paralelo a la superficie del apilamiento, Las soldaduras, de una línea paralela a la otra, podrán estar alineadas como se muestra en la **Figura 4A** o desplazadas, especialmente medio paso, como se muestra en la **Figura 4B**. Como se muestra en las **Figuras 4A y 4B** para las perforaciones de un material intermedio de acuerdo con la invención, por ejemplo, es posible realizar los puntos de soldadura de un modo alternado, donde los puntos de soldadura se extienden, en el plano del apilamiento, siguiendo dos líneas perpendiculares entre sí que forman cada una de ellas un ángulo de 45° con el 0°, de forma que los puntos de soldadura estén desplazados un semipaso en las direcciones 0° y 90°. Otro modo consiste, por ejemplo, en realizar los puntos de soldadura según dos líneas perpendiculares entre sí, siendo una de ellas es paralela al 0°.

Es también posible realizar el apilamiento añadiendo, uno a uno, cada pliego, y garantizar la unión, después de añadir cada pliego. Es también posible realizar la unión de una sola vez, lo que presente un interés industrial determinado. Para ello, aunque los medios de calentamiento anteriormente descritos estén bien adaptados, también se puede utilizar un medio de calentamiento que penetre dentro del apilamiento, y que lo atraviese por completo, para realizar un calentamiento directo sobre todas las bandas de la zona de penetración, comprendiendo los situados en el centro del apilamiento. En este caso, de forma paralela a la unión de los pliegos entre sí, se practican perforaciones en el apilamiento que permiten crear canales de difusión para la resina, que se extiendan a todo el grosor del apilamiento, con mayor frecuencia, de forma transversal respecto a los pliegos del apilamiento. En ese caso, puede ser interesante conseguir un factor de abertura comprendido en el intervalo de 0,05 al 3 %, preferentemente entre el 0,1 y el 0,6 %. Dichos factores de abertura permiten obtener permeabilidades interesantes, comparables o superiores a las obtenidas con los productos cosidos multiaxiales tradicionales. Las perforaciones presentes en el apilamiento tienen, por ejemplo, una dimensión mayor, medida en paralelo a la superficie de los pliegos, comprendida en el intervalo de 1 a 10 mm. Según dichas realizaciones, también se puede conseguir de esta forma una permeabilidad transversal para el apilamiento, especialmente, de 10^{-11} a 10^{14} m², preferentemente de 10^{-12} m² a 10^{13} m² para TVF de 57 al 63 %, y especialmente un 60 %. Las perforaciones se podrán realizar con cualquier medio de perforación adecuado, por ejemplo, como una aguja, pico, u otro elemento. El calentamiento se realiza alrededor del medio de perforación, para obtener el enlace adecuado entre los pliegos, lo que también permite inmovilizar la perforación. Como en el caso de la perforación de un pliego unitario, como se ha descrito anteriormente, se produce una fusión de la banda que rodea el medio de perforación que, al enfriarse, produce una especie de ojal alrededor de la perforación. Cuando el medio de perforación se retira, el enfriamiento es instantáneo o casi instantáneo, lo que permite inmovilizar la perforación obtenida. Preferentemente, el medio de calentamiento está integrado directamente con el medio de perforación, de

manera que el propio medio de perforación está calentado. Es una ventaja que el medio de perforación presente un hombro como se representa en la **Figura 5**, donde el apilamiento encuentra un tope, durante la perforación, lo que permitirá cerrar los pliegos entre sí durante la unión. Este hombro también está calentado y permite calentar las bandas, a la vez que aplica una presión sobre el conjunto a soldar, y esto en una zona más importante que rodea la perforación. Preferentemente, la presión ejercida está en el intervalo de 10 a 50 kPa y se selecciona de forma que se conserve un espesor prácticamente constante, en cualquier punto del apilamiento. Es posible realizar la perforación de forma manual o, preferentemente, automática, gracias a medios de perforación 110 alineados según líneas de perforación y sin separaciones seleccionadas, como se muestra, por ejemplo, en la **Figura 6**.

Para la realización de piezas de material compuesto, una resina o matriz, de tipo termoendurecible, se añade entonces, por ejemplo, mediante inyección en el molde que contienen los pliegos (procedimiento "RTM", del inglés Resin Transfer Moulding", moldeo de transferencia de resina), o por infusión (a través del espesor de los pliegues: procedimiento "LRI", del inglés Liquid Resin Infusion, infusión de resina líquida, o procedimiento "RFI", del inglés Resin Film Infusion", infusión de película de resina). Según una realización no preferida, también se puede realizar, además de la realización del apilamiento, un recubrimiento/impregnación manual con rodillo o pincel, sobre cada uno de los pliegos, aplicados sucesivamente sobre la forma del molde utilizado.

La matriz utilizada es de tipo termoendurecible. La resina inyectable se selecciona, por ejemplo, entre los polímeros termoendurecibles siguientes: epóxidos, poliésteres insaturados, ésteres de vinilo, materiales fenólicos, poliimidias, bismaleimidias.

La pieza de material compuesto se obtiene a continuación tras una etapa de tratamiento térmico. En particular, la pieza de material compuesto se obtiene por lo general mediante un ciclo de consolidación clásico de los polímeros en cuestión, realizando un tratamiento térmico, recomendado por los suministradores de dichos polímeros, y conocido del experto en la técnica. Esta etapa de consolidación de la pieza deseada se lleva a cabo mediante polimerización/reticulación siguiendo un ciclo de temperatura definida y bajo presión, seguido de enfriamiento. La presión aplicada durante el ciclo de tratamiento es baja en el caso de la infusión al vacío y más fuerte en el caso de la inyección en un molde RTM.

Los apilamientos no perforados de acuerdo con la invención, incluso aunque sean plenamente satisfactorios para la realización de piezas de material compuesto mediante inyección en un molde, en el caso de infusión a presión reducida, su aplicación estaría limitada a la realización de piezas de poco grosor, por ejemplo, menor de 10 mm. La presencia de perforaciones permite aumentar la permeabilidad del apilamiento y conseguir de esta forma, incluso para piezas de grosor elevado, valores de TVF adecuados.

Los modos de unión del apilamiento anteriormente definidos con uniones puntuales, con y sin perforaciones, también se pueden aplicar con todo tipo de materiales intermedios, destinados a su asociación con una resina termoendurecible para fabricar piezas de material compuesto, formados por una capa unidireccional de fibras de carbono asociada, en cada una de sus caras, a una banda de fibras termoplásticas y, en particular, a materiales intermedios diferentes a los definidos en las reivindicaciones de la presente solicitud de patente. Efectivamente, independientemente de las bandas y capas unidireccionales utilizadas, dichos apilamientos son interesantes en términos de flexibilidad y permeabilidad en el caso de los apilamientos perforados. Por supuesto, de manera preferida, los materiales intermedios son equivalentes, en lo que respecta a espesor y gramaje, a los descritos en el marco de la invención, dado que pueden alcanzar, en infusión al vacío, TVF elevados.

De acuerdo con una característica ventajosa de la invención, las piezas de material compuesto obtenidas tienen un índice volumétrico de fibras del 57 al 63 %, preferentemente del 59 al 61 % y especialmente que muestran un espesor importante, especialmente mayor de 10 mm. Estos índices volumétricos de fibras son compatibles con el uso de estructuras para piezas primarias, es decir, piezas fundamentales en aeronáutica que soportan los esfuerzos mecánicos (fuselaje, planos de sustentación...).

El índice volumétrico de fibras (TVF) de una pieza de material compuesto se calcula a partir de la medida del espesor de una pieza de material compuesto conociendo la masa superficial de la capa unidireccional de carbono y las propiedades de la fibra de carbono, mediante la ecuación siguiente:

$$TVF (\%) = \frac{n_{\text{pliegos}} \times \text{Masa superficial UD}_{\text{carbono}}}{\rho_{\text{fibra carbono}} \times e_{\text{placa}}} \quad (1)$$

Donde e_{placa} es el grosor de la placa en mm,
 $\rho_{\text{fibra de carbono}}$ es la densidad de la fibra de carbono en g/cm^3 ,
 la masa superficial $\text{UD}_{\text{carbono}}$ está en g/m^2 .

Las piezas de material compuesto obtenidas también muestran propiedades mecánicas óptimas, y especialmente la resistencia al impacto (CAI, Compression Après Impact, comprensión tras impacto), las propiedades mecánicas que muestran la sensibilidad a los orificios tales como la compresión con huecos (OHC, Open Hole Compression, en

inglés), la tracción con huecos (OHT, Open Hole Traction en inglés), el mateado (Bearing en inglés), la cizalladura en el plano (IPS, In-Plane Shear en inglés). En particular, es posible obtener piezas de material compuesto que tengan una tensión de rotura en compresión tras impacto (CAI), medida de acuerdo con la norma europea preliminar prEN 6038 publicada por ASD-STAN (AeroSpace and Defence Standard, Avenue de Tervueren 270, 1150 Woluwe-Saint-Pierre, Bélgica), mayor de 200 MPa para un impacto de 25 J. También se ha comprobado, especialmente cuando la matriz de resina es de tipo epoxi, una caída pequeña en el valor de la Tg del epoxi tras envejecimiento del mismo orden de magnitud que la obtenida para los materiales preimpregnados convencionales, conocidos del experto en la técnica.

Los ejemplos siguientes permiten ilustrar la invención, pero no tienen ningún carácter limitativo.

1. Materiales utilizados

Los productos intermedios sometidos a ensayo son capas unidireccionales constituidas por fibras de carbono asociadas a una banda por cada lado. Se han utilizado 3 tipos de fibras de carbono: fibras de módulo intermedio (IM) de 12K comercializadas por Hexcel, fibras de alta resistencia (HR) de 12 K comercializadas por Hexcel, fibras de alta resistencia (HR) de 12K comercializadas por Toray; sus propiedades mecánicas y físicas se resumen en la **Tabla 1**.

