

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 599**

51 Int. Cl.:

**C08J 5/06** (2006.01)

**C08J 5/24** (2006.01)

**C08L 63/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.10.2014 PCT/US2014/061818**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.08.2015 WO15119676**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2014 E 14861131 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 3068823**

54 Título: **Materiales compuestos de resina reforzada con fibra y métodos para hacer el mismo**

30 Prioridad:

**04.02.2014 US 201414172040**

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

**06.04.2020**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, TERENCE LEE;  
CHRISTENSEN, STEPHEN y  
GOSSE, JONATHAN HENRY**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 752 599 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Materiales compuestos de resina reforzada con fibra y métodos para hacer el mismo

Información de antecedentes

Campo:

- 5 La presente divulgación se relaciona generalmente con materiales compuestos de resina reforzada con fibra y trata más particularmente con un material compuesto que tiene fibras recubiertas con una resina con distorsión.

Antecedentes:

- 10 Las aeronaves se están diseñando y fabricando con porcentajes cada vez mayores de materiales compuestos. Los materiales compuestos se utilizan en aeronaves para disminuir el peso de la aeronave. Esta disminución de peso mejora las características de rendimiento, tal como la capacidad de carga útil y la eficiencia del combustible. Además, los materiales compuestos proporcionan una vida útil más larga para varios componentes en una aeronave.

- 15 Los materiales compuestos pueden ser materiales resistentes y livianos creados mediante la combinación de dos o más componentes funcionales. Por ejemplo, un material compuesto puede incluir fibras de refuerzo unidas en una matriz de resina polimérica. Las fibras pueden ser unidireccionales o pueden tomar la forma de un paño o tela tejida. Las fibras y resinas pueden estar dispuestas y curadas para formar un material compuesto.

- 20 En los materiales compuestos reforzados con fibra, la eficiencia de la transferencia de carga entre la fibra y la matriz circundante a nivel de microescala, puede afectar directamente el rendimiento mecánico general del material compuesto a nivel continuo. La región de la matriz que puede verse sustancialmente afectada por la presencia de fibras, a veces denominada región de "interfase", es el área de interfase de la matriz que rodea directamente la fibra. En los materiales compuestos, esta región de interfase puede experimentar una alta tensión de cizallamiento debido al desajuste en la rigidez elástica entre las fibras y la matriz circundante.

- 25 Las resinas a granel convencionales ampliamente utilizadas pueden no proporcionar capacidades con distorsión deseables. Como resultado, se han desarrollado varias formulaciones de matriz de resina para mejorar la capacidad de distorsión de una resina polimérica. Sin embargo, las formulaciones que demuestran un potencial de rendimiento de capacidad de distorsión más alto pueden tener un coste mayor que las resinas a granel convencionales. Las formulaciones que demuestran una mayor capacidad de distorsión también pueden tener otras limitaciones indeseables. Estas otras limitaciones indeseables pueden incluir resistencia limitada al fluido, baja temperatura de transición vítrea y características de manipulación de preimpregnación inferiores a las deseadas, tales como una pegajosidad insuficiente y/o una vida de manipulación de preimpregnación. Estas limitaciones indeseables pueden abordarse parcialmente modificando la química de la resina de polímero a granel que forma la matriz. Sin embargo, estas modificaciones pueden requerir el desarrollo de monómeros o aditivos especializados que pueden aumentar el coste del producto. Además, estas formulaciones y aditivos especializados pueden reducir indeseablemente otras propiedades de rendimiento del material compuesto. También existe la necesidad de un método para fabricar tales materiales compuestos que use resinas a granel convencionales y evite la necesidad de aditivos de resina o formulaciones especiales de resina. Por lo tanto, sería deseable tener un método y un aparato que tengan en cuenta al menos uno de los problemas discutidos anteriormente, así como posiblemente otros problemas.

- 35 El documento US 2012/149802 A1 divulga un material compuesto de resina reforzada con fibra que incluye un recubrimiento sobre las fibras que mejora la transferencia de carga entre las fibras y la matriz de resina circundante. El documento US 2007/149725 A1 se relaciona con materiales compuestos que tienen una deformación con distorsión aumentada y/o una carga de dilatación disminuida, como se expresa dentro de la relación de tensión de von Mises, que proporciona resultados de tensión de von Mises incrementados. Los materiales compuestos pueden proporcionar rendimientos mecánicos de materiales compuestos mejorados.

