

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 712**

51 Int. Cl.:

F41H 5/04 (2006.01)

F41H 1/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.03.2014 PCT/US2014/023118**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.12.2014 WO14197039**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2014 E 14807267 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 2972058**

54 Título: **Reducción del trauma sin reducción del comportamiento balístico**

30 Prioridad:

15.03.2013 US 201313832693

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

12.11.2019

73 Titular/es:

**HONEYWELL INTERNATIONAL INC. (100.0%)
115 Tabor Road
Morris Plains, NJ 07950, US**

72 Inventor/es:

**GRUNDEN, BRADLEY;
THAGARD, JAMES y
BHATNAGAR, ASHOK**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 730 712 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

Reducción del trauma sin reducción del comportamiento balístico.

Antecedentes

Campo de la técnica

- 5 Esta tecnología está relacionada con artículos de materiales compuestos de resistencia balística que han mejorado la resistencia a la deformación de la cara posterior, así como una mayor resistencia a la penetración balística.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Los artículos de resistencia balística, como chalecos, cascos, paneles de vehículos y miembros estructurales resistentes a las balas de equipamiento militar, se fabrican típicamente a partir de protecciones de materiales compuestos que comprenden fibras de alta resistencia. Las fibras de alta resistencia convencionalmente utilizadas para fabricar protecciones de materiales compuestos incluyen fibras de polietileno, fibras de aramida como poli(tereftalamida fenilendiamina), fibras de grafito, fibras de nilón, fibras de vidrio y otras. Para algunas aplicaciones, las fibras se forman en telas tejidas o de punto. Para otras aplicaciones, las fibras se revisten con un material aglutinante polimérico y se forman en telas no tejidas.

- 15 Se conocen varias construcciones resistentes balísticas que son útiles para la formación de artículos de protección duros o blandos como cascos, paneles y chalecos. Por ejemplo, las patentes de EE.UU. 4.403.012, 4.457.985, 4.613.535, 4.623.574, 4.650.710, 4.737.402, 4.748.064, 5.552.208, 5.587.230, 6.642.159, 6.841.492, 6.846.758 y US6127291A1, describen de materiales compuestos de resistencia balística que incluyen fibras de alta resistencia fabricadas con materiales como el polietileno de cadena extendida de ultra alto peso molecular. Estos materiales compuestos presentan diferentes grados de resistencia balística a proyectiles de alta velocidad como balas, proyectiles, metralla y otros.

- 20 Las dos medidas principales del comportamiento antibalístico de la protección de material compuesto son la resistencia a la penetración balística y la resistencia a trauma contundente ("trauma"). Una caracterización común de la resistencia a la penetración balística es la velocidad V_{50} , que es la velocidad de impacto calculada estadísticamente, derivada de manera experimental, a la que se espera que un proyectil traspase completamente la protección un 50% de las veces y que sea detenido completamente por la protección un 50% de las veces. Para los materiales compuestos de igual densidad de área (es decir, el peso de la protección de material compuesto dividido entre la superficie) cuanto mayor sea la V_{50} , mejor será la resistencia del material compuesto a la penetración.

- 25 Si un proyectil de alta velocidad traspasa o no una protección, cuando el proyectil interactúe con la protección, el impacto también desvía la protección corporal en el área de impacto, causando potencialmente lesiones significativas no penetrantes de traumatismo contundente. La medida de la profundidad de la desviación de la protección corporal debido a un impacto de bala se conoce como huella de la cara posterior ("BFS"), también conocido en la técnica como deformación de la cara posterior o huella del traumatismo. Las lesiones por traumatismo contundente potencialmente resultantes pueden ser tan mortales para un individuo como si la bala hubiera traspasado completamente la protección y entrado en el cuerpo. Esto es especialmente consecuente en el contexto de la protección del casco, donde la protuberancia transitoria causada por una bala detenida puede todavía sobrepasar el plano del cráneo bajo el casco y causar daño cerebral debilitante o fatal. En consecuencia, hay una necesidad en la técnica de materiales compuestos de resistencia balística que tienen también tanto un comportamiento balístico V_{50} superior como una menor huella de la cara posterior.

- 30 Se sabe que el comportamiento balístico V_{50} de protección de material compuesto fibroso está directamente relacionado con la resistencia de las fibras constituyentes del material compuesto. Se sabe que los aumentos en las propiedades de resistencia de la fibra, como tenacidad y módulo de tracción, se correlacionan con un aumento en la velocidad V_{50} . Sin embargo, una mejora correspondiente en la disminución de la huella de la cara posterior con mayores propiedades de la resistencia de la fibra no ha sido reconocida de manera similar. Típicamente, la disminución de la deformación de la cara posterior se ha abordado mediante el acoplamiento de materiales compuestos de tela de alta V_{50} con materiales de soporte que absorben energía, como espumas atenuadoras de energía o materiales de nido de abeja que absorben energía de impacto en lugar de transmitirlo al usuario.

- 35 Sin embargo, tales materiales de soporte añaden típicamente un volumen y/o peso excesivos a los artículos de protección y, así, no son muy adecuados para su uso en aplicaciones de protección corporal.

- 40 En vista de estos problemas, existe una necesidad continua en la técnica de soluciones de mejores protecciones que tienen una superior resistencia a la penetración balística, así como un menor comportamiento de la huella de la cara posterior. La invención proporciona una solución a esta necesidad.

Sumario

Se proporciona un material de resistencia balística según la reivindicación independiente 1 y un material de resistencia balística que comprende capas fibrosas tejidas según la reivindicación independiente 10.

También se proporciona un material de resistencia balística según la reivindicación 1 que comprende, además:

5 un primer material compuesto que comprende una pluralidad de pliegues fibrosos no tejidos, estando dicha pluralidad de pliegues fibrosos consolidados; comprendiendo cada uno de los pliegues fibrosos una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que se revisten sustancialmente con un aglutinante polimérico, teniendo dichas fibras una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del primer material compuesto están orientadas en una dirección longitudinal de la fibra no paralela en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho primer material compuesto;

10 un segundo material compuesto unido al primer material compuesto, cuya segundo material compuesto comprende una pluralidad de pliegues fibrosos no tejidos, estando dicha pluralidad de pliegues fibrosos consolidados; comprendiendo cada uno de los pliegues fibrosos una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que están sustancialmente revestidas con un aglutinante polimérico, teniendo dichas fibras una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del segundo material compuesto están orientadas en una dirección longitudinal no paralela de la fibra en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho segundo material compuesto; y

20 un tercer material compuesto unido al segundo material compuesto, cuya tercer material compuesto comprende una pluralidad de pliegues fibrosos no tejidos, estando dicha pluralidad de pliegues fibrosos consolidados; comprendiendo cada uno de los pliegues fibrosos una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que están sustancialmente revestidas con un aglutinante polimérico, teniendo dichas fibras una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del tercer material compuesto están orientadas en una dirección longitudinal de la fibra no paralela en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho tercer material compuesto; y

25 en donde la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del segundo material compuesto; y en donde la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es la misma o diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del tercer material compuesto; y

30 en donde el primer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , el segundo material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , y el tercer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 ; y en donde la densidad de área del primer material compuesto es superior al 50% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto, del segundo material compuesto y del tercer material compuesto.

35 Además, se proporciona un material de resistencia balística, según la reivindicación 10, que comprende:

un primer material compuesto que comprende una pluralidad de capas fibrosas tejidas, estando dicha pluralidad de capas fibrosas consolidadas; comprendiendo cada una de las capas fibrosas una pluralidad de fibras que tienen una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; y

40 un segundo material compuesto unido al primer material compuesto, cuyo segundo material compuesto comprende una pluralidad de capas fibrosas tejidas, estando dicha pluralidad de capas fibrosas consolidadas; comprendiendo cada una de las capas fibrosas una pluralidad de fibras que tienen una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más;

45 en donde cada fibra de cada material compuesto tiene una dirección longitudinal de la fibra y la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en cada capa del primer material compuesto es diferente a la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en cada capa del segundo material compuesto; y

en donde el primer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , el segundo material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , y en donde la densidad de área del primer material compuesto es mayor que el 50% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto.

50 Descripción detallada

La invención proporciona artículos que incluyen dos o más de materiales compuestos fibrosos, comprendiendo cada material compuesto una pluralidad de fibras de alta resistencia y, opcionalmente, un material aglutinante polimérico. Los artículos de múltiples materiales compuestos tienen una superior resistencia a la penetración balística y son particularmente efectivos en disminuir la extensión de la huella de la cara posterior.

5 Los artículos que tienen una superior resistencia a la penetración balística son aquellos que muestran excelentes propiedades protegiendo contra la penetración por proyectiles deformables, como las balas, y contra la penetración de fragmentos, como la metralla. Los artículos que muestran una menor huella de la cara posterior son aquellos que evitan o minimizan las lesiones por traumatismo contundente. La huella de la cara posterior es una medida de la profundidad de la desviación de la protección blanda o dura en un material de soporte o en un cuerpo de usuario debido a un impacto de proyectil. También conocido en la técnica como "deformación de la cara posterior", "huella de traumatismo" o "traumatismo de fuerza contundente" (términos utilizados indistintamente en el presente documento), la BFS indica el posible trauma contundente experimentado por el cuerpo bajo la protección. El procedimiento estándar para medir la BFS de protección blanda está descrito por la norma NIJ 0101,04, Tipo IIIA, que identifica un procedimiento de transferencia de la deformación física de un material compuesto resultante de un impacto de proyectil no penetrante en un material de soporte de arcilla deformable que se mantiene en un accesorio a modo de caja de cara abierta. Según la norma NIJ, la protección que se está probando se asegura directamente a una superficie frontal del soporte de arcilla y se identifica y mide cualquier deformación de la arcilla resultante de las condiciones normalizadas de disparo del proyectil. Para medir la BFS pueden utilizarse otros procedimientos, pero la norma NIJ se utiliza convencionalmente actualmente para evaluar los materiales compuestos de protección blanda destinados para uso militar.

20 Como se utiliza en el presente documento, una "fibra de alta resistencia" es una fibra que tiene una tenacidad preferida de, al menos, aproximadamente 7 g/denier o más, un módulo de tracción preferido de, al menos, aproximadamente 150 g/denier o más, y preferiblemente una energía hasta rotura de, al menos, aproximadamente 8 J/g o más, cada uno medido mediante la ASTM D2256. Como se utiliza en el presente documento, el término "denier" es una unidad de densidad lineal igual a la masa en gramos por cada 9.000 metros de fibra/hilo. La "tenacidad" de una fibra se refiere a la tensión de tracción expresada como fuerza (gramos) por unidad de densidad lineal (denier) de una muestra sin tensión. El "módulo inicial" de una fibra es la propiedad de un material representativo de su resistencia a la deformación. El "módulo de tracción" se refiere a la relación entre el cambio en tenacidad, expresado en gramos-fuerza por denier (g/d) y el cambio en deformación, expresado como una fracción de la longitud original de la fibra (pulgada/pulgada).

30 A los efectos de la presente invención, una "fibra" es un cuerpo alargado, cuya dimensión longitudinal es mucho mayor que las dimensiones transversales de anchura y espesor. Las secciones transversales de las fibras para su uso en esta invención pueden variar ampliamente, y pueden tener una sección transversal circular, plana u oblonga. También pueden tener una sección transversal multilobular irregular o regular que tiene uno o más lóbulos regulares o irregulares que sobresalen del eje lineal o longitudinal del filamento. Así, el término "fibra" incluye filamentos, cintas, tiras y otros, que tienen sección transversal regular o irregular. Se prefiere que las fibras tengan una sección transversal sustancialmente circular. Como se utiliza en el presente documento, el término "hilo" se define como una única hebra que consta de múltiples fibras. Una sola fibra puede formarse a partir de solo un filamento o de múltiples filamentos. Una fibra formada a partir de solo un filamento se refiere en el presente documento bien como una fibra de "filamento individual" o bien como una fibra "monofilamento", y una fibra formada a partir de una pluralidad de filamentos se refiere en el presente documento como una fibra "multifilamento".