Se sometieron a ensayo varias masas superficiales de capas unidireccionales. Estas capas se realizaron en línea, y su gramaje de fibras de carbono se estimó en 134 g/m² ± 3 % a partir de fibras de carbono Hexcel IM, 194 g/m² ± 3 % a partir de fibras Hexcel IM, 134 g/m² ± 3 % a partir de fibras Hexcel HR, 268 g/m² ± 3 % a partir de fibras Hexcel HR y 150 g/m² ± 3 % a partir de fibras Toray HR.

Tabla 2: Propiedades características de las fibras de carbono

	<i>Hexcel IM</i>	<i>Hexcel HR</i>	<i>Toray HR</i>
Tensión de rotura (MPa)	5610	4830	4900
Módulo de tracción (GPa)	297	241	240
Elongación (%)	1,9	1,8	2
Masa/unidad de longitud (g/m)	0,443	0,785	0,800
Masa volumétrica (g/cm ³)	1,80	1,79	1,80
Diámetro de los filamentos (µm)	5	7	7

Se utilizaron tres tipos de banda, denominados banda 1, banda 2 (1R8D03 comercializada por Protechnic, 66, rue des Fabriques, 68702 - CERNAY Cedex - Francia), banda 3. Estas bandas son a base de mezcla de poliamidas y copoliamidas (banda 1 y 2) o de poliamidas (banda 3). Este tipo de banda también se comercializa por empresas tales como Spunfab Ltd. / Keuchel Associates, Inc. (175 Muffin Lane Cuyahoga Falls, OH 44223, EE.UU.). La banda 1 está formada por filamentos continuos. Las bandas 2 y 3 están formadas a partir de fibras cortas.

Las características de las bandas utilizadas se indican en la **Tabla 3**. El punto de fusión de las bandas indicado en la **Tabla 2** se determina mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) según la norma ISO 11357-3. La masa superficial se mide según la norma ISO 3801. El índice de porosidad indicado en la **Tabla 2** se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de porosidad}_{\text{banda}} (\%) = 1 - \frac{\text{Masa superficial de la banda}}{\rho_{\text{material de la banda}} \times e_{\text{banda}}} \quad (2)$$

Donde la masa superficial de la banda se expresa en kg/m²,

- ρ_{material} de la banda se expresa en kg/m³,
- e_{banda} se expresa en m.

Tabla 3: Características de las bandas utilizadas (los valores mencionados después del ± representan la desviación típica)

Referencia	1	2	3
Punto de fusión de la banda (°C)	178	160	178
Masa superficial (g/m ²)	6,7 ± 0,5	2,8 ± 0,1	3,7 ± 0,1
Diámetro de los filamentos (µm)*	44 ± 12	9 ± 2	13 ± 3
Referencia	1	2	3
Espesor de la banda (µm)	161 ± 18	59 ± 12	69 ± 12

Referencia	1	2	3
Índice de porosidad (%) calculado mediante la fórmula (2)	96	98	97
* Medido por análisis de imágenes			

2. Fabricaciones de los productos intermedios sometidos a ensayo

- 5 La banda se contrapegó directamente a cada lado de las capas unidireccionales de fibras de carbono mediante una máquina (**Figura 2**) específicamente dedicada a tal fin inmediatamente después de la formación de la capa con el gramaje deseado. Los hilos de carbono **1** se desenrollan de bobinas **3** de carbono fijadas a un portacarrete **4**, pasan a través de un peine **5**, se conducen hasta el eje de la máquina mediante un rodillo de guiado **6** y un peine **7**, una barra de guiado **8a**. Los hilos de carbono se precalentaron mediante una barra calefactora **9** y se desplegaron a continuación mediante la barra de despliegue **8b** y la barra calefactora **10** sobre la masa superficial de carbono deseada de la capa unidireccional **17**. Las bobinas de bandas **13a** y **13b** se desenrollan sin tensión y se transportan mediante cintas **15a** y **15b** continuas fijadas entre los rodillos de rotación sin fin **14a, 14b, 14c, 14d** y las barras calefactoras **12a, 12b**. Las bandas **2a** y **2b** se precalientan en las zonas **11a** y **11b** antes de entrar en contacto con los hilos de carbono **1** y se contrapegan a una y otra parte de las dos barras calefactoras **12a** y **12b** cuya separación está controlada. Una calandria **16**, que puede estar enfriada, aplica posteriormente presión sobre la capa unidireccional con una banda de cada lado **17**. Un rodillo de remisión **18** permite redirigir el producto **17** hacia el sistema de tracción que comprende un sistema **19** de rodillos de arrastres, después bobinado **20** controlado por un motor para formar un rodillo que contiene el producto intermedio **17** reivindicado.
- 10
- 15
- 20 Las condiciones de ensayo para la fabricación de capas unidireccionales de carbono combinadas con una banda a cada lado se indican en la **Tabla 3** siguiente.

Tabla 3: Parámetros del proceso para la aplicación de las capas unidireccionales asociadas a una banda de cada lado

Ejemplo	Tipo de fibras	Masa superficial medida del producto intermedio (g/m ²)	Tipo de banda	Velocidad de la línea (m/min)	T _{barra} (°C) (9)	T _{barra} (°C) (10)	T _{precalentamiento banda} (°C) (11a y 11b)	T _{barras} (°C) (12a y 12b)
Comparativo 1	Hexcel IM	134	Sin banda	-	-	-	-	-
2	Hexcel IM	149	Banda 1	1,3	200	200	120	270
Comparativo 2b	Hexcel IM	149	Banda 1	1,3	200	200	120	170
3	Hexcel IM	141	Banda 2	1,6	200	200	120	255
3b	Hexcel IM	141	Banda 2	1,3	200	200	120	143
4	Hexcel IM	142	Banda 3	1,8	200	200	120	265
4b	Hexcel IM	142	Banda 3	1,3	200	200	120	187
Comparativo 5	Hexcel IM	199	Sin banda	-	-	-	-	-
6	Hexcel IM	213	Banda 1	1,6	200	200	120	270
6b	Hexcel IM	213	Banda 1	1,3	200	200	120	170
7	Hexcel IM	197	Banda 2	1,8	200	200	120	255

ES 2 616 475 T3

Ejemplo	Tipo de fibras	Masa superficial medida del producto intermedio (g/m ²)	Tipo de banda	Velocidad de la línea (m/min)	T _{barra} (°C) (9)	T _{barra} (°C) (10)	T _{precalentamiento banda} (°C) (11a y 11b)	T _{barras} (°C) (12a y 12b)
7b	Hexcel IM	197	Banda 2	1,3	200	200	120	145
8	Hexcel IM	207	Banda 3	1,3	200	200	120	265
8b	Hexcel IM	207	Banda 3	1,3	200	200	120	193
Comparativo 9	Toray HR	150	Sin banda	-	-	-	-	-
10	Toray HR	168	Banda 1	1,3	200	200	120	255
10b	Toray HR	168	Banda 1	1,3	200	200	120	188
11	Toray HR	159	Banda 2	1,6	200	200	120	250
11b	Toray HR	159	Banda 2	1,3	200	200	120	190
12	Toray HR	162	Banda 3	1,3	200	200	120	265
12b	Toray HR	162	Banda 3	1,3	200	200	120	210
Comparativo 13	Hexcel HR	136	Sin banda	-	-	-	-	-
14	Hexcel HR	156	Banda 1	1,3	200	200	120	270
14b	Hexcel HR	157	Banda 1	1,3	200	200	120	170
15	Hexcel HR	147	Banda 2	1,8	200	200	120	255
15b	Hexcel HR	146	Banda 2	1,3	200	200	120	145
16	Hexcel HR	147	Banda 3	1,5	200	200	120	265
16b	Hexcel HR	150	Banda 3	1,3	200	200	120	190
Comparativo 17	Hexcel HR	268	Sin banda	-	-	-	-	-
18	Hexcel HR	281	Banda 1	1,3	200	200	120	270
18b	Hexcel HR	281	Banda 1	1,3	200	200	120	170
19	Hexcel HR	274	Banda 2	1,6	200	200	120	255
20	Hexcel HR	276	Banda 3	1,3	200	200	120	265

Ejemplo	Tipo de fibras	Masa superficial medida del producto intermedio (g/m ²)	Tipo de banda	Velocidad de la línea (m/min)	T _{barra} (°C) (9)	T _{barra} (°C) (10)	T _{precalentamiento banda} (°C) (11a y 11b)	T _{barras} (°C) (12a y 12b)
20b	Hexcel HR	276	Banda 3	1,3	200	200	120	190

En el caso de capas unidireccionales sin banda (ejemplo comparativo 1), los hilos de carbono se mantienen mediante un hilo termofusible de 280 dtex distribuido cada 50 mm perpendicularmente a la orientación de las fibras de carbono. En el caso de los ejemplos representativos de la invención, donde las capas unidireccionales están asociadas a dos bandas, las capas se conforman directamente sobre la máquina, corriente arriba del contrapegado de las bandas.

3. Determinación de los espesores después del contrapegado de la banda y del producto intermedio

Los espesores de las bandas después del contrapegado sobre las capas unidireccionales se midieron mediante análisis de imágenes. La Tabla 4 resume los espesores medios y desviaciones típicas de las bandas (para 75 valores) obtenidos según este método para cada configuración estudiada. En esta misma Tabla 4, se indican los espesores medios de los diferentes productos intermedios que comprenden las capas de carbono asociadas a una banda por cada lado. Estas mediciones se deducen a partir de las mediciones de los espesores de las preformas a presión atmosférica, de acuerdo con los métodos descritos en la memoria descriptiva.