Resumen

La invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

- 45 Un aspecto ilustrativo de la presente divulgación proporciona un material compuesto de resina reforzada con fibra que comprende una matriz de resina polimérica y una pluralidad de fibras recubiertas con una primera resina polimérica con distorsión. La matriz de resina polimérica tiene una primera tensión de von Mises. La primera resina polimérica con distorsión tiene una segunda tensión de von Mises en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.45. La pluralidad de fibras recubiertas con la primera resina polimérica con distorsión está dispuesta en la matriz de resina polimérica. La segunda tensión de von Mises es mayor que la primera tensión de von Mises.

- 50 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un material compuesto de resina reforzada con fibra que comprende una matriz de resina polimérica que tiene una primera tensión de von Mises, una pluralidad de fibras dispuestas en la matriz de resina polimérica y una región de interfase con distorsión que rodea la pluralidad de fibras.

La pluralidad de fibras tiene una segunda tensión de von Mises. Una relación entre la segunda tensión de von Mises y la primera tensión de von Mises es mayor o igual a aproximadamente 1.04.

5 Aún otro aspecto de la presente divulgación proporciona un método para fabricar un material compuesto de resina reforzada con fibra. El método comprende incrustar una pluralidad de fibras recubiertas con una primera resina polimérica con distorsión en una matriz de resina polimérica. Una primera tensión de von Mises de la primera resina polimérica con distorsión en un estado curado está en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.45. Una segunda tensión de von Mises de la matriz de resina polimérica es menor que la primera tensión de von Mises.

10 Las características, funciones y ventajas se pueden lograr de forma independiente en varios ejemplos ilustrativos de la presente divulgación o se pueden combinar en otras realizaciones más en las que se pueden ver más detalles con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

15 Los rasgos novedosos que se creen que son características de las realizaciones ilustrativas se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ilustrativas, así como un modo de uso preferido, objetivos adicionales y ventajas de los mismos, se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ilustrativa de la presente divulgación cuando se lee junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una ilustración de una aeronave de acuerdo con una realización ilustrativa;

La Figura 2 es una ilustración de un diagrama de bloques funcional de un material compuesto que emplea fibras recubiertas de resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

20 Figure 3 es una ilustración de una vista en sección de un cable de fibra de filamentos recubiertos de resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

Figure 4 es una ilustración más detallada de un cable de fibra de filamentos recubiertos de resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

25 La Figura 5 es una ilustración más detallada de una vista de corte transversal de un filamento recubierto de resina con distorsión individual de acuerdo con una realización ilustrativa;

La Figura 6 es una ilustración que muestra el uso de dos tipos de fibras de refuerzo que tienen diferentes módulos o resistencias y recubrimientos de resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

La Figura 7 es una ilustración de una vista de corte transversal de una fibra que tiene múltiples recubrimientos de resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

30 La Figura 8 es una ilustración de una vista en sección de un material compuesto que tiene fibras de refuerzo discontinuas recubiertas con una resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

La Figura 9 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método de fabricación de una estructura de material compuesto que usa fibras recubiertas de resina con distorsión de acuerdo con una realización ilustrativa;

35 La Figura 10 es una ilustración de un diagrama de bloques de un material compuesto de resina reforzada con fibra de acuerdo con una realización ilustrativa;

La Figura 11 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para formar un material compuesto de resina reforzada con fibra de acuerdo con una realización ilustrativa;

La Figura 12 es una ilustración del método de fabricación y servicio de aeronaves en la forma de diagrama de bloques de acuerdo con una realización ilustrativa;

40 La Figura 13 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave en el que se puede implementar una realización ilustrativa;

La Figura 14 es una ilustración de un gráfico del comportamiento de alargamiento frente a tensión para cupones de tracción de acuerdo con una realización ilustrativa; y

45 La Figura 15 es una ilustración de un gráfico del comportamiento de alargamiento frente a tensión para cupones de tracción de acuerdo con una realización ilustrativa.

Descripción detallada

Las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen y tienen en cuenta un número de consideraciones diferentes. Por ejemplo, las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen y tienen en cuenta que las resinas poliméricas con distorsión pueden mejorar la capacidad de soporte de carga mecánica de las fibras en materiales compuestos tales

como laminados de fibra de carbono. Como se usa aquí, una "resina polimérica con distorsión" se refiere a una resina polimérica que tiene una tensión de von Mises mayor o igual que aproximadamente 0.25. En algunos ejemplos ilustrativos, la "resina polimérica con distorsión" puede tener una tensión de von Mises en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.45. Los inventores han descubierto mediante pruebas experimentales que se puede lograr una mejora de hasta un 80% en las propiedades de resistencia a la tracción de los laminados de fibra de carbono cuando se fabrican con una resina polimérica con distorsión en comparación con la misma fibra de carbono utilizada en laminados con resinas poliméricas convencionales actuales.