40 Una "capa de fibra", tal como se utiliza en el presente documento, puede comprender un solo pliegue de fibras orientadas unidireccionalmente, una pluralidad de pliegues consolidados de fibras orientadas unidireccionalmente, una tela tejida, un tejido de punto, una pluralidad de telas tejidas consolidadas o una pluralidad de tejidos de punto consolidados. Una "capa" describe una disposición generalmente plana. Cada capa de fibra tendrá una superficie externa superior y una superficie externa inferior. Un "único pliegue" de fibras orientadas unidireccionalmente comprende una disposición de fibras que se alinean en una matriz unidireccional, sustancialmente paralela. Este tipo de disposición de las fibras se conoce también en la técnica como una "cinta unitaria", "cinta unidireccional", "UD" o "UDT". Como se utiliza en el presente documento, una "matriz" describe una disposición ordenada de fibras o hilos, que es exclusiva de telas tejidas y de tejidos de punto, y una "matriz paralela" describe una disposición paralela coplanaria ordenada, de lado a lado, de fibras o hilos. El término "orientadas" como se utiliza en el contexto de "fibras orientadas" se refiere a la dirección de alineamiento de las fibras en lugar de al estiramiento de las fibras. El término "tela" describe estructuras que pueden incluir uno o más pliegues de fibras, con o sin consolidación/moldeo de los pliegues. Una tela no tejida formada a partir de fibras unidireccionales comprende típicamente una pluralidad de pliegues de fibras no tejidas que se apilan unas sobre otras de una manera sustancialmente coextensiva y consolidada. Cuando se utiliza en el presente documento, una estructura "de una sola capa" se refiere a cualquier estructura fibrosa monolítica compuesta por uno o más pliegues individuales o capas individuales que se han fusionado mediante técnicas de consolidación o de moldeo. La expresión "material compuesto" se refiere a combinaciones de fibras, opcionalmente pero preferiblemente con un material aglutinante polimérico.

5 Fibras de alta resistencia y de alto módulo de tracción, particularmente adecuadas, incluyen fibras de poliolefinas, que incluyen polietileno de alta densidad y de baja densidad. Particularmente preferidas son las fibras de poliolefinas de cadena extendida, tales como fibras de polietileno de alto peso molecular muy orientadas, particularmente fibras de polietileno de peso molecular ultra alto, y fibras de polipropileno, particularmente fibras de polipropileno de ultra alto peso molecular. También son adecuadas las fibras de aramida, particularmente fibras de para-aramida, fibras de poliamida, fibras de poli(tereftalato de etileno), fibras de poli(naftalato de etileno), fibras de poli(alcohol vinílico) de cadena extendida, fibras de poli(acrilonitrilo) de cadena extendida, polibenzoxazol (PBO), fibras de polibenzotiazol (PBT), fibras de copoliéster de cristal líquido, fibras de varilla rígida como las fibras M5®, y fibras de vidrio, que incluyen fibra de vidrio de grado eléctrico (E-glass; vidrio de borosilicato bajo en álcali con buenas propiedades eléctricas), fibra de vidrio de grado estructural (S-glass; un silicato-magnesia-alúmina de alta resistencia) y fibra de vidrio de grado de resistencia (R-Glass; un vidrio de aluminosilicato de alta resistencia sin óxido de magnesio ni óxido de calcio). Cada uno de estos tipos de fibras se conoce convencionalmente en la técnica. También son adecuados para la producción de fibras poliméricas los copolímeros, polímeros de bloque y mezclas de los materiales anteriores.

15 Los tipos de fibras más preferidos incluyen fibras de polietileno (particularmente fibras de polietileno de cadena extendida), fibras de aramida, fibras de PBO, fibras de copoliéster de cristal líquido, fibras de polipropileno (particularmente fibras de polipropileno muy orientadas, de cadena extendida), fibras de poli(alcohol vinílico), fibras de poli(acrilonitrilo), fibras de vidrio y fibras de varilla rígida, particularmente las fibras de varilla rígida M5®. Las más específicamente preferidas son las fibras de polietileno y las fibras de aramida.

20 En el caso del polietileno, las fibras preferidas son los polietilenos de cadena extendida que tienen pesos moleculares de, al menos, 300.000, preferiblemente de, al menos, 1 millón y más preferiblemente entre 2 millones y 5 millones. Tales fibras de polietileno de cadena extendida (ECPE) pueden desarrollarse en procesos de hilatura de solución como se describe en las patentes de EE.UU. 4.137.394 o 4.356.138 o pueden ser hiladas a partir de una solución que forma una estructura de gel, tal como se describe en las patentes de EE.UU. 4.413.110; 4.536.536; 4.551.296; 4.663.101; 5.006.390; 5.032.338; 5.578.374; 5.736.244; 5.741.451; 5.958.582; 5.972.498; 6.448.359; 6.746.975; 6.969.553; 7.078.099; 7.344.668 y la publicación de solicitud de patente de EE.UU. 2007/0231572. Los tipos de fibras particularmente preferidos son cualquiera de las fibras de polietileno vendidas bajo la marca SPECTRA® de Honeywell International Inc. Las fibras SPECTRA® son bien conocidas en la técnica. También se incluyen otros útiles tipos de fibras de polietileno e hilos de UHMWPE DYNEEMA® comercialmente disponibles de Royal DSM N.V. Corporation de Heerlen, Países Bajos.

30 Las fibras de aramida (poliamida aromática) o para-aramida preferidas son bien conocidas y están comercialmente disponibles, y se describen, por ejemplo, en la patente de EE.UU. 3.671.542. Por ejemplo, comercialmente se producen útiles filamentos de aramida por DuPont bajo la marca KEVLAR®. También útiles en la práctica de esta invención son las fibras de poli(m-fenilen-isoftalamida) producidas comercialmente por DuPont de Wilmington, DE, bajo la marca NOMEX® y fibras producidas comercialmente por Teijin Aramid GmbH de Alemania bajo la marca TWARON®; fibras de aramida producidas comercialmente por Kolon Industries, Inc. de Corea bajo la marca HERACRON®; fibras de p-aramida SVM® y RUSAR® y son producidas comercialmente por Kamensk Volokno JSC de Rusia y fibras de p-aramida ARMOS® producidas comercialmente por JSC Chim Volokno de Rusia.

Las fibras PBO adecuadas para la práctica de esta invención están comercialmente disponibles y se divulgan, por ejemplo, en las patentes de EE.UU. 5.286.833, 5.296.185, 5.356.584, 5.534.205 y 6.040.050.

40 Fibras adecuadas de copoliéster de cristal líquido para la práctica de esta invención están comercialmente disponibles y se divulgan, por ejemplo, en las patentes de EE.UU. 3.975.487; 4.118.372 y 4.161.470, e incluyen las fibras de copoliéster de cristal líquido VECTRAN® comercialmente disponibles de Kuraray Co., Ltd. de Tokio, Japón. Fibras adecuadas de polipropileno incluyen fibras de polipropileno de cadena extendida (ECP) muy orientadas como se describe en la patente de EE.UU. 4.413.110. Fibras adecuadas de poli(alcohol vinílico) (PV-OH) se describen, por ejemplo, en las patentes de EE.UU. 4.440.711 y 4.599.267. Las fibras de poli(acrilonitrilo) (PAN) adecuadas se divulgan, por ejemplo, en la patente de EE.UU. 4.535.027. Cada uno de estos tipos de fibras se conoce convencionalmente y está ampliamente disponible comercialmente.

50 Las fibras M5® se forman a partir de (2,5-dihidroxi-p-fenilen)pirido-bis-imidazol-2,6-diilo y fueron fabricadas más recientemente por Magellan Systems International de Richmond, Virginia y se describen, por ejemplo, en las patentes de EE.UU. 5.674.969, 5.939.553, 5.945.537 y 6.040.478. El término fibras de "varilla rígida" no se limita a tales tipos de fibras basados en pirido-bis-imidazol, y muchas variedades de fibras de PBO y aramida se refieren a menudo como fibras de varilla rígida.

55 Los materiales compuestos basados en fibra de vidrio comprenden preferiblemente fibras de S-glass, que están impregnadas con una resina polimérica termoestable o termoplástica, tal como una resina epoxi o fenólica termoestable. Estos materiales son bien conocidos en la técnica y están comercialmente disponibles. Los ejemplos preferidos incluyen

no exclusivamente materiales compuestos S2-Glass® comercialmente disponibles de AGY de Aiken, Carolina del Sur; y materiales compuestos formados a partir de fibras E-glass HiPerTex®, comercialmente disponibles de 3B Fibreglass de Battice, Bélgica. También son adecuados los materiales compuestos que comprenden fibras R-glass, como las comercialmente disponibles bajo la marca VETROTEX® de Saint-Gobain de Courbevoie, Francia. También son adecuadas las combinaciones de todos los materiales anteriores, todos ellos comercialmente disponibles.

Como se indicó anteriormente, una fibra de alta resistencia es la que tiene una tenacidad preferida de aproximadamente 7 g/denier o más, un módulo de tracción preferido de aproximadamente 150 g/denier o más y una energía hasta rotura preferida de aproximadamente 8 J/g o más, cada una medida según la ASTM D2256. Las fibras preferidas tienen una tenacidad preferida de aproximadamente 15 g/denier o más, más preferiblemente de aproximadamente 20 g/denier o más, aún más preferiblemente aproximadamente 25 g/denier o más, aún más preferiblemente aproximadamente 30 g/denier o más, aún más preferiblemente aproximadamente 40 g/denier o más, aún más preferiblemente aproximadamente 45 g/denier o más, y lo más preferiblemente aproximadamente 50 g/denier o más. Las fibras preferidas tienen un módulo de tracción preferido de aproximadamente 300 g/denier o más, más preferiblemente aproximadamente 400 g/denier o más, más preferiblemente aproximadamente 500 g/denier o más, más preferiblemente aproximadamente 1.000 g/denier o más y lo más preferiblemente aproximadamente 1.500 g/denier o más. Las fibras preferidas también tienen una energía hasta rotura preferida de aproximadamente 15 J/g o más, más preferiblemente aproximadamente 25 J/g o más, más preferiblemente aproximadamente 30 J/g o más, y lo más preferiblemente tienen una energía hasta rotura de aproximadamente 40 J/g o más. Los procedimientos de formación de cada uno de los tipos de fibra preferidos que tienen estas propiedades combinadas de alta resistencia se conocen convencionalmente en la técnica.

Las fibras pueden ser de cualquier denier adecuado. Por ejemplo, las fibras pueden tener un denier de aproximadamente 50 a aproximadamente 5.000 denier, más preferiblemente de aproximadamente 200 a 5.000 denier, aún más preferiblemente de aproximadamente 650 a aproximadamente 3.000 denier, y lo más preferiblemente de aproximadamente 800 a aproximadamente 1.500 denier. La selección se rige por consideraciones de efectividad balística y coste. Las fibras más delgadas son más costosas de fabricar y tejer, pero pueden producir mayor efectividad balística por unidad de peso.

Las fibras que forman cada material compuesto de la invención están preferiblemente, aunque no necesariamente, al menos parcialmente revestidas con un material aglutinante polimérico. El material aglutinante polimérico también se conoce comúnmente en la técnica como un material polimérico "matriz". Estos términos se conocen convencionalmente en la técnica y describen un material que une las fibras entre sí, ya sea por medio de sus características adhesivas intrínsecas o después de ser sometido a condiciones de calor y/o presión bien conocidas. Como se utiliza en el presente documento, un material aglutinante o matriz "polimérico" incluye resinas y caucho. Si está presente, el material polimérico aglutinante/matriz reviste ya sea parcial o sustancialmente las fibras individuales, preferiblemente, revistiendo sustancialmente cada uno de los filamentos/fibras individuales formando un pliegue de fibras o una capa de fibras.

Los materiales aglutinantes poliméricos adecuados incluyen tanto materiales elastómeros de bajos módulos de tracción como materiales rígidos con altos módulos de tracción. Tal como se utiliza a lo largo del presente documento, la expresión módulo de tracción quiere decir módulo de elasticidad, que para los materiales aglutinantes poliméricos se mide según la ASTM D638. Un aglutinante de bajo o alto módulo puede comprender una variedad de materiales poliméricos y no poliméricos. A los efectos de esta invención, un material elastómero de bajo módulo tiene un módulo de tracción medido de aproximadamente 41,4 MPa (6.000 psi) o menos según los procedimientos de ensayo de la ASTM D638. Un polímero de bajo módulo es preferiblemente un elastómero que tiene un módulo de tracción de aproximadamente 27,6 MPa (4.000 psi) o menos, más preferiblemente aproximadamente 16,5 MPa (2.400 psi) o menos, aún más preferiblemente 8,23 MPa (1.200 psi) o menos, y lo más preferiblemente es aproximadamente 3,45 MPa (500 psi) o menos. La temperatura de transición vítrea (T_g) del material elastómero de bajo módulo es preferiblemente menos de aproximadamente 0 °C, más preferiblemente menos de aproximadamente -40 °C, y lo más preferiblemente menos de aproximadamente -50 °C. El material elastómero de bajo módulo también tiene un alargamiento hasta rotura preferido de, al menos, aproximadamente 50%, más preferiblemente al menos aproximadamente 100% y lo más preferiblemente al menos aproximadamente 300%.