Tabla 4: Espesor de los productos intermedios (capas UD asociadas a una banda por cada lado) utilizados y bandas sobre dichas capas

Ejemplo	Espesor banda sobre capa (µm)	Desviación típica - espesor banda	Espesor capa (UD + banda) (µm)	Desviación típica - espesor capa
Comparativo 1	-	-	120	4
2	20	8	153	3
Comparativo 2b	62	15	183	4
3	12	6	120	4
3b	14	5	123	5
4	13	4	145	4
4b	23	7	157	4
Comparativo 5	-	-	175	4
6	21	9	198	2
6b	32	8	224	3
7	9	3	184	5
7b	11	3	197	3
8	11	3	185	3
8b	20	7	195	3
Comparativo 9	-	-	131	2
10	19	6	169	3
10b	48	16	204	3
11	13	6	166	4
11b	13	4	161	4
12	12	3	155	4
12b	22	7	163	4
Comparativo 13	-	-	123	4
14	20	7	162	4

Ejemplo	Espesor banda sobre capa (µm)	Desviación típica - espesor banda	Espesor capa (UD + banda) (µm)	Desviación típica - espesor capa
14b	46	12	192	3
15	12	4	155	3
15b	15	6	157	7
16	15	5	154	3
16b	21	9	164	6
Comparativo 17	-	-	237	3
18	19	7	287	5
18b	49	25	301	4
19	12	6	264	4
20	16	6	280	7
20b	22	8	286	6

La **Figura 7** es un corte micrográfico del producto intermedio del ejemplo 2b (134 g/m² de fibras de carbono IM Hexcel asociado a la banda 1 por cada lado).

5 La **Figura 8** es un corte micrográfico del producto intermedio del ejemplo 2 (134 g/m² de fibras de carbono IM Hexcel asociado a la banda 1 por cada lado)

La **Figura 9** es un corte micrográfico del producto intermedio del ejemplo 3b (134 g/m² de fibras de carbono IM Hexcel asociado a la banda 2 por cada lado).

10 La **Figura 10** es un corte micrográfico del producto intermedio del ejemplo 4 (134 g/m² de fibras de carbono IM Hexcel asociado a la banda 3 por cada lado).

15 **4. Realización de las placas**

4.1 La definición de la secuencia de apilamiento

Las placas realizadas son casi isótropas, es decir, que están compuestas por un conjunto de pliegos elementales en orientaciones diferentes (0°/45°/-45°/90°). El apilamiento también es simétrico. El número de pliegos que constituyen el apilamiento se determina a partir de la siguiente fórmula, deducida de la fórmula (1):

$$n_{\text{pliegos}} = \frac{TVF (\%) \times \rho_{\text{fibra carbono}} \times e_{\text{placa}}}{\text{Masa superficial UD}_{\text{carbono}}} \quad (2)$$

sabiendo que:

- 25 – el espesor deseado de la placa es lo más cercano posible a 4 mm (según define la norma prEN 6038), e_{placa} se expresa en mm,
- el índice volumétrico de fibras (TVF) deseado para obtener las mejores propiedades mecánicas es del 60 % y la $\rho_{\text{fibra carbono}}$ se expresa en g/cm³,
- 30 – La masa superficial del UD_{carbono} se expresa en g/m².

Así, el apilamiento está formado por 32 pliegos en el caso de un gramaje de carbono de 134 y 150 g/m² y se escribe, en notación abreviada: [+45/0/-45/90]_{4s}. Para gramajes de carbono de 194 y 268 g/m², el número de pliegos es, respectivamente, de 24 y 16 pliegos. El apilamiento se escribe, en notación abreviada, [+45/0/-45/90]_{3s} y [+45/0/-45/90]_{2s}. Cada pliegue corresponde a un material de banda/UD/banda.

35 **4.2 Fabricación de la placa de material compuesto**

Los diferentes pliegos se sujetan entre sí soldando ligeramente en varios puntos, tras añadir un pliegue nuevo, mediante un hierro de soldar. El conjunto constituye una preforma. La preforma de 340 mm x 340 mm, formada por la secuencia de apilamiento adaptada al gramaje de carbono, se introduce en un molde de inyección bajo una prensa. Un bastidor de grosor conocido rodea la preforma para obtener el índice volumétrico de fibras (TVF) deseado.

La resina epoxi comercializada con la referencia HexFlow RTM6 por Hexcel se inyecta a 80°C con 2 bares (200 kPa) a través de la preforma, que se mantiene a 120°C, temperatura de las placas de la prensa. La presión aplicada sobre cada una de las placas de la prensa es de 5 bares (500 kPa). Cuando la resina aparece en el punto de salida del molde, la conducción de salida se cierra y se inicia el ciclo de polimerización (aumento hasta 180°C a 3°C/min, y mantenimiento posterior 2 horas a 180°C, después enfriamiento a 5 °C/min). A continuación se recortaron 6 probetas de 150 x 100 mm (norma prEN 6038) para cada tipo de configuración para realizar el ensayo de compresión tras impacto (CAI).

5. Ensayos mecánicos

Las probetas (6 por tipo de configuración) se fijaron a un dispositivo como se indica en la norma prEN 6038. Las probetas se sometieron a un solo impacto con una energía equivalente a 25 J mediante un equipo adaptado a la norma europea preliminar prEN 6038 publicada por ASD-STAN (AeroSpace and Defence Standard, Avenue de Tervueren 270,1150 Woluwe-Saint-Pierre, Bélgica). Los ensayos de compresión se realizaron en una máquina de ensayo mecánico Instron 5582 de capacidad 100 kN renovada por la empresa Zwick (Zwick France Sari, Roissy Charles de Gaulle, Francia).

Los resultados de los límites de rotura en compresión tras impacto se indican en las **Tablas 5a a 5e**.

Tabla 5a: Resultados del límite a rotura en compresión tras impacto (CAI) a 25 J para los diferentes tipos de material unidireccional IM 134 g/m² para distintos tipos de banda

	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo 2	Ejemplo comparativo 2b	Ejemplo 3	Ejemplo 3b	Ejemplo 4	Ejemplo 4b
CAI (MPa)	142	260	275	289	279	305	308
Desviación estándar (MPa)	6	15	17	6	18	24	19

Tabla 5b: Resultados del límite a rotura en compresión tras impacto (CAI) a 25 J para los diferentes tipos de material unidireccional IM 194 g/m² para distintos tipos de banda

	Ejemplo 5 comparativo	Ejemplo 6	Ejemplo 6b	Ejemplo 7	Ejemplo 7b	Ejemplo 8	Ejemplo 8b
CAI (MPa)	126	319	247	285	282	291	294
Desviación estándar (MPa)	14	8	4	5	3	17	5

Tabla 5c: Resultados del límite a rotura en compresión tras impacto (CAI) a 25 J para los diferentes tipos de material unidireccional HR Toray 150 g/m² para distintos tipos de banda

	Ejemplo comparativo 9	Ejemplo 10	Ejemplo 10b	Ejemplo 11	Ejemplo 11b	Ejemplo 12	Ejemplo 12b
CAI (MPa)	151	312	337	354	294	320	313
Desviación estándar (MPa)	11	9	12	9	21	11	18

Tabla 5d: Resultados del límite a rotura en compresión tras impacto (CAI) a 25 J para los diferentes tipos de material unidireccional Hexcel HR 134 g/m² para distintos tipos de banda

	Ejemplo comparativo 13	Ejemplo 14	Ejemplo 14b	Ejemplo 15	Ejemplo 15b	Ejemplo 16	Ejemplo 16b
CAI (MPa)	175	299	306	280	280	288	323
Desviación estándar (MPa)	11	17	17	12	12	11	20

Tabla 5e: Resultados del límite a rotura en compresión tras impacto (CAI) a 25 J para el material unidireccional HR Hexcel 268 g/m² sin banda y con la banda 2

	Ejemplo comparativo 17	Ejemplo 18	Ejemplo 18b	Ejemplo 19	Ejemplo 20	Ejemplo 20b
CAI (MPa)	135	288	274	253	248	248
Desviación estándar (KPa)	13	16	14	14	13	9

6. Control de los espesores de las placas y deducción de los índices volumétricos de fibras (TVF)

5 Las placas se colocaron entre dos comparadores digitales TESA Digico 10 para medir sus espesores. 24 medidas, repartidas de forma equidistante sobre la superficie, se realizaron para cada placa.

10 Las **Tablas 6a a 6e** presentan los resultados de las mediciones de los espesores de las placas obtenidos a partir de los diferentes materiales intermedios fabricados. A partir de los espesores de las placas, los diferentes TVF se pueden calcular mediante la fórmula (2). El ejemplo comparativo 2b muestra la influencia del espesor de las bandas contrapegadas sobre la capa unidireccional. El espesor de la banda contrapegada sobre la banda, en el caso del ejemplo 2b (**Tabla 4**) es de 62 µm, espesor superior al espesor de la banda reivindicada. El uso de esta banda más espesa lleva a la fabricación una pieza con un índice volumétrico de fibras inferior al requerido para el uso de la pieza en una estructura primaria.