Sin embargo, las diferentes realizaciones ilustrativas también reconocen y tienen en cuenta que los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que tienen una matriz de resina polimérica que comprende principalmente polímeros con distorsión pueden tener propiedades indeseables en comparación con los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que utilizan resinas a granel convencionales para la matriz de resina polimérica. Por ejemplo, las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen y tienen en cuenta que los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que utilizan una matriz de resina polimérica que comprende principalmente polímeros con distorsión pueden tener al menos uno de un módulo indeseable de elasticidad, temperatura de transición vítrea, resistencia a fluidos o vida de adhesión en comparación con un material compuesto de resina reforzada con fibra que utiliza resinas a granel convencionales para la matriz de resina polimérica.

Las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen además y tienen en cuenta que las resinas poliméricas con distorsión pueden ser más costosas que las resinas a granel convencionales. Por ejemplo, los monómeros utilizados en formulaciones de resinas poliméricas con distorsión pueden tener un coste mayor debido a sus características moleculares "incorporadas" únicas. Como otro ejemplo, los monómeros utilizados en resinas poliméricas con distorsión pueden estar disponibles en volúmenes más bajos que los monómeros utilizados en resinas a granel convencionales. Los monómeros utilizados en resinas a granel convencionales pueden ser materiales compuestos disponibles comercialmente de fabricantes a escala industrial.

Las diferentes realizaciones ilustrativas también reconocen y tienen en cuenta que los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que usan tanto una resina polimérica con distorsión como una resina a granel convencional pueden dar como resultado características deseables. Específicamente, el rendimiento deseable del material puede resultar del uso tanto de una resina polimérica con distorsión como una resina a granel convencional. Además, el uso de una resina polimérica con distorsión y una resina a granel convencional puede tener costes de fabricación más bajos que los materiales compuestos reforzados con fibra que usan solo resinas poliméricas con distorsión. Además, pueden resultar características deseables al rodear una resina polimérica con distorsión con una resina a granel convencional presente en volúmenes más altos como la matriz de resina polimérica.

Las realizaciones ilustrativas también reconocen y tienen en cuenta que los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que comprenden fibras recubiertas con una resina polimérica con distorsión incrustada en una resina a granel convencional pueden poseer deseablemente características de deformación con distorsión de la resina polimérica con distorsión. Además, los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que comprenden fibras recubiertas con una resina polimérica con distorsión incrustada en una resina a granel convencional pueden tener una capacidad de carga de soporte deseable, como la resistencia a la tracción. Las realizaciones ilustrativas reconocen además y tienen en cuenta que los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que comprenden fibras recubiertas con una resina polimérica con distorsión incrustada en una resina a granel convencional pueden tener una o más propiedades deseables de la matriz de resina polimérica a granel.

Con referencia ahora a las figuras, y en particular, con referencia a la Figura 1, se representa una ilustración de una aeronave de acuerdo con una realización ilustrativa. En este ejemplo ilustrativo, la aeronave 100 tiene el ala 102 y ala 104 unidos al cuerpo 106. La aeronave 100 incluye el motor 108 conectado al ala 102 y el motor 110 unido al ala 104.

El cuerpo 106 tiene la sección 112 de cola. El estabilizador 114 horizontal, el estabilizador 116 horizontal y el estabilizador 118 vertical están unidos a la sección 112 de cola del cuerpo 106.

La aeronave 100 es un ejemplo en el que pueden implementarse diversas realizaciones ilustrativas de los materiales compuestos de resina reforzada con fibra divulgados aquí. Los materiales compuestos de resina reforzada con fibras que tienen fibras recubiertas con una resina polimérica con distorsión divulgada aquí pueden usarse, por ejemplo, como un material para componentes de aeronaves 100 donde un material compuesto reforzado liviano puede ser beneficioso. Como otro ejemplo, los materiales compuestos de resina reforzada con fibra que tienen fibras recubiertas con una resina polimérica con distorsión se pueden usar como material en largueros (no mostrados) del ala 104. Como otro ejemplo más, la piel 120 de material compuesto del cuerpo 106 o ala 104 puede comprender material compuesto de resina reforzada con fibra que tiene fibras recubiertas con una resina polimérica con distorsión.

La ilustración de la aeronave 100 en la Figura 1 no pretende implicar limitaciones físicas o arquitectónicas a la manera en que se puede implementar una realización ilustrativa. Por ejemplo, aunque la aeronave 100 es un avión comercial, la aeronave 100 puede ser un avión militar, una aeronave de alas giratorias, un helicóptero, un vehículo aéreo no tripulado o cualquier otra estructura aeroespacial adecuada.