Una amplia variedad de materiales y formulaciones se puede utilizar como un aglutinante polimérico de bajo módulo. Ejemplos representativos incluyen polibutadieno, poliisopreno, caucho natural, copolímeros de etileno-propileno, terpolímeros de etileno-propileno-dieno, polímeros de polisulfuro, elastómeros de poliuretano, polietileno clorosulfonado, policloropreno, poli(cloruro de vinilo) plastificado, elastómeros de acrilonitrilo-butadieno, poli(isobutileno-co-isopreno), poliácrilatos, poliésteres, poliéteres, fluoroelastómeros, elastómeros de silicona, copolímeros de etileno, poliamidas (útiles con algunos tipos de fibras), acrilonitrilo-butadieno-estireno, policarbonatos y combinaciones de los mismos, así como otros polímeros de bajo módulo y copolímeros curables por debajo de la temperatura de fusión de la fibra. También son útiles las mezclas de diferentes materiales elastómeros, o mezclas de materiales elastómeros con uno o más termoplásticos.

Particularmente útiles son los copolímeros de bloques de dienos conjugados y monómeros vinil-aromáticos. Butadieno e isopreno son los elastómeros dieno conjugados preferidos. Estireno, viniltolueno y t-butil-estireno son monómeros aromáticos conjugados preferidos. Los copolímeros de bloques que incorporan poliisopreno pueden ser hidrogenados para producir elastómeros termoplásticos que tienen segmentos de elastómeros de hidrocarburos saturados. Los polímeros pueden ser copolímeros tri-bloque simples del tipo A-B-A, copolímeros multibloques del tipo $(AB)_n$ ($n = 2-10$) o copolímeros de configuración radial del tipo $R-(BA)_x$ ($x = 3-150$); en donde A es un bloque de un poli(monómero aromático de vinilo) y B es un bloque de un elastómero dieno conjugado. Muchos de estos polímeros son producidos comercialmente por Kraton Polymers de Houston, TX y descritos en el boletín "Kraton Thermoplastic Rubber", SC-68-81. También son útiles las dispersiones de resina del copolímero de bloques de estireno-isopreno-estireno (SIS) vendido bajo la marca PRINLIN® y comercialmente disponible de Henkel Technologies, con sede en Düsseldorf, Alemania. Los polímeros de aglutinante polimérico de bajo módulo convencionales empleados en materiales compuestos de resistencia balística incluyen copolímeros de bloques de poliestireno-poliisopreno-poliestireno vendidos bajo la marca KRATON® producidos comercialmente por Kraton Polymers.

Mientras que los materiales aglutinantes poliméricos de bajo módulo son preferidos para la formación de materiales de protección flexibles, se prefieren materiales aglutinantes poliméricos de alto módulo para la formación de artículos de protección rígidos. Los materiales rígidos de alto módulo tienen, generalmente, un módulo de tracción inicial mayor que 41,368 MPa (6.000 psi). Útiles materiales aglutinantes poliméricos rígidos de alto módulo incluyen poliuretanos (basados tanto en éter como en éster), epoxis, poliacrilatos, polímeros fenólicos/polivinilbutiral (PVB), polímeros de éster vinílico, copolímeros de bloques de estireno-butadieno, así como mezclas de polímeros tales como éster vinílico y ftalato de dialilo o fenolformaldehído y polivinilbutiral. Un material aglutinante polimérico rígido particularmente útil es un polímero termoestable que es soluble en disolventes saturados de carbono-carbono como metil-etil-cetona, y que posee un alto módulo de tracción, cuando está curado, de al menos aproximadamente 6.895 MPa (1×10^6 psi) medido según la ASTM D638. Los materiales aglutinantes poliméricos rígidos particularmente útiles son los descritos en la patente de EE.UU. 6.642.159.

Los más específicamente preferidos son las resinas polares o polímeros polares, particularmente los poliuretanos dentro de la gama de materiales tanto blandos como rígidos de un módulo de tracción que varía de aproximadamente 13,79 MPa (2.000 psi) hasta aproximadamente 55,16 MPa (8.000 psi). Los poliuretanos preferidos se aplican como dispersiones acuosas de poliuretano que están preferiblemente, pero no necesariamente, exentas de codisolventes. Estos incluyen dispersiones acuosas de poliuretano aniónico, dispersiones acuosas de poliuretano catiónico y dispersiones acuosas de poliuretano no iónico. Particularmente preferidas son las dispersiones acuosas de poliuretano aniónico; dispersiones acuosas de poliuretano alifático, y las más preferidas son las dispersiones acuosas de poliuretano aniónico alifático, todas las cuales son, preferiblemente, dispersiones exentas de codisolventes. Estas incluyen dispersiones acuosas de poliuretano basadas en poliéster aniónico; dispersiones acuosas de poliuretano basadas en poliéster alifático; y dispersiones acuosas de poliuretano aniónico basado en poliéster alifático, todas las cuales son, preferiblemente, dispersiones exentas de codisolventes. Estos también incluyen dispersiones acuosas de poliuretano poliéter aniónico; dispersiones acuosas de poliuretano basadas en poliéter alifático; y dispersiones acuosas de poliuretano aniónico basado en poliéter alifático, todas las cuales son preferiblemente dispersiones exentas de codisolventes. Del mismo modo se prefieren todas las variaciones correspondientes (basadas en poliéster; basadas en poliéster alifático; basadas en poliéter; basadas en poliéter alifático, etc.) de dispersiones acuosas catiónicas y acuosas no iónicas. La más preferida es una dispersión de poliuretano alifático que tiene un módulo a 100% de alargamiento de aproximadamente 4,826 MPa (700 psi) o más, con un intervalo particularmente preferido de 4,826 MPa (700 psi) a aproximadamente 20,684 MPa (3.000 psi). Más preferidas son las dispersiones de poliuretano alifático que tienen un módulo a 100% de alargamiento de aproximadamente 6,894 MPa (1.000 psi) o más, y aún más preferiblemente aproximadamente 7,584 MPa (1.100 psi) o más. La más preferida es una dispersión de poliuretano aniónico alifático basada en poliéter que tiene un módulo de 6,894 MPa (1.000 psi) o más, preferiblemente 7,584 MPa (1.100 psi) o más.

Cuando un material compuesto incluye un aglutinante, el peso total del aglutinante que comprende el material compuesto comprende preferiblemente aproximadamente 2% a aproximadamente 50% en peso, más preferiblemente de aproximadamente 5% a aproximadamente 30%, más preferiblemente de aproximadamente 7% a aproximadamente 20%, y lo más preferiblemente de aproximadamente 11% a aproximadamente 16% en peso de las fibras más el peso del aglutinante. Un contenido menor de aglutinante es apropiado para telas tejidas/tejidos de punto, en donde normalmente lo más preferido es un contenido de aglutinante polimérico de más de cero pero menos de 10% en peso de las fibras más el peso del aglutinante, pero esto no pretende estrictamente ser una limitación. Por ejemplo, las telas de aramida tejidas impregnadas de compuestos fenólicos/PVB se fabrican a veces con un mayor contenido de resina de aproximadamente 20% a aproximadamente 30%, aunque normalmente se prefiere un contenido de aproximadamente 12%. Ya sea un material de bajo módulo o un material de alto módulo, el aglutinante polimérico también puede incluir cargas tales como negro de carbono o sílice, puede extenderse con aceites, o puede vulcanizarse con azufre, peróxido, óxido de metal o sistemas de curado por radiación como es muy conocido en la técnica.

Los procedimientos para aplicar un material aglutinante polimérico a las fibras para impregnar así los pliegues/capas de

5 fibras con el aglutinante son bien conocidos y se determinan fácilmente por un experto en la técnica. El término "impregnado" se considera en el presente documento como sinónimo de "incorporado", "revestido", o aplicado de otro modo con un revestimiento polimérico donde el material aglutinante se difunde en el pliegue/capa de fibras y no está simplemente sobre la superficie del pliegue/capa. Cualquier procedimiento de aplicación apropiado puede ser utilizado para aplicar el material aglutinante polimérico y el uso particular de un término tal como "revestido" no pretende limitar el procedimiento por el que se aplica sobre los filamentos/fibras. Los procedimientos útiles incluyen, por ejemplo, pulverizar, extruir o revestir con rodillo polímeros o soluciones de polímeros en las fibras, así como transportar las fibras a través de un polímero fundido o una solución de polímero. Los más preferidos son los procedimientos que revisten o encapsulan sustancialmente cada una de las fibras individuales y cubren toda o sustancialmente toda la superficie de la fibra con el material aglutinante polimérico.

10 Los materiales compuestos de la invención pueden incluir telas tejidas, telas no tejidas o tejidos de punto. Las telas tejidas se pueden formar usando técnicas que son bien conocidas en la técnica usando cualquier textura de tela, tales como textura lisa, textura Crowfoot, textura de esterilla, textura de satén, textura de sarga, telas tejidas tridimensionales, y cualquiera de sus diversas variaciones. La más común es la textura lisa, donde las fibras están tejidas entre sí en una orientación ortogonal de 0°/90°, y es la preferida. Las más preferidas son las telas de textura lisa que tienen un conteo igual para urdimbre y trama. En una forma de realización, una sola capa de tela tejida tiene, preferiblemente, de aproximadamente 5,9 a aproximadamente 21,6 extremos por cm (aproximadamente 15 a aproximadamente 55 extremos de fibra/hilo por pulgada) en las direcciones de urdimbre y relleno, y más preferiblemente de aproximadamente 6,7 a aproximadamente 17,7 extremos por cm (aproximadamente 17 a aproximadamente 45 extremos por pulgada). Las fibras/hilos que forman la tela tejida tienen, preferiblemente, un denier de aproximadamente 375 a aproximadamente 1.300. El resultado es un tela tejida que pesa, preferiblemente, de aproximadamente 169,5 a aproximadamente 644,1 g/m² (aproximadamente 5 a aproximadamente 19 onzas por yarda cuadrada), y más preferiblemente de aproximadamente 169,5 a aproximadamente 373,0 g/m² (aproximadamente 5 a aproximadamente 11 onzas por yarda cuadrada). Ejemplos de telas tejidas de este tipo son las designadas como modelos de tejido 902, 903, 904, 952, 955 y 960 de SPECTRA® disponibles de JPS Composite Materials of Anderson, SC u otros tejedores comerciales, fabricados con fibras SPECTRA® de Honeywell International Inc. Otras telas tejidas de ejemplo incluyen telas formadas de textura de esterilla, como el modelo de tejido 912 de SPECTRA®. Los ejemplos de telas tejidas basadas en aramida son los que se designan como modelos de tejido 704, 705, 706, 708, 710, 713, 720, 745 y 755 de KEVLAR® disponibles de DuPont y los modelos de tejido 5704, 5716 y 5931 de TWARON®, que están comercialmente disponibles en Kolon Industries, Inc.

35 Las estructuras de tejido de punto son construcciones compuestas por bucles entrelazándose, siendo los cuatro tipos principales tricot, Raschel, de red y estructuras orientadas. Debido a la naturaleza de la estructura de bucle, los tejidos de punto las tres primeras categorías no son tan adecuados, ya que no aprovechan al máximo la resistencia de la fibra. Las estructuras de punto orientadas, sin embargo, utilizan hilos taraceados rectos mantenidos en su sitio por puntadas de punto denier finas. Los hilos son absolutamente rectos sin el efecto de rizado encontrado en telas tejidas debido al efecto entrelazado en los hilos. Estos hilos colocados pueden estar orientados en una dirección monoaxial, biaxial o multi-axial dependiendo de los requisitos de ingeniería. Se prefiere que el equipo específico de tejeduría utilizado en la colocación de hilos de soporte de carga es tal que los hilos no son atravesados.