Tabla 6a: Medidas de los espesores de diferentes placas realizadas a partir de capas unidireccionales de fibras de carbono Hexcel IM de 134 g/m² con diferentes tipos de bandas; secuencia de apilamiento [+45/0/-45/90]_{4s}

	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo 2	Ejemplo comparativo 2b	Ejemplo 3	Ejemplo 3b	Ejemplo 4	Ejemplo 4b
Espesor medido (mm)	3,93	3,94	4,25	3,95	3,90	3,94	3,95
Desviación estándar	0,03	0,02	0,2	0,03	0,05	0,02	0,03
TVF calculado (%)	60,7	60,5	56,0	60,3	61,2	60,5	60,3

Tabla 6b: Medidas de los espesores de diferentes placas realizadas a partir de capas unidireccionales Hexcel IM de 194 g/m² con diferentes tipos de bandas; secuencia de apilamiento [+45/0/-45/90]_{3s}

	Ejemplo comparativo 5	Ejemplo 6	Ejemplo 6b	Ejemplo 7	Ejemplo 7b	Ejemplo 8	Ejemplo 8b
Espesor medido (mm)	4,28	4,24	4,32	4,25	4,31	4,32	4,28
Desviación estándar	0,06	0,03	0,02	0,05	0,05	0,03	0,051
TVF calculado (%)	60,4	61,0	59,9	60,9	60,0	59,9	60,5

15 **Tabla 6°C:** Medidas de los espesores de diferentes placas realizadas a partir de capas unidireccionales HR Toray de 150 g/m² con diferentes tipos de bandas; secuencia de apilamiento [+45/0/-45/90]_{4s}

	Ejemplo comparativo 9	Ejemplo 10	Ejemplo 10b	Ejemplo 11	Ejemplo 11b	Ejemplo 12	Ejemplo 12b
Espesor medido (mm)	4,44	4,40	4,45	4,48	4,39	4,4	4,4
Desviación estándar	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04
TVF calculado (%)	60,8	61,3	60,6	60,2	61,4	61,3	61,3

Tabla d6: Medidas de los espesores de diferentes placas realizadas a partir de capas unidireccionales de fibras de carbono Hexcel HR de 134 g/m² con diferentes tipos de bandas; secuencia de apilamiento [+45/0/-45/90]_{4s}

	Ejemplo comparativo 13	Ejemplo 14	Ejemplo 14b	Ejemplo 15	Ejemplo 15b	Ejemplo 16	Ejemplo 16b
Espesor medido (mm)	3,9	4,09	4,11	3,96	3,90	3,98	4,09
Desviación estándar	0,05	0,10	0,10	0,04	0,04	0,03	0,09
TVF calculado (%)	61,4	58,6	58,3	60,4	61,4	60,3	58,6

Tabla 6e: Medidas de los espesores de diferentes placas realizadas a partir de capas unidireccionales de fibras de carbono Hexcel HR de 268 g/m² con diferentes tipos de bandas; secuencia de apilamiento [+45/0/-45/90]_{2s}

	Ejemplo comparativo 17	Ejemplo 18	Ejemplo 18b	Ejemplo 19	Ejemplo 20	Ejemplo 20b
Espesor medido (mm)	3,87	3,98	3,97	3,93	3,92	3,89
Desviación estándar	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06
TVF calculado (%)	61,8	60,2	60,8	61	61,2	61,6

La ecuación (3) permite calcular el índice volumétrico de fibras de cada placa de material compuesto realizado por inyección. Es importante resaltar que, independientemente de las configuraciones utilizadas, el TVF de las placas está comprendido en el intervalo 60 ± 2 % que es un criterio indispensable para la realización de piezas para estructuras primarias.

7. Ejemplos con perforaciones

Se usó un robot provisto de un cabezal de perforación como el ilustrado en la **Figura 5**. Se usaron dos diámetros para la parte penetrante del cabezal: diámetro de 0,8 mm y de 1,6 mm. Para efectuar las perforaciones con soldadura, estos cabezales se calentaron a una temperatura de 200°C y las perforaciones se realizaron con una presión de 30 kPa, durante 0,8 s.

7.1 Material multiaxial casi isotropo soldado por puntos (4 pliegos)

Un apilamiento de 4 pliegos orientados a 45°, 0°, 135° et 90° se realizó en línea en una máquina de fabricación de artículos multiaxiales. Puntos de perforación con soldadura separados 9 mm, como se muestra en la **Figura 4A**, se realizaron en las orientaciones 0° y 90° con respecto al eje de la máquina. Como alternativa, puntos de perforación con soldadura separados 9 y 4,5 mm como se muestra en las **Figure 4B**, se realizaron en las orientaciones +45° y +135° con respecto al eje de la máquina. Se realizaron los apilamientos siguientes:

- Ejemplo 21: 4 pliegos según el ejemplo 8 - cabeza de perforación Φ1,6, del que se proporciona una fotografía en la **Figura 11**
- Ejemplo 22: 4 pliegos según el ejemplo 8 - cabeza de perforación Φ1,6 con el modo alternativo, del que se proporciona una fotografía en la **Figura 12**
- Ejemplo 23: 4 pliegos según el ejemplo 8 - cabeza de perforación Φ0,8, del que se proporciona una fotografía en la **Figura 13**
- Ejemplo 24: 4 pliegos según el ejemplo 8 - cabeza de perforación Φ0,8 con el modo alternativo, del que se proporciona una fotografía en la **Figura 14**
- Ejemplo 25: 1 pliegue según el ejemplo 8 - cabeza de perforación Φ1,6, del que se proporciona una fotografía en la **Figura 15**
- Ejemplo 26: 4 pliegos según el ejemplo 8 soldados (sin perforación) - el medio de soldadura es un cabezal con un diámetro de 8 mm calentado a 200°C, idéntico a los cabezales de perforación, pero sin la aguja. Las soldaduras se distribuyeron según la Figura 4a, pero separadas 50 mm. Las soldaduras se realizaron con una presión de 30 kPa.

Y, como comparativo para la permeabilidad transversal:

- Tejido Sarga 2/2 - ref. Hexcel 48302

- Material multiaxial casi isotrópico 4 x 194 g/m² HR cosido con hilo 76 dtex – 5 mm x 5 mm - punto de cadeneta

7.2 Medidas de permeabilidad transversal

5 La máquina y el método de medida utilizado se describen en la Tesis titulada "Problématique de la mesure de la perméabilité transverse de préformes fibreuses pour la fabrication de structures composites", de Romain Nunez, defendida en la Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, el 16 de octubre de 2009. La variación en el TVF se obtiene mediante variaciones sucesivas del grosor de la muestra. Se realizaron cuatro ensayos para cada tipo de material. Los resultados se presentan en la **Figura 16** y muestran que la curva más baja corresponde a la permeabilidad de los cuatro materiales intermedios de acuerdo con la invención que se soldaron, en ausencia de perforación. Parece claramente que el apilamiento obtenido es muy poco permeable, y de esta forma, será difícil de impregnar al vacío en caso de espesor alto. Las perforaciones permiten, sin duda, mejorar la permeabilidad para acercarse, incluso sobrepasar, la obtenida con un material multiaxial cosido. La realización de las perforaciones con un material intermedio solo también permite mejorar sensiblemente la permeabilidad transversal, pero de forma menor, con respecto a un apilamiento completo y perforado de cuatro pliegos.

Valores de permeabilidad en m²	Índice volumétrico de fibra en %	
	55	60
Ejemplo 22	5,5E-13	3,7E-13
Ejemplo 21	2,2E-13	1,4E-13
Ejemplo 24	4,6E-14	3,5E-14
Ejemplo 23	4,8E-14	3,8E-14
Sarga 2/2 - 4 pliegos ref Hexcel 48302	1,8E-14	1,3E-14
Ejemplo 25	9,7E-15	7,4E-15
Ejemplo 26	2,4E-15	1,9E-15

7.3 Medidas del factor de abertura

20 Los factores de abertura se midieron según el siguiente método.

El dispositivo consta de una cámara marca Sony (Modelo SSC-DC58AP) provista de un objetivo de 10x, y de una mesa de luz marca Waldmann, modelo W LP3 NR, 101381 230V 50HZ 2x15W. La muestra a medir se coloca sobre la mesa de luz, la cámara se fija a un soporte colgante, y se coloca a 29 cm de la muestra, a continuación se configura la nitidez.

La anchura de la medida se determina dependiendo del material fibroso a analizar, mediante el anillo (zoom), y una regla: 10 cm para los materiales fibrosos abiertos (OF>2 %), 1,17 cm para los materiales fibrosos poco abiertos (OF<2 %).

30 Mediante el diafragma y un cliché testigo, se regula la luminosidad para obtener un valor de OF correspondiente al obtenido para el cliché testigo.

35 Se utiliza el programa informático de medición por contraste Videomet, de la empresa Scion Image (Scion Corporation, EE.UU.). Después de la captura de la imagen, esta se trata de la siguiente forma: con una herramienta se define una superficie máxima correspondiente a la calibración seleccionada, por ejemplo, para 10 cm - 70 orificios, y que incluya un número entero de motivos. A continuación se selecciona una superficie elemental en el sentido textil del término, es decir, una superficie que describa la geometría del material fibroso por repetición.

40 La luz de la mesa de luz se hace pasar a través de aberturas del material fibroso, el valor de OF, en porcentaje, se define por ciento del que se restará la superficie negra dividida por la superficie elemental, es decir 100-(superficie negra / superficie elemental).

45 Se debe indicar que la regulación de la luminosidad es importante porque los fenómenos de difusión pueden modificar el tamaño aparente de los orificios y, por tanto, el valor OF. Se mantendrá una luminosidad intermedia, de forma que no sea visible ningún fenómeno de saturación o de difusión demasiado importante.

Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 7** siguiente:

50

	Ej. 21	Ej. 22	Ej. 23	Ej. 24	Ej. 25
%OF medio	0,14	0,54	0,08	0,13	0,96
Desviación estándar	0,002	0,15	0,03	0,05	0,06

Se debe indicar que el factor de apertura de un pliego perforado es bastante grande (de aproximadamente un 1 %) y es mayor que el obtenidos para los apilamientos perforados, mientras que la permeabilidad del pliego perforado sea menor que el de los apilamientos. Parece, por tanto, que una sola perforación realizada durante el montaje de los diferentes pliegos para formar un apilamiento sea más eficaz, en términos de permeabilidad, que el apilamiento de materiales intermedios unitarios perforados por separado. Es posible pensar, por ejemplo, que la resina fluida penetre más fácilmente *via* los canales ya creados a través de varios espesores. Sea lo que sea, el aumento de la permeabilidad del pliego unitario ($2,10^{15} \text{ m}^2$ a 7.10^{15} m^2 para un TVF de 60 %) unido a su aumento en el factor de apertura (de 0 a 1 %) es muy importante, y permitirá aumentar los espesores posibles de los estratificados realizados con los materiales intermedios de acuerdo con la invención.