Aunque los ejemplos ilustrativos para una realización ilustrativa se describen con respecto a una aeronave u otra estructura aeroespacial, la realización ilustrativa puede aplicarse a otros tipos de plataformas. La plataforma puede ser, por ejemplo, una plataforma móvil, una plataforma estacionaria, una estructura terrestre, una estructura acuática y una estructura espacial. Más específicamente, la plataforma puede ser un buque de superficie, un tanque, un transporte de personal, un tren, una nave espacial, una estación espacial, un satélite, un submarino, un automóvil, una planta de energía, un puente, una presa, una casa, un molino de viento, una instalación de fabricación, un edificio y otras plataformas adecuadas.

Con referencia a la Figura 2, se representa un diagrama de bloques de un material 20 compuesto de acuerdo con una realización ilustrativa. El material 20 compuesto comprende fibras 24 incrustadas en una matriz 22 de resina polimérica. Las fibras 24 pueden ser fibras de refuerzo. Las fibras 24 pueden ser continuas o discontinuas (por ejemplo, fibras cortadas) y pueden estar formadas por cualquiera de una variedad de materiales, que incluyen, entre otros, carbono, vidrio, materiales orgánicos, materiales metálicos, cerámicas y otros. En varios ejemplos ilustrativos, las fibras 24 tienen un recubrimiento 26 por resina con distorsión sobre el mismo que tiene una capacidad de deformación por distorsión relativamente alta en comparación con la capacidad de deformación por distorsión de la matriz 22 de resina polimérica circundante. La matriz 22 de resina polimérica puede comprender una resina a granel convencional. El recubrimiento 26 por resina con distorsión puede dar como resultado mejoras significativas en el rendimiento mecánico del material 20 compuesto, tal como una mayor resistencia y/o tensión máxima, así como mejoras potenciales en la delaminación y la resistencia a microgrietas. Como se usa aquí, la frase "y/o" se interpretará como "inclusiva" o, y no como "exclusiva". Por ejemplo, si se usa aquí, la frase "A y/o B" indicaría "A, B o A y B". Como otro ejemplo, la frase "A, B y / o C", como se usa aquí, indicaría "A, B, C o cualquier combinación de los mismos".

La capacidad de deformación con distorsión del recubrimiento 26 por resina con distorsión, que puede expresarse en términos de rendimiento de tensión de von Mises, es alta en relación con la matriz 22 de resina polimérica con el fin de lograr una capacidad óptima de transferencia de carga de fibra-resina entre las fibras 24 y matriz 22 de resina polimérica circundante. El alargamiento o tensión de von Mises es un índice derivado de combinaciones de tensiones principales en cualquier punto dado en un material para determinar en qué punto del material, el alargamiento causará fallas. La matriz 22 de resina polimérica puede tener una capacidad con distorsión inferior a la de las fibras 24, exhibida por un menor rendimiento de tensión de von Mises. Sin embargo, el material 20 compuesto puede exhibir un rendimiento mecánico general mayor que un material compuesto fabricado sin recubrimiento 26 por resina con distorsión que tiene fibras 24 y matriz 22 de resina polimérica.

El recubrimiento 26 por resina con distorsión puede ser un recubrimiento de resina con distorsión polimérica. Ejemplos de antecedentes de materiales adecuados para el recubrimiento 26 por resina con distorsión se pueden encontrar en la Patente de los Estados Unidos No. 7,745,549. Las composiciones divulgadas en la Patente de Estados Unidos No. 7,745,549 exhiben una deformación con distorsión aumentada, y/o una carga de dilatación disminuida, como se expresa dentro de la relación de tensión de von Mises. Como se discutió en la Patente de los Estados Unidos No. 7,745,549, el rendimiento de la fibra puede estar limitado por la baja capacidad con distorsión crítica de la matriz de las resinas termoestables usadas en materiales compuestos conocidos. Las matrices de polímeros de material compuesto de la Patente de los Estados Unidos Núm. 7.745.549 exhiben una deformación con distorsión mejorada (es decir, aumentada) y/o una carga de dilatación disminuida (es decir, más baja), aumentando la tensión de von Mises y proporcionando un rendimiento mecánico de material compuesto mejorado.