40 Si bien no es obligatorio, las fibras de telas tejidas o tejidos de punto pueden ser revestidas opcionalmente con un aglutinante polimérico para facilitar la fusión de una pluralidad de capas de tela tejida/tejido de punto o la fusión con otros materiales compuestos tejidos/de punto o no tejidos de la invención. Típicamente, tejer o hacer punto con las telas se realiza antes de revestir las fibras con un aglutinante polimérico opcional, donde las telas son posteriormente impregnadas con el aglutinante. Alternativamente, se pueden interconectar entre sí múltiples telas tejidas usando procedimientos de tejido en 3D, tal como tejiendo hebras de urdimbre y trama en una pila de telas tejidas tanto horizontal como verticalmente. Una pluralidad de telas tejidas también se puede unir entre sí por otros medios, tales como fijación adhesiva a través de una película adhesiva intermedia entre telas, fijación mecánica grapando/punzonando con aguja las telas entre sí en la dirección z, o una combinación de las mismas. Recubriendo o impregnando las telas tejidas con un material aglutinante polimérico o aplicando una película adhesiva intermedia entre capas de tela tejida también es opcional cuando se emplean tales procedimientos de tejido en 3D. Se pueden emplear técnicas similares para fusionar una pluralidad de tejidos de punto.

50 Lo más preferiblemente, un material compuesto tejido de la invención se forma impregnando/revistiendo una pluralidad de capas individuales de tela tejida con un aglutinante polimérico seguido del apilado de una pluralidad de las telas impregnadas unas sobre otras de una manera sustancialmente coextensiva, y luego fusionar la pila en una estructura de una sola capa por consolidación a baja presión o moldeo a alta presión. Un material compuesto tejido de este tipo incluirá típicamente de aproximadamente 2 a aproximadamente 100 de estas capas de tela tejida, más preferiblemente de aproximadamente 2 a aproximadamente 85 capas, y lo más preferiblemente de aproximadamente 2 a aproximadamente 65 capas de tela tejida. De nuevo, técnicas y preferencias similares se aplican a la fusión de una pluralidad de tejidos de punto.

Un material compuesto no tejido de la invención puede estar formado por procedimientos convencionales en la técnica. Por ejemplo, en un procedimiento preferido de formación de una tela no tejida, se disponen una pluralidad de fibras en al menos una matriz, estando típicamente dispuestas como una banda de fibras que comprende una pluralidad de fibras alineadas en una matriz unidireccional sustancialmente paralela. En un proceso típico, los haces de fibras se suministran desde una fileta (Creel) y son conducidos a través de guías y una o más barras esparcidoras a un peine de colimación. Esto es seguido típicamente por el revestimiento de las fibras con un material aglutinante polimérico. Un haz de fibras típico tendrá de aproximadamente 30 a aproximadamente 2.000 fibras individuales. Las barras esparcidoras y el peine de colimación dispersan y esparcen las fibras agrupadas, reorganizándolas de lado a lado de una manera coplanaria. El esparcido ideal de las fibras da como resultado que los filamentos individuales o las fibras individuales se coloquen unas junto a las otras en un solo plano de fibras, formando una matriz paralela sustancialmente unidireccional de fibras sin que las fibras se solapen entre sí. Similar a las telas tejidas, un solo pliegue de tela tejida tiene preferiblemente de aproximadamente 15 a aproximadamente 55 extremos de fibra/hilo por pulgada (aproximadamente 5,9 a aproximadamente 21,6 extremos por cm), y más preferiblemente de aproximadamente 17 a aproximadamente 45 extremos por pulgada (aproximadamente 6,7 a aproximadamente 17,7 extremos por cm). Una tela no tejida de 2 pliegues a 0°/90° tendrá el mismo número de extremos de fibra/hilo por pulgada en ambas direcciones. Las fibras/hilos que forman los pliegues no tejidos tienen también preferiblemente un denier de aproximadamente 375 a aproximadamente 1.300.

A continuación, si las fibras están revestidas, el revestimiento se seca típicamente seguido de la formación de fibras revestidas en un solo pliegue de una longitud y anchura deseadas. Las fibras sin revestimiento pueden unirse entre sí con una película adhesiva, unir las fibras entre sí con calor, o cualquier otro procedimiento conocido, para de ese modo formar un solo pliegue. Varios de estos pliegues individuales no tejidos se apilan uno encima del otro en forma coextensiva y se fusionan juntos.

Lo más típicamente, las capas de tela no tejida incluyen de 1 a aproximadamente 6 pliegues, pero pueden incluir tantos como aproximadamente 10 a aproximadamente 20 pliegues según se desee en las diversas aplicaciones. Un mayor número de pliegues se traduce en una mayor resistencia balística, pero también en mayor peso. Un material compuesto no tejido incluirá, típicamente, de aproximadamente 2 a aproximadamente 100 de estas capas de tela, más preferiblemente de aproximadamente 2 a aproximadamente 85 capas, y lo más preferiblemente de aproximadamente 2 a aproximadamente 65 capas de tela no tejida. El número de capas en cada primer material compuesto, segundo material compuesto y cualquier otro material compuesto adicional puede ser diferente o puede ser el mismo, en donde las capas son de cualquier espesor adecuado.

Como se sabe convencionalmente en la técnica, se logra una excelente resistencia balística cuando los pliegues de fibras individuales que se apilan de forma coextensiva entre sí se pliegan de forma transversal de tal manera que las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso se orientan en una dirección longitudinal de la fibra no paralela en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente,. Lo más preferiblemente, los pliegues de fibra se pliegan transversalmente de manera ortogonal en ángulos de 0° y 90°, pero los pliegues adyacentes se pueden alinear, prácticamente, en cualquier ángulo entre aproximadamente 0° y aproximadamente 90° con respecto a la dirección longitudinal de la fibra de otro pliegue. Por ejemplo, una estructura no tejida de cinco pliegues puede tener pliegues orientados a 0°/45°/90°/45°/0° o en otros ángulos. Estos alineamientos unidireccionales girados se describen, por ejemplo, en las patentes de EE.UU. 4.457.985; 4.748.064; 4.916.000; 4.403.012; 4.623.574; y 4.737.402. Típicamente, las fibras en los pliegues adyacentes se orientarán en un ángulo de 45° a 90°, preferiblemente de 60° a 90°, más preferiblemente de 80° a 90° y lo más preferiblemente en aproximadamente 90° respecto al otro, donde el ángulo de las fibras en capas alternas es preferiblemente sustancialmente en el mismo.

En las formas de realización preferidas en el presente documento, se prefiere que las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del primer material compuesto estén orientadas en un ángulo de 90° o de aproximadamente 90° en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho primer material compuesto, y las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del segundo material compuesto están orientadas en un ángulo de 90° o de aproximadamente 90° en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho segundo material compuesto. Se prefiere la misma configuración para cada material compuesto adicional de la invención de forma individual.

Aunque se prefieren las estructuras de 0°/90° descritas anteriormente para la fabricación de cada material compuesto individual, en un material de resistencia balística de múltiples materiales compuestos de la invención que comprende una pluralidad de materiales compuestos, la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en cada pliegue de un material compuesto va a colocarse en un ángulo diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, de cada material compuesto adyacente. Específicamente, la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del segundo material compuesto, y la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es el mismo o diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, de un tercer

material compuesto. Alterar la orientación de la fibra de cada material compuesto en relación con los materiales compuestos adyacentes proporciona una rigidez adicional que, a su vez, reduce el trauma sin reducir la efectividad de la resistencia a la penetración balística. Como se destaca en los ejemplos, cada primer material compuesto, segundo material compuesto y tercer material compuesto opcional (así como cualquier otro material compuesto) pueden incluir grupos de subcapas dentro de los respectivos materiales compuestos donde la dirección longitudinal de la fibra de los pliegues de las fibras componentes pueden estar en varios ángulos diferentes en relación con los demás. Este tipo de forma de realización es de particular interés en artículos híbridos que combinan, por ejemplo, uno o más materiales compuestos basados en aramida con uno o más materiales compuestos basados en polietileno en un solo artículo.

Esta diferencia en la orientación de la fibra longitudinal puede ser prácticamente cualquier ángulo entre aproximadamente 0° y aproximadamente 90° (o entre 90° y 180°, dependiendo de cómo se mida). En una forma de realización preferida de dos materiales compuestos de la invención, el primer material compuesto y el segundo material compuesto se unen entre sí de tal manera que un pliegue exterior del primer material compuesto se une a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de 22,5° o 112,5° en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto. En otra forma de realización, el primer material compuesto y el segundo material compuesto se unen entre sí de manera que un pliegue exterior del primer material compuesto se une a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de 45,0° o 135,0° en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto. Aún en otra forma de realización, el primer material compuesto y el segundo material compuesto se unen entre sí de tal manera que un pliegue exterior del primer material compuesto está unido a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de 67,5° o 157,5° en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto. La orientación longitudinal de las fibras en dichos pliegues exteriores es preferiblemente sustancialmente la misma que la orientación longitudinal de las fibras en cada pliegue de fibras alternas (es decir, cada pliegue con número par o cada pliegue con número impar) dentro del mismo material compuesto.

Cada primer material compuesto, segundo material compuesto y cualquier material compuesto adicional de la invención, pueden ser, individualmente, químicamente iguales entre sí o químicamente diferentes a uno o más de los otros materiales compuestos. En una forma de realización, las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente los mismos que las fibras y el aglutinante polimérico que forman el segundo material compuesto. Por ejemplo, cada material compuesto puede comprender fibras de polietileno de cadena extendida revestidas con un aglutinante de poliuretano. En otra forma de realización, las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente diferentes de las fibras y el aglutinante polimérico que forman el segundo material compuesto. Por ejemplo, el primer material compuesto puede comprender fibras de polietileno de cadena extendida revestidas con un aglutinante de poliuretano, mientras que el segundo material compuesto comprende fibras de aramida revestidas con un aglutinante de poliuretano.

En una forma de realización de artículo de tres materiales compuestos (1°/2°/3°), las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente los mismos que las fibras y el aglutinante polimérico que forman cada segundo material compuesto y tercer material compuesto. En otra forma de realización preferida de tres materiales compuestos (1°/2°/3°), las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto y el tercer material compuesto son químicamente iguales, pero son diferentes de las fibras y el aglutinante polimérico que forman el segundo material compuesto. En otra forma de realización del artículo de tres materiales compuestos (1°/2°/3°), cada material compuesto está formado de diferentes fibras y diferentes materiales de aglutinante polimérico.

En otras formas de realización, las fibras de cada material compuesto pueden ser las mismas que las de los otros, pero el aglutinante polimérico puede ser diferente. Por ejemplo, un primer y segundo material compuesto pueden cada uno comprender fibras de polietileno de cadena extendida, en donde el primer material compuesto (preferiblemente colocado como la cara de ataque del material de resistencia balística) incorpora un material aglutinante polimérico de alto módulo y el segundo material compuesto (colocado detrás del primer material compuesto) incorpora un material aglutinante polimérico de bajo módulo. En una forma de realización preferida, el primer material compuesto tiene un módulo de flexión que es al menos aproximadamente un 15% mayor que el módulo de flexión del segundo material compuesto, o más preferiblemente un 25% mayor que el módulo de flexión del segundo material compuesto.

Los materiales compuestos, individualmente, tienen, preferiblemente, el mismo tipo de estructura de la tela (p. ej., tejida, de punto o no tejida) como cada uno de los otros materiales compuestos en el material de resistencia balística. Alternativamente, puede haber una combinación de diferentes tipos de telas, formando una estructura híbrida. En una forma de realización preferida, las capas de fibras en cada material compuesto son telas no tejidas. En otra forma de realización preferida, las capas de fibras en cada material compuesto son telas no tejidas que comprenden fibras

orientadas unidireccionalmente. En otra forma de realización preferida, las capas de fibras en cada material compuesto son telas no tejidas que comprenden fibras orientadas unidireccionalmente. En otra forma de realización, las capas de fibras en el primer material compuesto son telas no tejidas que comprenden fibras orientadas unidireccionalmente, y las capas de fibras en el segundo material compuesto son telas tejidas. Aún en otra forma de realización, las capas de fibras en el primer material compuesto son telas tejidas y las capas de fibras en el segundo material compuesto son telas no tejidas que comprenden fibras orientadas unidireccionalmente. En artículos de tres materiales compuestos (1°/2°/3°), el primero y el tercer material compuesto son preferiblemente de la misma estructura, mientras que el segundo material compuesto intermedio puede variar en la estructura.

Aún en otras formas de realización, algunos materiales compuestos pueden comprender una mayor cantidad de aglutinante polimérico que otros materiales compuestos, o algunos materiales compuestos pueden comprender un aglutinante polimérico, mientras que otros materiales compuestos no tienen aglutinante polimérico (es decir, no son una matriz). En una forma de realización de artículo, específicamente preferida, de dos materiales compuestos, el segundo material compuesto tiene mayor contenido de aglutinante polimérico que el primer material compuesto. Esta forma de realización aumentará la rigidez del segundo material compuesto para, en consecuencia, reducir el trauma.