7.4 Valores mecánicos

Los apilamientos multiaxiales soldados de acuerdo con la invención se compararon con los mismos materiales multiaxiales cosidos.

Los materiales multiaxiales cosidos de referencia están formados por pliegos correspondientes al ejemplo 12. El hilo de costura es un hilo de poliamida 76 dTex, sin costura de cadeneta 5 mm x 5 mm.

Los materiales multiaxiales cosidos se fabricaron con los mismos pliegos del ejemplo 12, pero se soldaron de acuerdo con un motivo cuadrado según la **Figura 4A**, pero de 50 mm x 50 mm, con un punto de soldadura de 8 mm de diámetro, por tanto sin costura. El apilamiento utilizado para los ensayos es $[(90/+45/0)/(0/-45/90)/(90/+45/0)/(90/-45/0)]_s$. Las normas utilizadas son las mencionadas en la **Tabla 8** siguiente.

Se usaron las siguientes condiciones particulares. Para tracción, se usaron probetas rectangulares con dimensiones $190 \times 25 \text{ mm}^2$ y se calculó un módulo de cuerda tomado entre 1000 y 6000 $\mu\text{m}/\text{m}$. Para tracción con orificios sin rellenar, se usaron probetas con dimensiones $150 \times 25 \text{ mm}^2$ con una perforación de 5 mm de diámetro. Para tracción con orificios con relleno, se usaron probetas con dimensiones $150 \times 25 \text{ mm}^2$ con una perforación de 5 mm de diámetro y abocardado a 100° con 2,1 mm de profundidad provistas de una tuerca 5RH8035M ST 39584 (par de apriete a 0,35 daN.m) y un tornillo 22258 TX 050 005 ST 38260. Para compresión con orificios sin rellenar, se usaron probetas con dimensiones $115 \times 25 \text{ mm}^2$ con una perforación de 5 mm. La carga se realizó por la cabeza y pies de la probeta. Para compresión con relleno, se usaron probetas con dimensiones $115 \times 25 \text{ mm}^2$ con una perforación de 5 mm de diámetro y abocardado a 100° con 2,1 mm de profundidad, provistas de una tuerca 5RH8035M ST 39584 (par de apriete a 0,35 daN.m) y un tornillo 22258 TX 050 005 ST 38260. Las probetas se cargaron por la cabeza y pies.

Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio, en condiciones normalizadas de humedad y temperatura (ensayos "seco", "temperatura ambiente").

Tabla 8

Tipo de ensayo	Lote	Promedio	Desviación estándar
Tracción - Límite [MPa] Norma: EN 6035 tipo 2	Cosido	816	29
	Soldado	903	4
Tracción - Módulo [GPa] Norma: EN 6035 tipo 2 con módulo cuerda 1000-6000 $\mu\text{m}/\text{m}$	Cosido	47,87	0,40
	Soldado	48,52	0,57
Tracción con orificios - Límite [MPa] Norma: EN 6035 tipo 1	Cosido	489	21
	Soldado	462	21
Tracción con relleno - Límite [MPa] Norma: EN 6035 tipo 1 + abocardado 100° y tornillo	Cosido	397	15
	Soldado	379	24

ES 2 616 475 T3

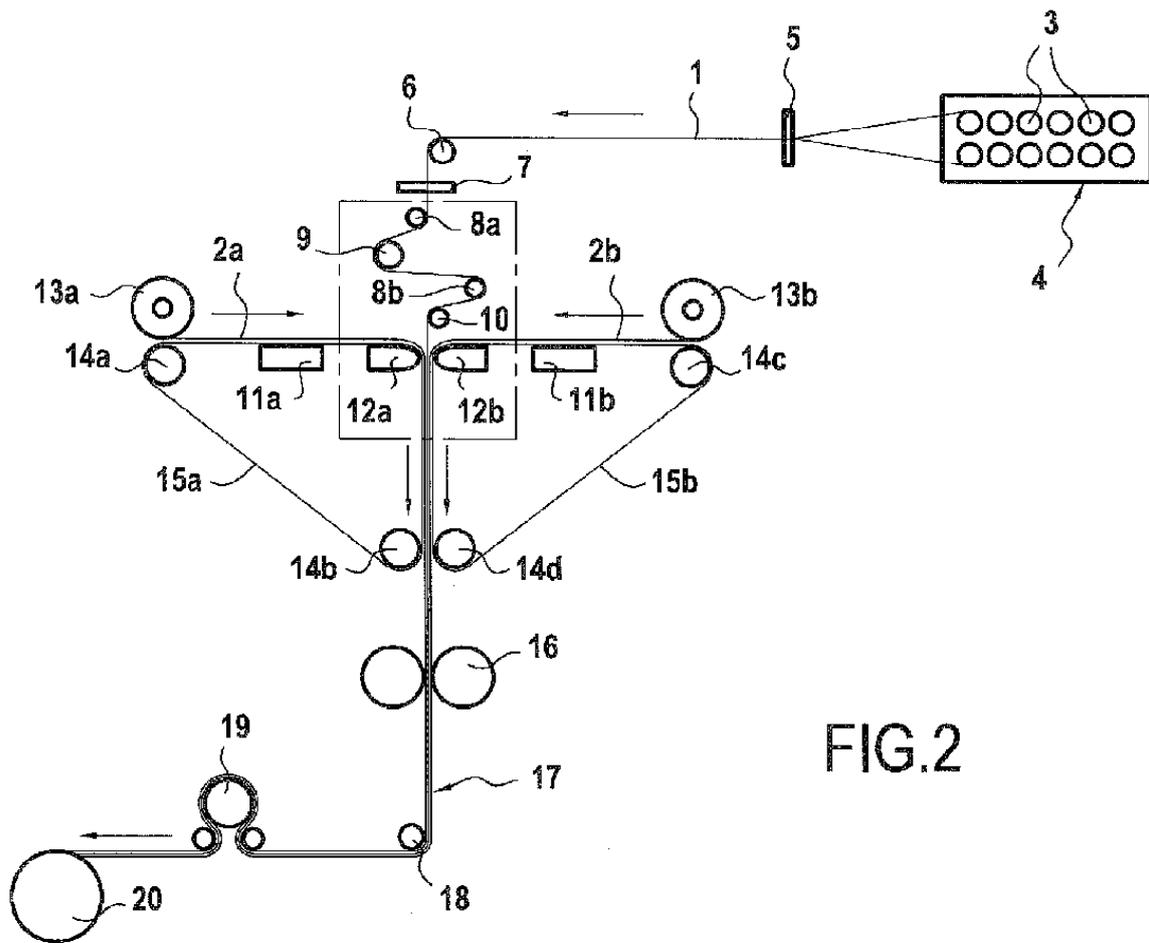
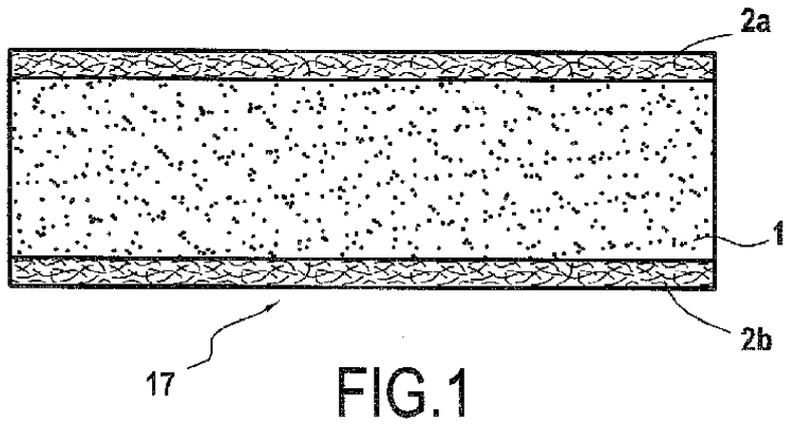
Tipo de ensayo	Lote	Promedio	Desviación estándar
Compresión con orificios - Límite [MPa] Norma: EN 6036 tipo 1	Cosido	247	7
	Soldado	244	4
Compresión con orificios - Límite [MPa] Norma: EN 6036 tipo 3	Cosido	302	14
	Soldado	291	16
Tracción - Módulo [GPa] Engrosamiento: x10	Cosido	479	4
	Soldado	485	6

La **Figura 17** resume el conjunto de estos resultados.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Novedoso material intermedio, destinado a su asociación con una resina termoendurecible para fabricar piezas de material compuesto, constituido por una capa unidireccional de fibras de carbono que tienen una masa superficial de 100 a 280 g/m², asociado, en cada una de sus caras, a una banda de fibras termoplásticas, mostrando cada una de dichas bandas, un espesor de 0,5 a 50 micrómetros, preferentemente de 3 a 35 micrómetros, presentando el material intermedio un espesor total de 80 a 380 micrómetros, preferentemente de 90 a 320 micrómetros.
- 10 2. Novedoso material intermedio, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el espesor del material intermedio muestra poca variabilidad, especialmente con variaciones en el espesor que no superan los 20 µm en desviación típica, que referentemente que no superan 10 µm de desviación típica.
- 15 3. Novedoso material intermedio, de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la capa unidireccional no contiene ningún hilo de trama para entrelazar las fibras de carbono.
- 20 4. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el material intermedio no contiene ni tejido, ni costura, ni tricotado.
- 25 5. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las bandas presentes en cada una de las dos caras son prácticamente idénticas.
- 30 6. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las fibras termoplásticas se seleccionan entre fibras de poliamidas (PA: PA6, PA12, PA11, PA6,6, PA 6,10, PA6.12, ...), Copoliamidas (CoPA), Poliamidas - bloques éter o éster (PEBAX, PEBA), poliftalamida (PPA), poliésteres (tereftalato de polietileno -PET-, poli(tereftalato de butileno) - PBT-...), copoliésteres (CoPE), poliuretanos termoplásticos (TPU), poliacetales (POM...), Poliolefinas (PP, HDPE, LDPE, LLDPE...), polietersulfonas (PES), polisulfonas (PSU...), polifenilensulfonas (PPSU...), polieteretercetonas (PEEK), poliétercetona (PEKK), poli(sulfuro de fenileno) (PPS), o polieterimididas (PEI), poliimididas termoplásticas, polímeros de cristal líquido (ECP), fenoxis, copolímeros de bloques como los polímeros de estireno-butadieno-metacrilato de metilo (SBM), copolímeros de metacrilato de metilo-acrilato de butilo-metacrilato de metilo (MAM) o una mezcla de fibras formadas por estos materiales termoplásticos.
- 35 7. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las bandas tienen una masa superficial comprendida en el intervalo de 0,2 a 20 g/m².
- 40 8. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la asociación entre la capa unidireccional y las bandas se realiza según una unión que se extiende a la totalidad de la superficie de la capa.
- 45 9. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** tiene un factor de abertura del 0 %.
- 50 10. Novedoso material intermedio, de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** tiene un factor de abertura comprendido en el intervalo de 0,1 a 5 %, preferentemente en el intervalo de 1 a 2 %, obtenido mediante perforaciones realizadas en el espesor del material.
- 55 11. Procedimiento de fabricación de un material intermedio de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10 **caracterizado por que** una capa unidireccional de fibras de carbono que muestra una masa superficial de 100 a 280 g/m², está asociada, en cada una de sus caras, a una banda de fibras termoplásticas, mostrando cada una de dichas bandas, un espesor de 0,5 a 50 micrómetros, preferentemente de 3 a 35 micrómetros, mediante una etapa de fusión/enfriamiento de las bandas, de forma que el material intermedio tenga un espesor total de 80 a 380 micrómetros, preferentemente de 90 a 320 micrómetros.
- 60 12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 **caracterizado por que** la asociación se realiza mediante una etapa de termocompresión.
- 65 13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12 **caracterizado por que** comprende una etapa de perforación del material intermedio.
14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13 **caracterizado por que** la perforación se realiza mediante penetración de un medio de perforación y de un calentamiento alrededor del medio de perforación y un calentamiento alrededor del medio de perforación que conlleva un reblandecimiento de la banda, seguido de enfriamiento.
15. Apilamiento de materiales intermedios de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10 **caracterizado por que** los materiales intermedios están unidos entre sí dentro del apilamiento.

16. Apilamiento de acuerdo con la reivindicación 15 **caracterizado por que** el apilamiento no está unido por costura, ni por tricotado, sino mediante una soldadura realizada con una operación de calentamiento/enfriamiento de la banda.
- 5 17. Apilamiento de acuerdo con la reivindicación 15 o 16 **caracterizado por que** los materiales intermedios están unidos entre sí, de forma discontinua, por calentamiento/enfriamiento de la banda que produce soldaduras puntuales.
- 10 18. Apilamiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 15 a 17 **caracterizado por que** muestra diferentes perforaciones que permiten crear canales de difusión para la resina, que se extienden, en el espesor del apilamiento, preferentemente, transversalmente a los materiales intermedios que constituyen el apilamiento.
- 15 19. Apilamiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 15 a 18 **caracterizado por que** tiene un factor de abertura comprendido en el intervalo de 0,05 a 3 %, preferentemente en el intervalo de 0,1 a 0,6 %.
- 20 20. Pieza de material compuesto que se puede obtener mediante un procedimiento de fabricación de una pieza de material compuesto **caracterizado por que** incluye las siguientes etapas:
- a) disponer de un apilamiento de materiales intermedios de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, o un apilamiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 15 a 19,
 - b) opcionalmente, unir el apilamiento obtenido en la forma de una preforma,
 - c) añadir, mediante infusión o inyección, una resina termoendurecible,
 - d) consolidar la pieza deseada mediante una etapa de polimerización/reticulación según un ciclo definido de temperatura y presión, seguido de enfriamiento.
- 25 21. Pieza de material compuesto de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizada por que** la resina termoendurecible se añade mediante infusión a presión reducida, especialmente a una presión inferior a la presión atmosférica, especialmente inferior a 1 bar (100 kPa) y preferentemente comprendida entre 0,1 (10 kPa) y 1 bar (100 kPa).
- 30 22. Pieza de material compuesto de acuerdo con la reivindicación 20 o 21 **caracterizada por que** tiene un índice volumétrico de fibras de 57 a 63 %, preferentemente del 59 al 61 %.
- 35 23. Pieza de material compuesto de acuerdo con la reivindicación 20, 21 o 22 **caracterizada por que** tiene un valor del límite de rotura a compresión tras impacto (CAI), medida según la norma prEN 6038 para un impacto de energía de 25 J, superior a 200 MPa.