El tipo y número de capas de fibra también afecta a la densidad de área de los materiales compuestos, y el número de capas que forman cada material compuesto variará dependiendo del uso final definitivo del artículo de resistencia balística deseado. Por ejemplo, en chalecos de protección corporal para aplicaciones militares, con el fin de formar un artículo que logre una densidad de área de 4,88 kg/m² (1,0 lb/ft²), se puede requerir un total de 22 capas individuales de 2 pliegues (p. ej., 0°/90°), o 22 telas tejidas o de punto formadas a partir de las fibras de alta resistencia descritas en el presente documento. Los niveles mínimos de protección corporal de resistencia balística para uso militar están clasificados por los Niveles de Amenaza del National Institute of Justice (NIJ), como es bien conocido en la técnica.

Cada material compuesto de la invención tiene una densidad de área de, al menos, 100 g/m², teniendo preferiblemente una densidad de área de, al menos, 200 g/m² y más preferiblemente teniendo una densidad de área de, al menos, 976 g/m². Lo más preferiblemente, cada primer material compuesto, segundo material compuesto y cada material compuesto adicional tiene una densidad de área de, al menos, 4.000 g/m² (4,0 kg/m²) (aproximadamente 0,82 lb/ft²). En formas de realización preferidas, la suma de primer material compuesto, segundo material compuesto y cualquier material compuesto adicional produce un material de resistencia balística que tiene una densidad de área combinada total de aproximadamente 0,976 kg/m² (0,2 lb/ft²) a aproximadamente 39,04 kg/m² (8,0 lb/ft²), más preferiblemente de aproximadamente 1,464 kg/m² (0,3 lb/ft²) a aproximadamente 29,28 kg/m² (6,0 lb/ft²), aún más preferiblemente de aproximadamente 2,44 kg/m² (0,5 lb/ft²) a aproximadamente 24,4 kg/m² (5,0 lb/ft²), aún más preferiblemente de aproximadamente 2,44 kg/m² (0,5 lb/ft²) a aproximadamente 17,08 kg/m² (3,5 lb/ft²), aún más preferiblemente de aproximadamente 4,88 kg/m² (1,0 lb/ft²) a aproximadamente 14,64 kg/m² (3,0 lb/ft²), y aún más preferiblemente de aproximadamente 7,32 kg/m² (1,5 lb/ft²) a aproximadamente 14,64 kg/m² (3,0 lb/ft²). En las formas de realización más preferidas de la invención, la suma de primer material compuesto, segundo material compuesto y cualquier material compuesto adicional produce un material de resistencia balística que tiene una densidad de área combinada total de 7,9056 kg/m² (1,62 lb/ft²) o mayor, más preferiblemente 7,9544 kg/m² (1,63 lb/ft²) o mayor, aún más preferiblemente 8,0032 kg/m² (1,64 lb/ft²) o superior, y lo más preferiblemente 8,052 kg/m² (1,65 lb/ft²) o superior.

En uso, el primer material compuesto está colocado preferiblemente como la "cara de ataque" frontal del material de resistencia balística, es decir, el material compuesto que una amenaza de proyectil atacará primero. En otras formas de realización, ya sea el segundo material compuesto, un tercer material compuesto, o un material compuesto adicional puede estar colocado como el material compuesto de la cara de ataque, pero lo más preferible es que el primer material compuesto sea el material compuesto de la cara de ataque. Para un comportamiento de máxima resistencia de la huella de la capa posterior, cuando el primer material compuesto está colocado como el material compuesto de la cara de ataque, este primer material compuesto tiene una densidad de área mayor del 50% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto. Cuando el material de resistencia balística comprende más de dos materiales compuestos, la densidad de área del primer material compuesto es mayor del 50% de la densidad de área combinada total de todos los materiales compuestos combinados. En una forma de realización, la densidad de área del primer material compuesto es mayor de aproximadamente 60% de la densidad de área combinada total de todos los materiales compuestos combinados. En otra forma de realización, la densidad de área del primer material compuesto es mayor de aproximadamente 70% de la densidad de área combinada total de todos los materiales compuestos combinados. En formas de realización más preferidas de dos materiales compuestos, el primer material compuesto comprende de aproximadamente 60% a aproximadamente 75% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto, y el segundo material compuesto comprende de aproximadamente 25% a aproximadamente 40% de la densidad de área combinada total de primer material compuesto y segundo material compuesto. En otra forma de realización, la densidad de área del primer material compuesto puede ser igual a la densidad de área del segundo material compuesto, preferiblemente donde, al menos, un tercer material compuesto está incluido en el artículo de resistencia balística. En un artículo preferido de tres materiales compuestos (1°/2°/3°), el primero y el tercer material compuesto combinados comprenden de aproximadamente 60% a

aproximadamente 75% de la densidad de área combinada total y el segundo material compuesto comprende de aproximadamente 25% a aproximadamente 40% de la densidad de área combinada total.

5 En una configuración específicamente preferida de dos materiales compuestos, el primer material compuesto comprende aproximadamente 75% de la densidad de área combinada total y el segundo material compuesto comprende aproximadamente 25% de la densidad de área combinada total. En otra configuración específicamente preferida de dos materiales compuestos, el primer material compuesto comprende aproximadamente 63% de la densidad de área combinada total y el segundo material compuesto comprende aproximadamente 37% de la densidad combinada total de área. En una configuración específicamente preferida de tres materiales compuestos ($1^{0/2^{0/3^{0}}$), el primero y el tercer material compuesto combinados comprenden aproximadamente 75% de la densidad de área combinada total y el segundo material compuesto comprende aproximadamente 25% de la densidad de área combinada total. En otra configuración específicamente preferida de tres materiales compuestos ($1^{0/2^{0/3^{0}}$), el primero y el tercer material compuesto combinados comprenden aproximadamente 63% de la densidad de área combinada total y el segundo material compuesto comprende aproximadamente 37% de la densidad de área combinada total. Estas configuraciones son específicamente preferidas porque muestran una combinación de mayor resistencia a la penetración balística y comportamiento de resistencia máxima de la huella de la cara posterior.

15 El espesor de cada material compuesto se corresponderá con el espesor de las fibras individuales y el número de pliegues/capas de fibras incorporadas en el material compuesto. Por ejemplo, un material compuesto de tela tejida/de punto preferido tendrá un espesor preferido de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 600 μm por pliegue/capa, más preferiblemente de aproximadamente 50 μm a aproximadamente 385 μm y lo más preferiblemente de aproximadamente 75 μm a aproximadamente 255 μm por pliegue/capa. Un material compuesto de tela no tejida de dos pliegues preferido tendrá un espesor preferido de aproximadamente 12 μm a aproximadamente 600 μm , más preferiblemente de aproximadamente 50 μm a aproximadamente 385 μm y lo más preferiblemente de aproximadamente 75 μm a aproximadamente 255 μm .

25 Al formar los materiales compuestos individualmente, las condiciones convencionales en la técnica se utilizan para fusionar los pliegues/capas individuales en estructuras de materiales compuestos de una sola capa. Como se mencionó anteriormente, la fusión usando ninguna o baja presión se refiere a menudo en la técnica como "consolidación" mientras que la fusión a alta presión se refiere a menudo como "moldeo", pero estos términos se utilizan con frecuencia indistintamente. Cada pila de pliegues de fibras no tejidas, de capas de tela tejida o capas de tejido de punto superpuestas se fusiona bajo calor y presión, o adhiriendo los revestimientos de pliegues de fibras individuales, para formar un elemento monolítico de una sola capa. Los procedimientos de consolidación de pliegues/capas de fibra para formar materiales compuestos complejos son bien conocidos, como los procedimientos descritos en la patente de EE.UU. 6.642.159. La consolidación puede producirse a través de secado, enfriamiento, calentamiento, presión o una combinación de los mismos. El calor y/o la presión pueden no ser necesarios, ya que las fibras o las capas de tela pueden estar pegadas entre sí, como es el caso de un proceso de laminación en húmedo. La consolidación se puede realizar a temperaturas que varían de aproximadamente 50 $^{\circ}\text{C}$ a aproximadamente 175 $^{\circ}\text{C}$, preferiblemente de aproximadamente 105 $^{\circ}\text{C}$ a aproximadamente 175 $^{\circ}\text{C}$, y a presiones que varían de aproximadamente 0,034 MPa (5 psig) hasta aproximadamente 17 MPa (2.500 psig), de aproximadamente 0,01 segundos hasta aproximadamente 24 horas, preferiblemente de aproximadamente 0,02 segundos a aproximadamente 2 horas. Cuando se calienta, es posible que el revestimiento de aglutinante polimérico pueda hacerse pegar o fluir sin derretirse completamente. Sin embargo, en general, si al material aglutinante polimérico se hace que se derrita, se requiere relativamente poca presión para formar el material compuesto, mientras que si al material aglutinante sólo se le calienta hasta un punto de pegado, normalmente se requiere más presión. Como se conoce convencionalmente en la técnica, la consolidación se puede llevar a cabo en un conjunto de calandrado, un laminador de lecho plano, una prensa o en un autoclave. La consolidación también puede realizarse mediante el moldeo en vacío del material en un molde que se coloque bajo vacío. La tecnología de moldeo en vacío es bien conocida en la técnica. Lo más frecuentemente, una pluralidad de telas de fibras ortogonales son "pegadas" entre sí con el polímero aglutinante y se pasan a través de un laminador de lecho plano para mejorar la uniformidad y resistencia de la unión. Además, las etapas de consolidación y de aplicación/unión de polímeros pueden comprender dos etapas separadas o una sola etapa de consolidación/laminación.

50 Alternativamente, la consolidación se puede lograr moldeando bajo calor y presión en un aparato de moldeo adecuado. En general, el moldeo se lleva a cabo a una presión de aproximadamente 344,7 kPa (50 psi) a aproximadamente 34.470 kPa (5.000 psi), más preferiblemente de aproximadamente 689,5 kPa (100 psi) a aproximadamente 20.680 kPa (3.000 psi), más preferiblemente de aproximadamente 1.034 kPa (150 psi) a aproximadamente 10.340 kPa (1.500 psi). El moldeo se puede realizar alternativamente a presiones más altas de aproximadamente 34.470 kPa (5.000 psi) a aproximadamente 103.410 kPa (15.000 psi), más preferiblemente de aproximadamente 5.171 kPa (750 psi) a aproximadamente 34.470 kPa (5.000 psi), y lo más preferiblemente de aproximadamente 6,894 MPa (1.000 psi) a aproximadamente 34.470 kPa (5.000 psi). La etapa de moldeo puede tardar desde unos 4 segundos a unos 45 minutos. Las temperaturas de moldeo preferidas varían de aproximadamente $\sim 93^{\circ}\text{C}$ (200°F) a aproximadamente $\sim 177^{\circ}\text{C}$ (350°F), más preferiblemente a una temperatura de aproximadamente $\sim 93^{\circ}\text{C}$ (200°F) a aproximadamente $148,88^{\circ}\text{C}$

(300 °F) y, lo más preferiblemente, a una temperatura de aproximadamente ~93 °C (200 °F) a aproximadamente 137,77 °C (280 °F). La presión bajo la cual se moldean las capas de fibras tiene un efecto directo sobre la rigidez o flexibilidad del producto moldeado resultante. En particular, cuanto mayor es la presión a la que se moldean, mayor es la rigidez, y viceversa. Además de la presión de moldeo, la cantidad, espesor y composición de los pliegues de fibra y el tipo de revestimiento de aglutinante polimérico también afecta directamente a la rigidez del material compuesto.

Mientras que cada una de las técnicas de moldeo y consolidación descritas en el presente documento son similares, cada proceso es diferente. En particular, el moldeo es un proceso por lotes y la consolidación es un proceso generalmente continuo. Además, el moldeo implica típicamente el uso de un molde, como un molde conformado o un molde de compresión al formar un panel plano, y no da como resultado necesariamente un producto plano. Normalmente, la consolidación se realiza en un laminador de lecho plano, en un conjunto de corte por calandrado o como una laminación en húmedo para producir telas de protección corporal blandas (flexibles). El moldeo se reserva típicamente para la fabricación de protecciones corporales, p. ej., placas rígidas. En cualquier proceso, las temperaturas, presiones y tiempos adecuados dependen generalmente del tipo de materiales de revestimiento de aglutinante polimérico, el contenido de aglutinante polimérico, el proceso utilizado y el tipo de fibra.