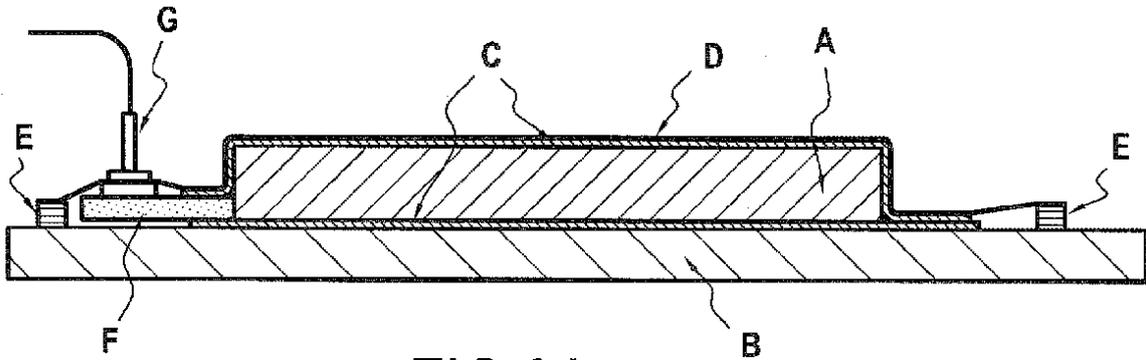


FIG.3A

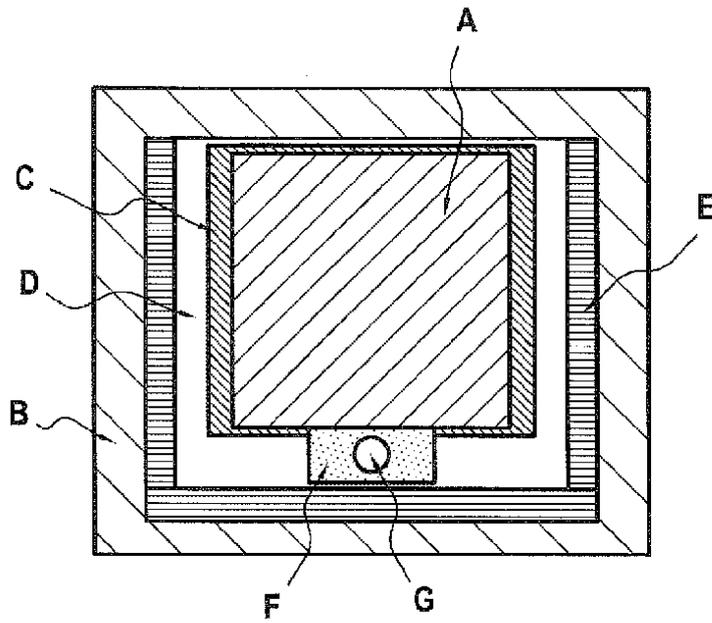


FIG.3B

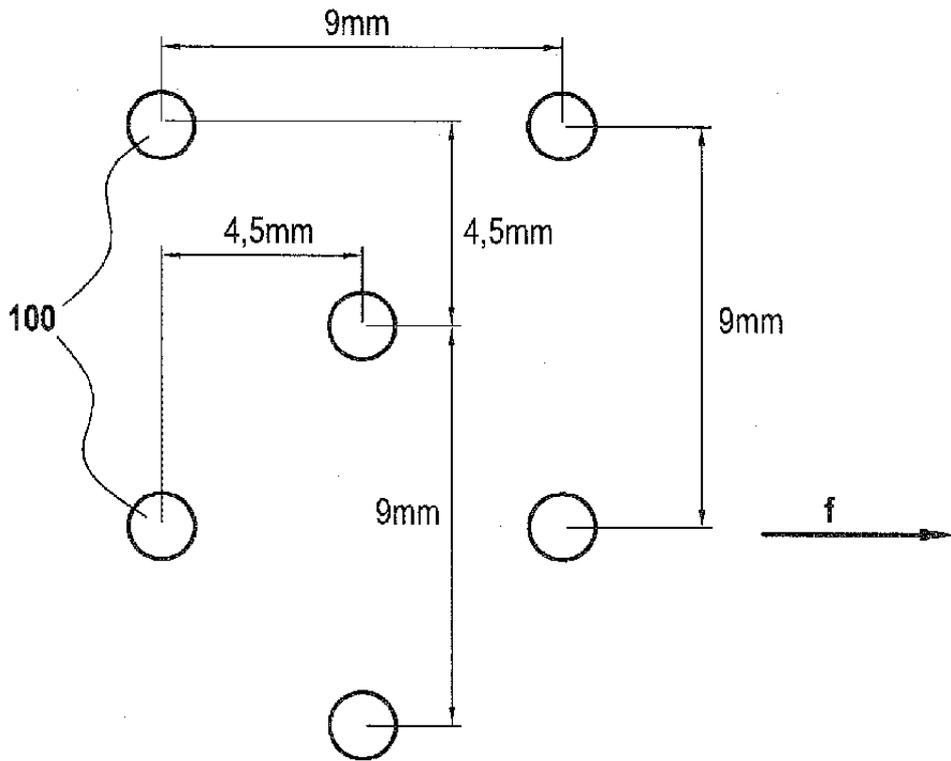


FIG. 4A

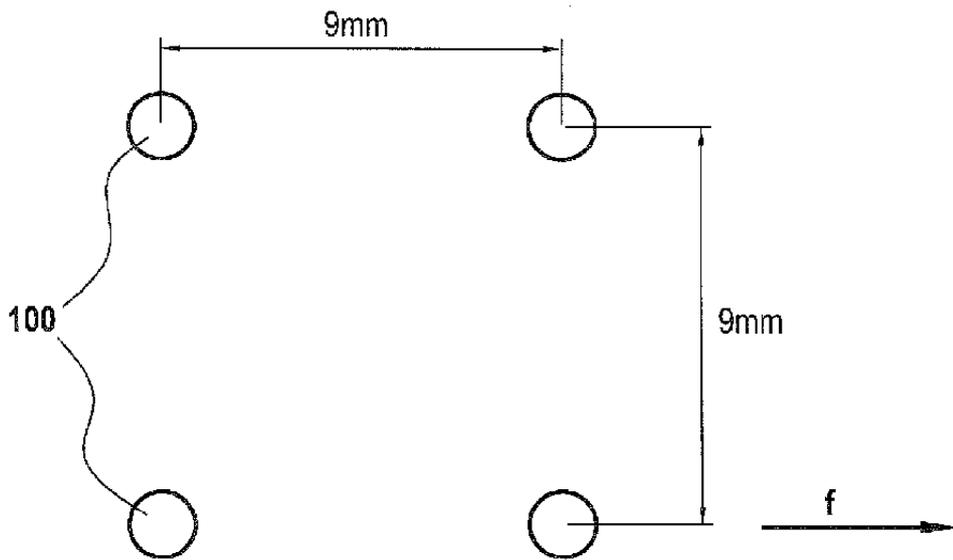


FIG. 4B

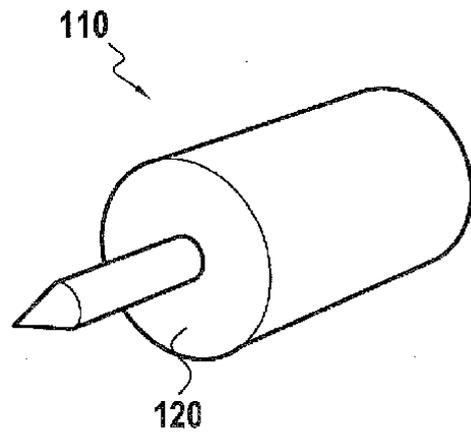


FIG. 5

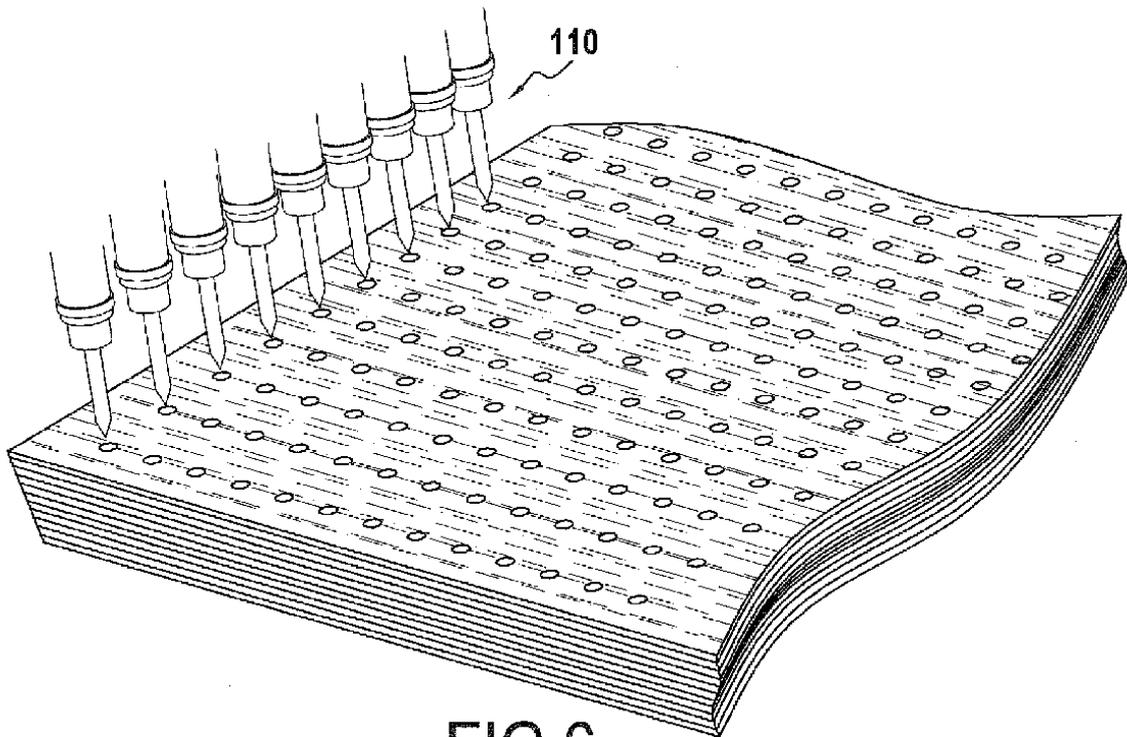


FIG. 6

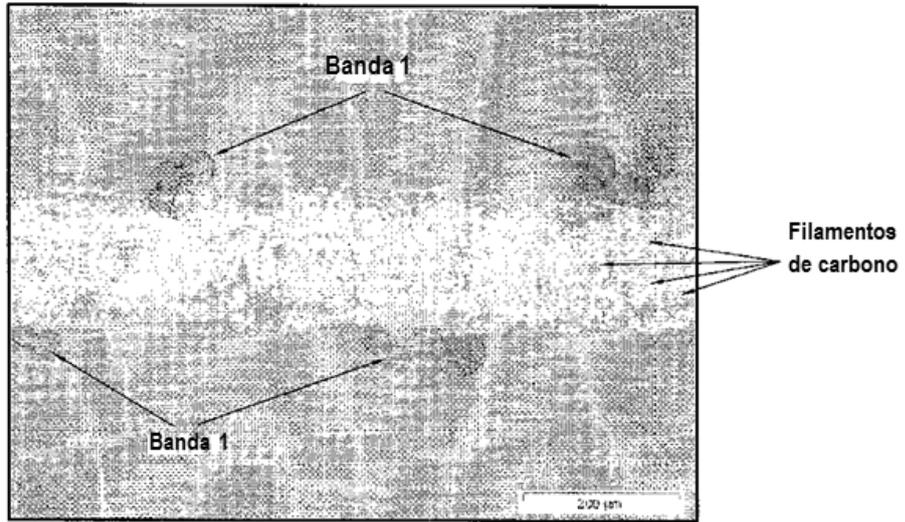


FIG.7

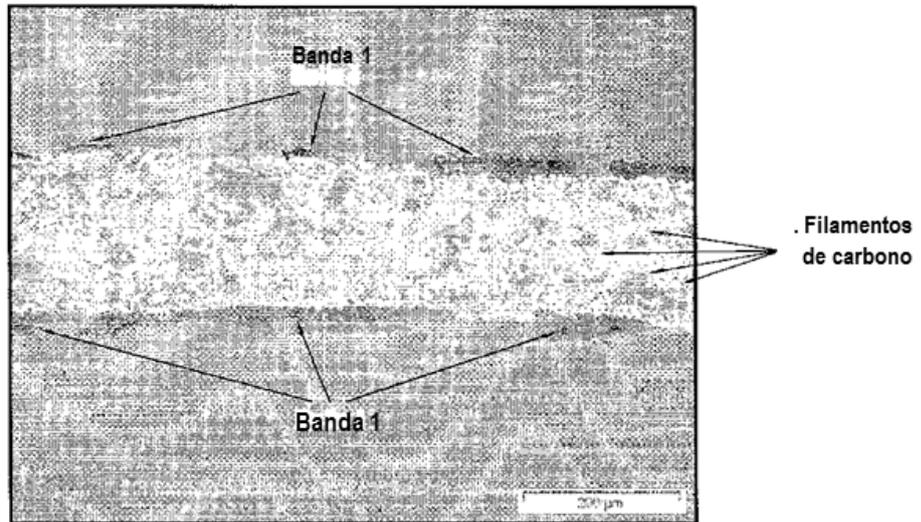


FIG.8

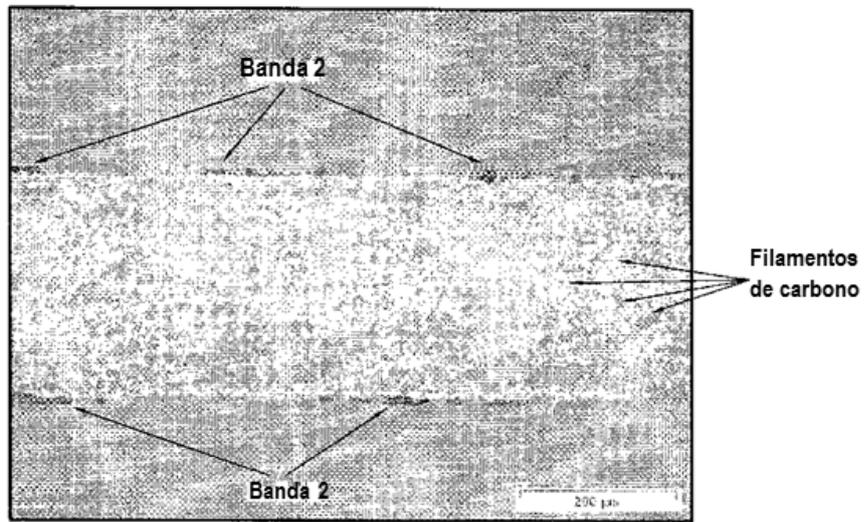