Después de todo esto, el primer material compuesto, el segundo material compuesto y cualquier material compuesto adicional están unidos entre sí. Técnicas útiles incluyen las técnicas de consolidación o moldeo descritas anteriormente, donde los materiales compuestos se colocan juntos en un laminador de lecho plano, prensa o autoclave y se fusionan. Cuando los materiales compuestos se fabrican con un material aglutinante polimérico, el aglutinante puede servir como un adhesivo para unir los materiales compuestos entre sí. Alternativamente, si los materiales compuestos comprenden o no un aglutinante, los materiales compuestos pueden estar unidos entre sí usando un adhesivo separado. Los adhesivos adecuados no incluyen exclusivamente materiales elastómeros tales como polietileno, polietileno reticulado, polietileno clorosulfonado, copolímeros de etileno, polipropileno, copolímeros de propileno, polibutadieno, poliisopreno, caucho natural, copolímeros de etileno-propileno, terpolímeros de etileno-propileno-dieno, polímeros de polisulfuro, elastómeros de poliuretano, policloropreno, poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizando uno o más plastificantes que son bien conocidos en la técnica (como ftalato de dioctilo), elastómeros de acrilonitrilobutadieno, poli(isobutileno-co-isopreno), poliacrilatos, poliésteres, poliésteres insaturados, poliéteres, fluoroelastómeros, elastómeros de silicona, copolímeros de etileno, elastómeros termoplásticos, fenólicos, polibutirales, polímeros epoxi, copolímeros de bloques de estireno, tales como los tipos de estireno-isopreno-estireno o estireno-butadieno-estireno, y otras composiciones adhesivas apropiadas convencionalmente conocidas en la técnica. Adhesivos particularmente preferidos incluyen adhesivos de metacrilato, adhesivos de cianoacrilato, adhesivos de curado UV, adhesivos de uretano, adhesivos epoxi y mezclas de los materiales anteriores. De estos, se prefiere un adhesivo que comprende un adhesivo termoplástico de poliuretano, particularmente una mezcla de uno o más termoplásticos de poliuretano con uno o más polímeros termoplásticos. Lo más preferiblemente, el adhesivo comprende poliuretano alifático poliéter. Tales adhesivos se pueden aplicar, por ejemplo, en forma de una película de fusión en caliente, pasta o pulverización, o como un adhesivo líquido de dos componentes.

Otros medios adecuados para la fijación directa de los elementos incluyen no exclusivamente el grapado conjunto, así como empernarlos o atornillarlos juntos de manera que sus superficies contacten entre sí. En una forma de realización preferida, los materiales compuestos están unidos entre sí con un adhesivo y también están reforzados en la dirección z mediante procedimientos convencionales de punzonado con agujas. Utilizando ambos medios de fijación aumentará la resistencia interlaminar entre los materiales compuestos que se traducirá en una mayor rigidez y un trauma reducido.

También está dentro del alcance de la invención que las capas individuales de cada material compuesto individual puedan permanecer sin consolidar, seguido de la consolidación/moldeo de una unidad que comprende múltiples secciones de material compuesto no consolidadas juntas en una sola etapa. En esta forma de realización, cada una de las secciones individuales se pueden grapar opcionalmente para mantener su integridad antes de esta única etapa de consolidación/moldeo unitaria.

Los materiales compuestos de la invención pueden comprender también opcionalmente una o más capas de polímero termoplástico unidas a una o sus dos superficies externas. Los polímeros adecuados para la capa de polímero termoplástico incluyen no exclusivamente poliolefinas, poliamidas, poliésteres (en particular, tereftalato de polietileno (PET) y copolímeros de PET), poliuretanos, polímeros de vinilo, copolímeros de etileno y alcohol vinílico, copolímeros de octano y etileno, copolímeros de acrilonitrilo, polímeros acrílicos, polímeros de vinilo, policarbonatos, poliestirenos, fluoropolímeros y otros, así como copolímeros y mezclas de los mismos, incluidos el etileno/acetato de vinilo (EVA) y el etileno/ácido acrílico. También son útiles los polímeros de caucho natural y sintético. De éstos se prefieren capas de poliolefina y poliamida. La poliolefina preferida es un polietileno. Ejemplos no limitantes de polietilenos útiles son polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de densidad media (MDPE), polietileno lineal de densidad media (LMDPE), polietileno lineal de muy baja densidad (VLDPE), polietileno lineal de ultra baja densidad (ULDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y copolímeros y mezclas de los mismos. También son útiles las bandas de poliamida SPUNFAB® comercialmente disponibles de Spunfab, Ltd, de Cuyahoga Falls, Ohio (marca registrada de Keuchel Associates, Inc.), así como las bandas, redes y películas THERMOPLAST® y HELIOPLAST®,

comercialmente disponibles de Protechnic S.A. de Cernay, Francia.

5 Cualquiera de las capas de polímero termoplástico son preferiblemente muy delgadas, teniendo espesores de capa preferidos de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 250 μm , más preferiblemente de aproximadamente 5 μm a aproximadamente 25 μm y lo más preferiblemente de aproximadamente 5 μm a aproximadamente 9 μm . Bandas discontinuas como bandas no tejidas SPUNFAB® se aplican preferiblemente con un peso base de 6 gramos por metro cuadrado (g/m^2). Si bien se prefieren este tipo de espesores, debe comprenderse que se pueden producir otros espesores para satisfacer una necesidad particular y que están, todavía, dentro del alcance de la presente invención.

10 Capas de polímeros termoplásticos de este tipo pueden estar unidos a las superficies de material compuesto utilizando técnicas bien conocidas, como la laminación térmica. Normalmente, la laminación se realiza colocando las capas individuales unas sobre otras en condiciones de suficiente calor y presión para hacer que las capas se combinen en una estructura unitaria. La laminación se puede realizar a temperaturas que varían de aproximadamente 95 °C a aproximadamente 175 °C, preferiblemente de aproximadamente 105 °C a aproximadamente 175 °C, a presiones que varían de aproximadamente 5 psig (0,034 MPa) a aproximadamente 100 psig (0,69 MPa), durante aproximadamente 5 segundos a aproximadamente 36 horas, preferiblemente de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 24 horas. Tales capas de polímero termoplástico pueden estar alternativamente unidas a las superficies de material compuesto con pegamento en caliente o con fibras con fusión en caliente como sería comprendido por un experto en la técnica.

20 Los artículos de resistencia balística de la invención son particularmente adecuados para cualquier aplicación de protección corporal que requiera una baja deformación de la cara posterior, es decir, una óptima resistencia a trauma contundente, que incluye artículos de protección flexibles y blandos, así como artículos de protección rígidos y duros así como para la defensa de vehículos y elementos estructurales, tales como muros de construcción. Cuando se emplea, los artículos de resistencia balística de la invención deben estar orientados de modo que el primer material compuesto está colocado como cara de ataque del artículo.

Los siguientes ejemplos sirven para ilustrar la invención.

25 Ejemplos

Las pruebas balísticas se realizaron en varios artículos de múltiples materiales compuestos para determinar el efecto de la composición del material compuesto y la orientación de la capa de fibra tanto en la resistencia a la penetración balística (V_{50}) como en el comportamiento de la huella de la cara posterior. Diecisiete diferentes configuraciones de artículos de material compuesto fueron fabricados comprendiendo varias combinaciones de materiales compuestos reforzados con fibra de polietileno y de materiales compuestos reforzados con fibra de aramida, teniendo cada configuración proporciones variables de cada tipo de material compuesto y con distintas orientaciones de capa de fibra para cada tipo de material compuesto.

35 Cada capa de material compuesto reforzado con fibra de polietileno se fabricó a partir de pliegues de fibra de polietileno no tejidos de cuatro plegados transversales en una configuración de 0°/90°/0°/90°, con las fibras en pliegues adyacentes que están orientadas longitudinalmente de 90° (o aproximadamente 90°) entre sí y consolidadas en una capa monolítica (es decir, 0°/90°/0°/90° o 90°/0°/90°/0°). Cada pliegue se formó individualmente a partir de una matriz de fibras de polietileno paralelas y orientadas unidireccionalmente revestidas con un aglutinante de poliuretano. La tenacidad de las fibras de polietileno fue de 37 g/denier y el contenido de resina en cada pliegue de fibras era de aprox. 16%. El aglutinante de poliuretano era de una composición patentada. Las fibras y el aglutinante utilizados para fabricar cada pliegue de cada material compuesto reforzado con fibra de polietileno eran los mismos.

45 Cada capa de material compuesto reforzado con fibra de aramida se fabricó a partir de pliegues de fibras de aramida no tejidas de cuatro plegados transversales en una configuración de 0°/90°/0°/90°, con las fibras en pliegues adyacentes longitudinalmente orientadas de 90° (o aproximadamente 90°) entre sí y consolidada en una capa monolítica (es decir, 0°/90°/0°/90° o 90°/0°/90°/0°). Cada pliegue se formó individualmente a partir de una matriz de fibras de aramida paralelas y orientadas unidireccionalmente revestidas con un aglutinante de poliuretano. Las fibras de aramida fueron fibras 129 de KEVLAR® de 1.000 denier con una tenacidad de 23 g/denier, y el contenido de resina en cada pliegue de fibra era de 18,5%. El aglutinante de poliuretano era un poliuretano aniónico alifático basado en poliéster. Las fibras y el aglutinante en cada pliegue del segundo material compuesto eran los mismos.

50 Para formar las capas individuales, los pliegues se apilan uno encima del otro de manera coextensiva y se consolidan bajo calor y presión. La temperatura de consolidación era de aproximadamente 104,4 °C (220 °F) a aproximadamente 121,1 °C (250 °F) y la presión de consolidación era de aproximadamente 689,5 kPa (100 psi).

El número deseado de capas de cada tipo requerido para ensamblar cada configuración deseada se proporcionó como cuadrados a 0°/90°/0°/90 con una longitud de 63,5 cm (25") y una anchura de 63,5 cm (25"). Las capas se apilan entre sí

de forma coextensiva estando cada capa de fibra en la pila colocada en la parte superior de la capa de fibras anterior de modo que la orientación longitudinal de las fibras en cada pliegue de fibras varió como se identifica a continuación. La pluralidad de capas se fusionaron después juntas en un artículo monolítico moldeando en una prensa de platina a 19,15 MPa (2.777 psi) durante 15 minutos a 137,77 °C (280 °F), con los materiales compuestos siendo primero calentados a 137,77 °C (280 °F) durante 10 minutos bajo presión de contacto solamente. Para algunas configuraciones indicadas a continuación, se incorporó una película adhesiva separada entre un material compuesto reforzado con fibra de polietileno y un material compuesto reforzado con fibra de aramida para mejorar la resistencia de la unión. Después de presionar, los artículos fueron enfriados por debajo de 37,8 °C (100 °F), retirados de la prensa, cortados en cuatro cuadrados con una longitud de 30,48 cm (12") y una anchura de 30,48 cm (12") y sometidos a pruebas balísticas.

10 Medición de la huella de la cara posterior

Las pruebas balísticas se realizaron con una superficie deseada de cada artículo colocado como un material compuesto de la cara de ataque que recibió el impacto inicial del proyectil con las capas restantes colocadas detrás del material compuesto de la cara de ataque. Para cada ejemplo, BFS se midió contra un proyectil FMJ RN para 9 mm y 124 granos disparado a una velocidad de aproximadamente 43.586,4 cm/s (1.430 pie/s) \pm 914,4 cm (30 pie/s). Muestras de 63,5 cm x 63,5 cm (25" x 25") fueron fabricadas para cada configuración de artículo, y posteriormente cortado a 4 cuadrados de 30,48 cm x 30,48 cm (12" x 12") y sometidos a pruebas balísticas. Dos de estos cuadrados fueron probados para BFS para 9 mm impactando cada uno en el centro de los cuatro cuadrantes del panel. En consecuencia, los datos de la BFS se informan en la Tabla 1 como un promedio de las ocho determinaciones de las mediciones de deformación de la arcilla para cada muestra. Se midieron los datos de la huella de la cara posterior estando el artículo de múltiples materiales compuestos separado de un bloque de arcilla por 1/2 pulgada (12,7 mm) mediante la inserción de un elemento separador mecanizado personalizado entre el artículo de material compuesto y el bloque de arcilla. El elemento separador mecanizado personalizado comprendía un elemento que tenía un borde y una cavidad interior definida por dicho borde en donde la arcilla se expone a través de la cavidad, y en donde el separador estaba colocado en contacto directo con la superficie frontal de la arcilla. Se dispararon proyectiles de alta velocidad a los artículos de materiales compuestos en ubicaciones de destino correspondientes a la cavidad interior del separador. Los proyectiles impactaron en el artículo de material compuesto en las ubicaciones correspondientes a la cavidad interior del separador, y cada impacto del proyectil causó una depresión medible en la arcilla. Todas las mediciones de la BFS se refieren sólo a la profundidad de la depresión en la arcilla según este procedimiento y no tienen en cuenta la profundidad del elemento separador (es decir, las mediciones de la BFS no incluyen la distancia real entre el material compuesto y la arcilla). Este procedimiento es similar al procedimiento de la norma NIJ 0101.04, Tipo IIIA, pero ese procedimiento requiere la colocación del artículo de material compuesto directamente en un bloque plano de arcilla. El aparato y el procedimiento de la prueba se describen con mayor detalle en la solicitud de patente, de propiedad común, de EE.UU. con el número de serie 13/594.757.

Medición de la V_{50}

35 Por cada ejemplo, se midió la V_{50} frente a una V_{50} contra un proyectil Right Circular Cylinder (RCC) de 16 granos disparado a una velocidad de, al menos, aproximadamente 975,36 m/s (3.200 pie/s). Los datos de V_{50} se adquirieron bajo técnicas normalizadas convencionalmente conocidas, particularmente por las condiciones de la MIL-STD-662F de Department of Defense Test Method Standard. Las dos muestras restantes de 30,48 cm x 30,48 cm (12" x 12") para cada configuración del artículo se sometieron a la prueba de la V_{50} de RCC de 16 granos. Cada muestra fue disparada 40 cuatro veces y los datos de V_{50} se informan en la Tabla 2 como un promedio de las ocho determinaciones de la V_{50} .

Medición de la deslaminación

La deslaminación en la Tabla 2 se refiere a la medición después de la prueba de la profundidad de la deformación trasera de los paneles de ensayo reales, en lugar de la profundidad de la depresión en el material de soporte. Esto se conoce como "deslaminación" porque no es la depresión de la arcilla lo que se está midiendo. Esta medición de la deslaminación será menor que la medida de la BFS más la profundidad del espacio de aire de 1/2" (12,7 mm) porque 45 después de un impacto de proyectil, el tejido en el área de impacto se retrae parcialmente. La medición de la deslaminación se realiza después de dicha retracción, mientras que la medición de la BFS con el procedimiento del espacio de aire descrito en el presente documento registra la extensión completa de la deformación trasera de la tela. La deformación después de dicha retracción se mide típicamente cortando una sección transversal del panel y midiendo la 50 profundidad desde el plano de la superficie trasera no dañada del panel hasta la parte exterior más profunda del área deformada.

Ejemplos 1 y 2 (comparativo)

Configuración 1 del artículo

Treinta y una capas de 4 pliegues de tejido reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con la

ES 2 730 712 T3

misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal.

Densidad de área total de la Configuración 1 del Artículo: 7,95 kg/m² (1,63 lb/ft²).

Ejemplos 3 y 4

Configuración 2 del artículo

- 5 (A) Veintitrés capas de 4 pliegues del material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;
- (B) Dos capas de 4 pliegues del material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A);
- 10 (C) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A);
- (D) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° de (A) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° de (A); y
- 15 (E) Dos capas de 4 pliegues del material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90,0° en relación con el pliegue de 0° de (A) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A).
- 20 Densidad de área total de la Configuración 2 del Artículo: 7,95 kg/m² (1,63 lb/ft²).

Ejemplos 5 y 6

Configuración 3 del artículo

- (A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 26 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;
- 25 (B) Segundo material compuesto: 8 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y
- (C) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.
- 30

Densidad de área total de la Configuración 3 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

35 Ejemplos 7-8

Configuración 4 del artículo

- (A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 26 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;
- 40 (B) Segundo material compuesto: 8 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y
- (C) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material
- 45

ES 2 730 712 T3

compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

Densidad de área total de la Configuración 4 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 9 y 10

5 Configuración 5 del Artículo:

(A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 26 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;

10 (B) Película adhesiva termoplástica de poliuretano de 0,01016 cm (4 mil) de espesor comercialmente disponible de Adhesives Films, Inc. Pine Brook, NJ;

(C) Segundo material compuesto: 8 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque;

15 (D) Película adhesiva de poliuretano termoplástica de 0,01016 cm (4 mil) de espesor comercialmente disponible de Adhesives Films, Inc. Pine Brook, NJ; y

(E) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

20 Densidad de área total de la Configuración 5 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 11 y 12

Configuración 6 del artículo:

25 Esta muestra era idéntica a la Configuración 5 del Artículo excepto que las películas adhesivas utilizadas entre los materiales compuestos eran películas A21.2007 NOLAX® y A21.2017 NOLAX® comercialmente disponibles de Nolax AG de Suiza. La A21.2007 es una película basada en EVA y estaba colocada contra el material compuesto basado en PE. La película A21.2017 estaba colocada contra el material compuesto basado en aramida. La película A21.2017 incluye una capa de EVA coextruida con una capa de poliuretano. La capa de EVA estaba al lado de la película A21.2007, mientras que la capa de poliuretano estaba al lado del material compuesto basado en aramida.

30 Densidad de área total de la Configuración 6 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 13 y 14

Configuración 7 del Artículo:

35 (A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 26 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;

(B) Segundo material compuesto:

40 (i) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque;

(ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto de la cara de ataque (A) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque;

45 (iii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues

ES 2 730 712 T3

impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

- 5 (iv) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

- 10 (C) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

Densidad de área total de la Configuración 7 del artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 15 y 16

Configuración 8 del Artículo:

- 15 (A) Primer (cara de ataque) material compuesto:

(i) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii);

- 20 (ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii); y

(iii) Veintidós capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal; y

- 25 B) Segundo material compuesto: 8 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii); y

- 30 (C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues del material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii).

Densidad de área total de la Configuración 8 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 17 y 18

Configuración 9 del Artículo:

- (A) Primer (cara de ataque) material compuesto:

- 35 (i) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

- 40 (ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

(iii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

- 45 (iv) Dos capas de 4 pliegues del material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

ES 2 730 712 T3

(v) Dieciocho capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal; y

5 (B) Segundo material compuesto: 8 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

(C) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v).

10 Densidad de área total de la Configuración 9 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 19 y 20

Configuración 10 del Artículo:

En este ejemplo, el primer material compuesto era idéntico al de la Configuración 9 del Artículo y además incluyó los siguientes materiales compuestos fusionados después de (A)(v):

15 (B) Segundo material compuesto:

(i) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

20 (ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

(iii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

25 (iv) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

(C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v).

30 Densidad de área total de la Configuración 10 del Artículo: 8,15 kg/m² (1,67 lb/ft²).

Ejemplos 21 y 22

Configuración 11 del Artículo:

35 (A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 22 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;

40 (B) Segundo material compuesto: 11 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

(C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

45 Densidad de área total de la Configuración 11 del artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

ES 2 730 712 T3

Ejemplos 23 y 24

Configuración 12 del Artículo:

(A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 22 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;

(B) Segundo material compuesto:

(i) Cuatro capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

(ii) Siete capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

(C) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

Densidad de área total de la Configuración 12 del Artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

Ejemplos 25 y 26

Configuración 13 del Artículo:

(A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 22 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;

(B) Película adhesiva de poliuretano termoplástica de 0,01016 cm (4 mil). de espesor comercialmente disponible en Adhesives Films, Inc. Pine Brook, NJ;

(C) Segundo material compuesto:

(i) Cuatro capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

(ii) Siete capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

(D) Película adhesiva de poliuretano termoplástica de 0,01016 cm (4 mil) de espesor comercialmente disponible en Adhesives Films, Inc. Pine Brook, NJ; Y

(E) Tercer material compuesto: 2 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

Densidad de área total de la Configuración 13 del Artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

Ejemplos 27 y 28

Configuración 14 del Artículo:

(A) Primer (cara de ataque) material compuesto: 22 capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de

ES 2 730 712 T3

aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal;

B) Segundo material compuesto:

5 (i) Cuatro capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque;

10 (ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque;

15 (iii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque;

(iv) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

20 (v) Una capa de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque; y

25 (C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° del material compuesto (A) de la cara de ataque.

Densidad de área total de la Configuración 14 del Artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

Ejemplos 29 y 30

30 Configuración 15 del Artículo:

(A) Primer (cara de ataque) material compuesto:

(i) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii);

35 (ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii); y

40 (iii) Dieciocho capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal; y

B) Segundo material compuesto: Once capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii); y

45 (C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(iii).

Densidad de área total de la Configuración 15 del Artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

Ejemplos 31 y 32

Configuración 16 del Artículo:

(A) Primer (cara de ataque) material compuesto:

5 (i) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

(ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

10 (iii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

15 (iv) Dos capas de 4 pliegues del material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

(v) Catorce capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con la misma orientación de fibra longitudinal y todos los pliegues pares con la misma orientación de fibra longitudinal; y

20 (B) Segundo material compuesto: Once capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

(C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v).

25 Densidad de área total de la Configuración 16 del Artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

Ejemplos 33 y 34

Configuración 17 del Artículo:

En este ejemplo, el primer material compuesto era idéntico al de la Configuración 16 del Artículo y además incluía los siguientes materiales compuestos fusionados después de (A)(v):

30 (B) Segundo material compuesto:

(i) Cuatro capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

35 (ii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

(iii) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 45,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 135,0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v);

40 (iv) Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 67,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 157,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

45 (v) Una capa de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de polietileno, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 90° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 0° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v); y

ES 2 730 712 T3

(C) Tercer material compuesto: Dos capas de 4 pliegues de material compuesto reforzado con fibra de aramida, con todos los pliegues impares con una orientación de fibra longitudinal de 112,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v) y todos los pliegues pares con una orientación de fibra longitudinal de 22,5° en relación con el pliegue de 0° de (A)(v).

Densidad de área total de la Configuración 17 del Artículo: 8,05 kg/m² (1,65 lb/ft²).

5

Tabla 1

| Ejemplo | Configuración del Artículo | BFS media (mm) | % de cambio de la BFS |
|---------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|
| 1 y 2 (Controles) | 1 | 14,75 | NA |
| 3 y 4 | 2 | 10,25 | -30,51 |
| 5 y 6 (Controles) | 3 | 1,625 | NA |
| 7 y 8 | 4 | 0,625 | -61,54 |
| 9 y 10 | 5 | 0,75 | -53,85 |
| 11 y 12 | 6 | 0,125 | -92,31 |
| 13 y 14 | 7 | 0,375 | -76,92 |
| 15 y 16 | 8 | 2 | 23,08 |
| 17 y 18 | 9 | 1,375 | -15,38 |
| 19 y 20 | 10 | 1,125 | -30,77 |
| 21 y 22 (Controles) | 11 | 3,125 | NA |
| 23 y 24 | 12 | 1,375 | -56 |
| 25 y 26 | 13 | 1,125 | -64 |
| 27 y 28 | 14 | 1,625 | -48 |
| 29 y 30 | 15 | 5,5 | 76 |
| 31 y 32 | 16 | 6,25 | 100 |
| 33 y 34 | 17 | 2,75 | -12 |

Tabla 2

| Ejemplo | Configuración del Artículo | V ₅₀ media (pie/s) | % de cambio en la V ₅₀ | Deslaminación media (mm) |
|---------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 y 2 | 1 | 2.835 | NA | 12,25 |

ES 2 730 712 T3

| Ejemplo | Configuración del Artículo | V ₅₀ media (pie/s) | % de cambio en la V ₅₀ | Deslaminación media (mm) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| (Controles) | | | | |
| 3 y 4 | 2 | 2.782 | -1,88 | 12,875 |
| 5 y 6 (Controles) | 3 | 2.407 | NA | 6,625 |
| 7 y 8 | 4 | - | - | 7,125 |
| 9 y 10 | 5 | 2.239 | -6,98 | 5,625 |
| 11 y 12 | 6 | 2.195 | -8,81 | 5,875 |
| 13 y 14 | 7 | 2.163 | -10,14 | 7,125 |
| 15 y 16 | 8 | 2.250 | -6,52 | 7,25 |
| 17 y 18 | 9 | 2.276 | -5,44 | 7,5 |
| 19 y 20 | 10 | 2270 | -5,69 | 6,5 |
| 21 y 22 (Controles) | 11 | 2.449 | NA | 7,25 |
| 23 y 24 | 12 | 2.341 | -4,41 | 7,625 |
| 25 y 26 | 13 | 2.391 | -2,37 | 6,75 |
| 27 y 28 | 14 | 2.313 | -5,55 | 8,5 |
| 29 y 30 | 15 | 2.435 | -0,57 | 7,625 |
| 31 y 32 | 16 | 2.412 | -1,51 | 8 |
| 33 y 34 | 17 | 2.216 | -9,51 | 9,25 |

Conclusiones

5 Como demuestran los datos de las Tablas 1 y 2, el comportamiento de la BFS para 9 mm mejora claramente (es decir, se reduce la profundidad de la deformación) en artículos híbridos combinando en un solo artículo materiales compuestos basados en aramida con materiales compuestos basados en polietileno, y el comportamiento mejoró aún más manipulando la orientación de la capa de fibras en relación con las direcciones de las fibras longitudinales.