FIG.9

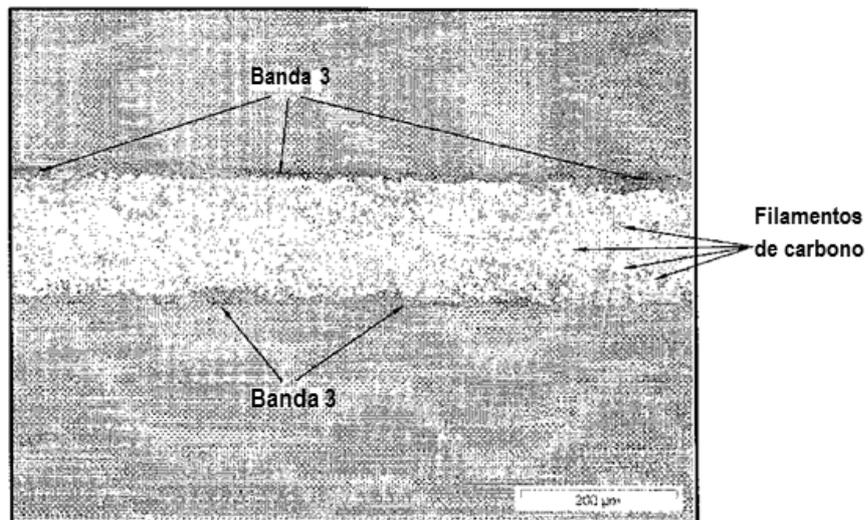


FIG.10

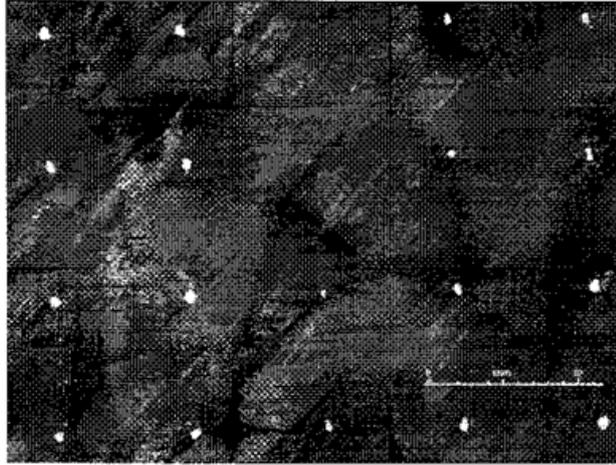


FIG.11

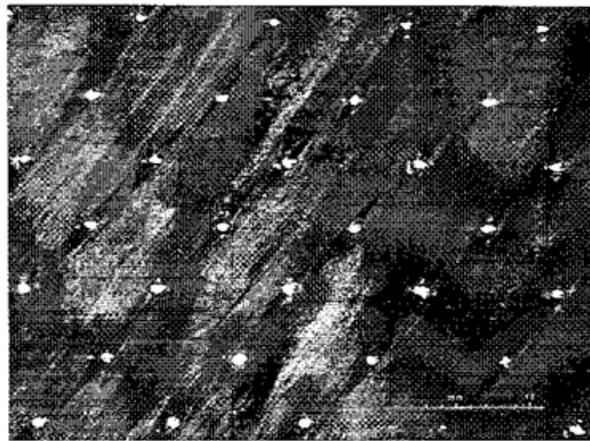


FIG.12

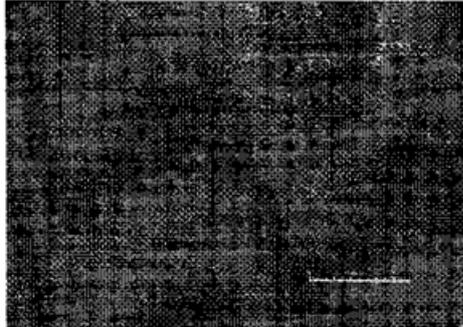


FIG.13

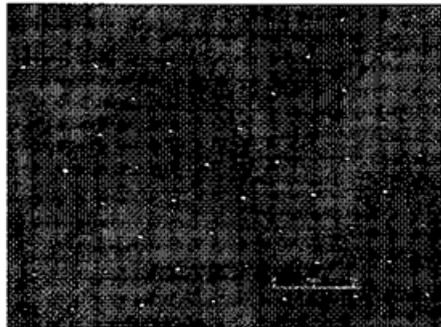


FIG.14

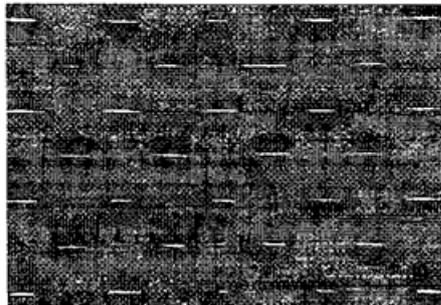
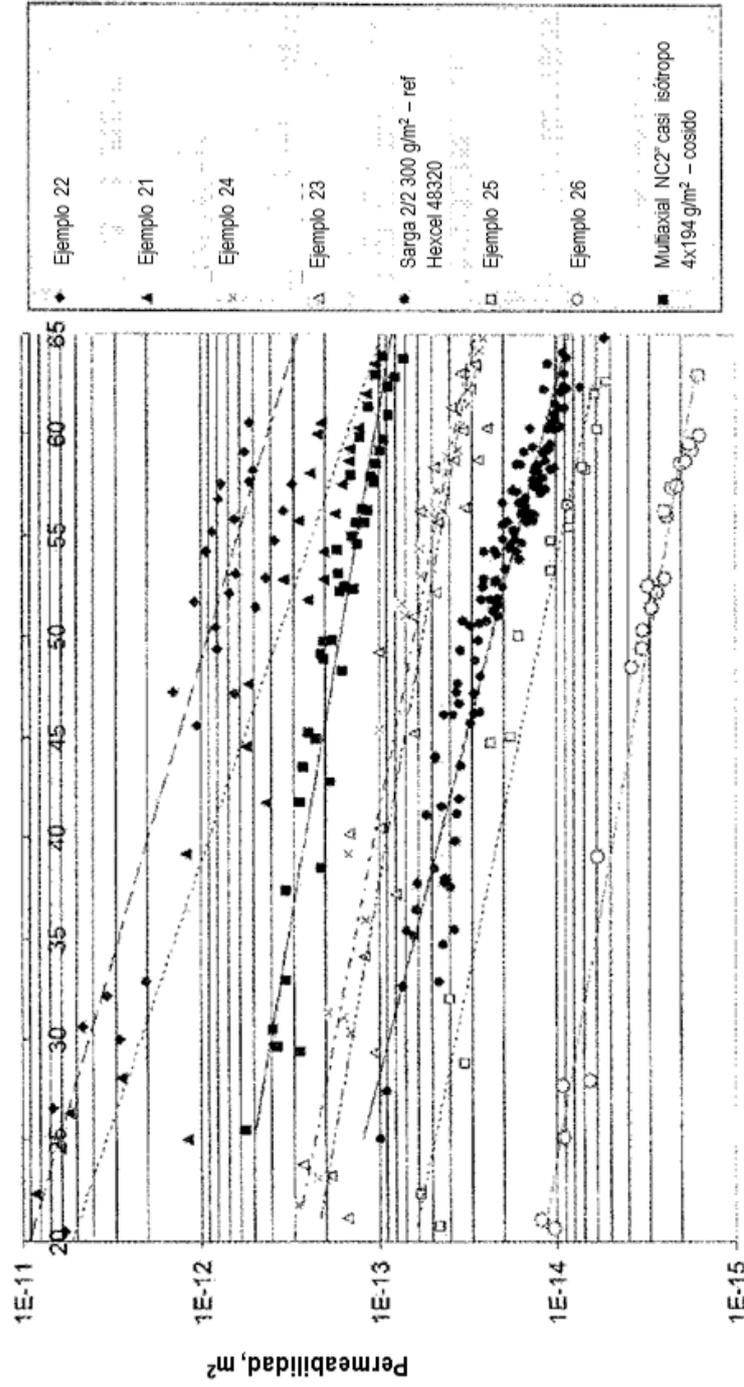


FIG.15



Índice volumétrico de fibra en %

FIG. 16

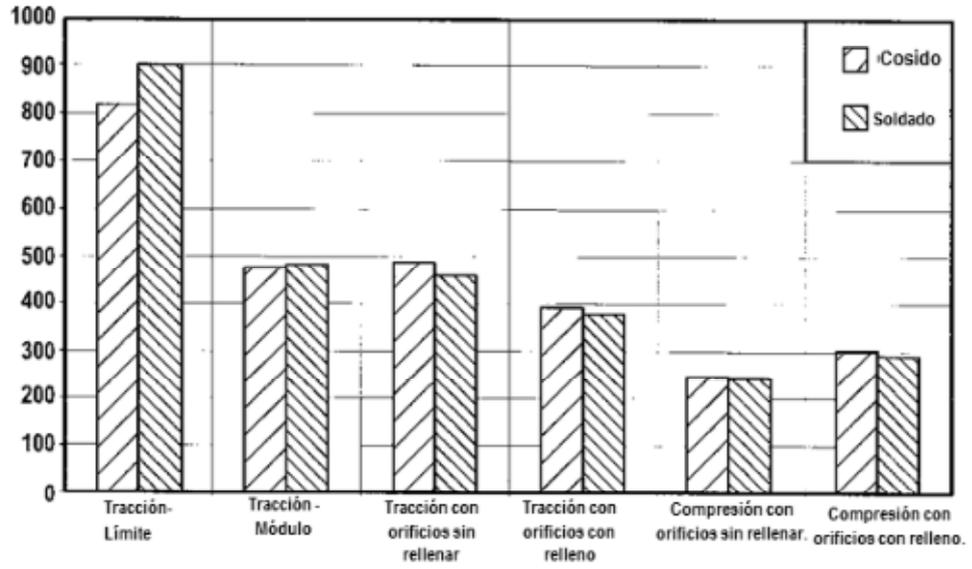


FIG.17