10 Comparando las configuraciones 1 y 2, ambas son paneles de 79,96 Pa (1,67 lb/ft²) del mismo material, pero la configuración 2 tiene el último 25% del panel girado con cada dos capas de producto giradas 22,5°. Esta configuración mejoró el comportamiento de la BFS para 9 mm en un 30% (reducción del 30% en la BFS medida para 9 mm) con un impacto extremadamente pequeño en el comportamiento de la V₅₀ (1,8% de cambio en la configuración 2). Resultados similares se observan en los materiales compuestos híbridos de aramida-PE. Las configuraciones 3-10 consisten en aproximadamente un 75% de material compuesto basado en aramida hibridado con un 25% de material compuesto basado en PE siendo la configuración 3 utilizada como control.

5 Comparando la configuración 3 con la configuración 1, los datos muestran que la hibridación mejoraba el comportamiento de la BFS para 9 mm en un 89% (una reducción del 89% en la BFS medida para 9 mm) con solo una reducción del 15% en el comportamiento de la V_{50} . Una comparación de las configuraciones 3-10 ilustra la influencia de desplazar la orientación de la capa y la ubicación de las capas desplazadas sobre el comportamiento general de la BFS para 9 mm y de la V_{50} . Las configuraciones 4-7 contenían capas desplazadas solamente en la mitad posterior (25% en peso) del panel, mientras que las configuraciones 8 y 9 tenían capas desplazadas solamente en la mitad frontal (10% y 22% en peso, respectivamente) del panel. La configuración 10 era un híbrido que tenía capas desplazadas en la mitad frontal y en la mitad posterior del panel, respectivamente. Comparando las configuraciones 4, 5, 6 y 7 con la configuración 3, la BFS para 9 mm de los paneles que contienen capas desplazadas en la mitad posterior (hasta un 25% en peso) tenía mejoras de la BFS para 9 mm de entre 54% y 93% (reducciones en la BFS medida), con solo una reducción del 10,1% en la V_{50} .

15 En la configuración 8, sólo el 10% inicial en peso de la parte frontal del panel consistía en capas desplazadas. En este caso, la BFS para 9 mm medida era peor que el panel de control de la configuración 3. La configuración 9 ilustra que aumentando la cantidad de capas desplazadas en la cara de ataque en aproximadamente un 22% se reducirá la BFS medida para 9 mm por debajo del control (Configuración 3), pero no tanto como lo que se logra al desplazar la orientación de las capas en la mitad posterior del panel. El comportamiento V_{50} de las configuraciones 8 y 9 disminuye entre el observado para la configuración 3 de control y los paneles que fueron construidos desplazando la orientación de las capas en la mitad posterior del panel (Configuraciones 4-7).

20 La configuración 10 tiene desplazadas tanto la capa frontal como la posterior. Es similar a la configuración 7, pero tiene aproximadamente 22% en peso de sus capas de la parte frontal desplazadas, además de estar desplazada la mitad posterior del panel. La configuración 10 dio como resultado una medición de la BFS para 9 mm ligeramente inferior que la configuración 9, mostrando que desplazando la orientación de las capas de soporte proporciona una mejora adicional al comportamiento de la BFS. Una comparación de las configuraciones 7 y 9 indica que la mejora del comportamiento de la BFS era la mayor cuando se desplazada la orientación de las capas en la mitad posterior de la estructura del panel sin desplazar la orientación de las capas en la mitad frontal.

25 Los datos también ilustran que: 1) desplazar la orientación de las capas en la mitad posterior (25% en peso) del panel a incrementos de 22,5° por cada dos capas de producto parece más eficaz en disminuir la BFS medida para 9 mm que desplazar la orientación de la parte posterior, 25% en peso del panel, en 45°; y 2) el uso del adhesivo NOLAX® (A21.2007 + A21.2017) entre los diferentes tipos de materiales compuestos (aramida y PE) mejoró el comportamiento de la BFS medida para 9 mm en comparación con los paneles que no utilizaron el adhesivo (véase la configuración 6 frente a la configuración 4). También se observaron tendencias similares para las configuraciones 11-17.

REIVINDICACIONES

1. Un material de resistencia balística que comprende:

5 un primer material compuesto que comprende una pluralidad de pliegues fibrosos no tejidos, estando dicha pluralidad de pliegues fibrosos consolidados; comprendiendo cada uno de los pliegues fibrosos una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente, teniendo dichas fibras una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del primer material compuesto están orientadas en una dirección longitudinal no paralela de la fibra en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho primer material compuesto; y

10 un segundo material compuesto unido al primer material compuesto, cuyo segundo material compuesto comprende una pluralidad de pliegues fibrosos no tejidos, estando dicha pluralidad de pliegues fibrosos consolidados; comprendiendo cada uno de los pliegues fibrosos una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente, teniendo dichas fibras una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del segundo material compuesto están orientadas en una dirección longitudinal no paralela de la fibra en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho segundo material compuesto;

en donde la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del segundo material compuesto; y

20 en donde el primer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m², el segundo material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m², y en donde la densidad de área del primer material compuesto es mayor que el 50% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto.

25 2. El material de resistencia balística de la reivindicación 1, en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del primer material compuesto están orientadas en un ángulo de 90°, o aproximadamente 90°, en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho primer material compuesto, y las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del segundo material compuesto están orientadas en un ángulo de 90°, o aproximadamente 90°, en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho segundo material compuesto.

30 3. El material de resistencia balística de la reivindicación 1, en donde la densidad de área del primer material compuesto es superior al 60% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto.

4. El material de resistencia balística de la reivindicación 1, en donde las fibras del primer material compuesto y las fibras del segundo material compuesto están sustancialmente revestidas con un aglutinante polimérico.

35 5. El material de resistencia balística de la reivindicación 4, en donde las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente iguales a las fibras y al aglutinante polimérico que forman el segundo material compuesto.

40 6. El material de resistencia balística de la reivindicación 5, en donde el primer material compuesto comprende de aproximadamente 60% a aproximadamente 75% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto, y el segundo material compuesto comprende de aproximadamente 25% hasta aproximadamente 40% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto.

7. El material de resistencia balística de la reivindicación 4, en donde las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente diferentes de las fibras y el aglutinante polimérico que forman el segundo material compuesto.

8. El material de resistencia balística de la reivindicación 1 comprende:

45 un primer material compuesto que comprende una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que están sustancialmente revestidas con un aglutinante polimérico; un segunda material compuesto unido al primer material compuesto que comprende una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que están sustancialmente recubiertas con un aglutinante polimérico; y

50 un tercer material compuesto unido al segundo material compuesto, cuyo tercer material compuesto comprende una pluralidad de pliegues fibrosos no tejidos, estando dicha pluralidad de pliegues fibrosos consolidados;

- comprendiendo cada uno de los pliegues fibrosos una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que están sustancialmente revestidas con un aglutinante polimérico, teniendo dichas fibras una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; en donde las fibras orientadas unidireccionalmente en cada pliegue fibroso del tercer material compuesto están orientadas en una dirección longitudinal no paralela de la fibra en relación con la dirección longitudinal de la fibra, de cada pliegue adyacente, de dicho tercer material compuesto; y
- 5 en donde la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del segundo material compuesto; y en donde la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del primer material compuesto es igual o diferente de la dirección longitudinal de la fibra, de las fibras en cada pliegue, del tercer material compuesto; y
- 10 en donde el primer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , el segundo material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , y el tercer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 ; y en donde la densidad de área del primer material compuesto es mayor que el 50% de la densidad de área combinada total de primer material compuesto, segundo material compuesto y tercer material compuesto.
- 15 9. El material de resistencia balística de la reivindicación 8, en donde las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente los mismos que las fibras y el aglutinante polimérico que forman el tercer material compuesto;
- en donde las fibras y el aglutinante polimérico que forman el primer material compuesto son químicamente diferentes de las fibras y el aglutinante polimérico que forman el segundo material compuesto;
- 20 en donde el primer material compuesto y el segundo material compuesto están unidos entre sí de tal manera que un pliegue exterior del primer material compuesto está unido a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de $22,5^\circ/112,5^\circ$, o $45,0^\circ/135,0^\circ$ o $67,5^\circ/157,5^\circ$ en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto; y
- 25 en donde el segundo material compuesto y el tercer material compuesto están unidos entre sí de tal manera que un pliegue exterior del segundo material compuesto está unido a un pliegue exterior del tercer material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto está orientada en un ángulo de $22,5^\circ/112,5^\circ$, o $45,0^\circ/135,0^\circ$ o $67,5^\circ/157,5^\circ$ en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del tercer material compuesto.
- 30 10. Un material de resistencia balística que comprende:
- un primer material compuesto que comprende una pluralidad de capas fibrosas tejidas, estando dicha pluralidad de capas fibrosas consolidadas; comprendiendo cada una de las capas fibrosas una pluralidad de fibras que tienen una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más; y
- 35 un segundo material compuesto unido al primer material compuesto, cuyo segundo material compuesto comprende una pluralidad de capas fibrosas tejidas, estando dicha pluralidad de capas fibrosas consolidadas; comprendiendo cada una de las capas fibrosas una pluralidad de fibras que tienen una tenacidad de 7 g/denier o más y un módulo de tracción de 150 g/denier o más;
- en donde cada fibra de cada material compuesto tiene una dirección longitudinal de la fibra y la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en cada capa del primer material compuesto es diferente de la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en cada capa del segundo material compuesto; y
- 40 en donde el primer material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , el segundo material compuesto tiene una densidad de área de, al menos, aproximadamente 100 g/m^2 , y en donde la densidad de área del primer material compuesto es mayor que el 50% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto.
- 45 11. El material de resistencia balística de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 10, en donde el primer material compuesto y el segundo material compuesto están unidos entre sí de tal forma que un pliegue exterior del primer material compuesto está unido a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de $22,5^\circ$ o $112,5^\circ$ en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material
- 50 compuesto.

- 5 12. El material de resistencia balística de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 10, en donde el primer material compuesto y el segundo material compuesto están unidos entre sí de tal forma que un pliegue exterior del primer material compuesto está unido a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de 45,0° o 135,0° en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto.
- 10 13. El material de resistencia balística de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 10, en donde el primer material compuesto y el segundo material compuesto están unidos entre sí de tal forma que un pliegue exterior del primer material compuesto esté unido a un pliegue exterior del segundo material compuesto, y en donde la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del primer material compuesto está orientada en un ángulo de 67,5° o 157,5° en relación con la dirección longitudinal de la fibra de las fibras en el pliegue exterior del segundo material compuesto.
- 15 14. El material de resistencia balística de la reivindicación 4, en donde las fibras de cada material compuesto son las mismas, pero el aglutinante polimérico de cada material compuesto es diferente, en donde, preferiblemente, el primer material compuesto tiene un módulo de flexión que es al menos aproximadamente un 15% mayor que el módulo de flexión del segundo material compuesto, más preferiblemente en donde el primer material compuesto tiene un módulo de flexión que es, al menos, 25% mayor que el módulo de flexión del segundo material compuesto.
- 20 15. El material de resistencia balística de la reivindicación 10, en donde el primer material compuesto comprende de aproximadamente 60% a aproximadamente 75% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto, y el segundo material compuesto comprende de aproximadamente 25% a aproximadamente 40% de la densidad de área combinada total del primer material compuesto y del segundo material compuesto.