Se parte de la hipótesis de que una resina polimérica con capacidad con distorsión mejorada es capaz de transferir la carga alrededor de defectos a microescala en la fibra, los que pueden considerarse sitios de inicio de falla en la fibra, a lo largo del eje longitudinal de la fibra cuando la fibra experimenta una carga. Esta capacidad de redistribuir la carga alrededor de las fallas puede permitir que la fibra continúe sosteniendo la carga sin fallar. Se teoriza que la base molecular de la capacidad de una matriz polimérica para experimentar una respuesta con distorsión a una fuerza aplicada se debe a un movimiento cooperativo de un volumen o segmento específico de la cadena polimérica. Por lo tanto, las estructuras moleculares que pueden ajustarse de manera conforme con la fuerza aplicada mejorarán la capacidad del polímero para experimentar y aumentar su respuesta con distorsión.

En varios ejemplos ilustrativos, el material 20 compuesto puede comprender una región 25 de interfase con distorsión que comprende una resina con distorsión dispuesta entre las fibras 24 y la matriz 22 de resina polimérica. La región 25 de interfase con distorsión puede definir toda o parte de una región en el material 20 compuesto que experimenta una alta tensión de cizallamiento al aplicar una fuerza aplicada al material 20 compuesto. No deseando estar atados a la teoría, se cree que una tensión de cizallamiento tan alta puede deberse a un desajuste entre la rigidez elástica de las fibras 24 y la rigidez elástica de la matriz 22 de resina polimérica. Nuevamente, no sin desear estar limitado por la teoría, se cree que una región 25 de interfase con distorsión distinta que rodea cada una de las fibras 24 y que comprende el recubrimiento 26 por resina con distorsión puede mejorar el rendimiento mecánico general del material 20 compuesto al proporcionar una respuesta con distorsión a la aplicación de una fuerza aplicada al material 20 compuesto. Una respuesta con distorsión también se puede denominar respuesta desviatoria y es un cambio de forma. Sin desear limitarse a la teoría, se cree que la respuesta con distorsión o desviatoria de la matriz 22 de resina polimérica a una fuerza aplicada puede verse como una transformación de cizallamiento abrupta o un movimiento cooperativo de un volumen o segmento específico de la cadena polimérica que responde a una desviación de tensión.

Con referencia a la Figura 3, se representa una ilustración de una vista en sección de un cable 23 de fibra individual de acuerdo con un ejemplo ilustrativo. Un cable 23 de fibra individual está impregnado previamente con una resina de matriz a granel y comprende una multiplicidad de filamentos individuales o fibras 24, cada uno de los cuales tiene un recubrimiento 26 por resina con distorsión rodeado de resina de matriz a granel. La resina de matriz a granel puede comprender cualquiera de una variedad de resinas poliméricas utilizadas en materiales compuestos estructurales de alto rendimiento. El curado puede transformar la resina de matriz a granel en matriz 22 de resina polimérica e incrustar fibras 24 recubiertas en la matriz 22 de resina polimérica como se describe anteriormente en la Figura 2.

El recubrimiento 26 por resina con distorsión puede aplicarse a las fibras 24 usando cualquiera de varias técnicas convencionales, que incluyen, pero no se limitan a, inmersión y atomización. El espesor "t" (Figura 5) del recubrimiento 26 por resina con distorsión dependerá de la aplicación particular y los requisitos de rendimiento del material 20 compuesto.

Como se discutió previamente, en los materiales compuestos reforzados con fibra, la eficiencia de la transferencia de carga entre las fibras 24 de refuerzo y la matriz 22 de resina polimérica circundante a nivel de microescala puede afectar sustancialmente el rendimiento mecánico general del material 20 compuesto. La región crítica del material 20 compuesto afectada por la presencia de fibras 24, es la región 25 de interfase con distorsión. Sin desear limitarse a la teoría, se cree que esta región 25 de interfase con distorsión experimenta una tensión de cizallamiento relativamente alta debido al desajuste entre la rigidez elástica relativamente alta de las fibras 24 y la rigidez elástica relativamente baja de la matriz 22 de resina polimérica circundante.

La resina de matriz a granel que forma la matriz 22 de resina polimérica puede ser cualquier sistema de resina comercial o personalizado adecuado que tenga las propiedades físicas deseadas que son diferentes de las del recubrimiento 26 por resina con distorsión. Estas diferencias en las propiedades físicas dan como resultado que el recubrimiento 26 por resina con distorsión tenga una mayor capacidad con distorsión que el de la matriz 22 de resina polimérica. Por ejemplo y sin limitación, las propiedades físicas típicas de la resina de matriz a granel utilizada en la matriz 22 de resina polimérica que pueden afectar su capacidad de distorsión incluyen, pero no se limitan a: resistencia superior a los fluidos, mayor módulo, mayor rendimiento a altas temperaturas, mejor capacidad de proceso y/o mejores propiedades de manejo (como el grado de pegajosidad y vida de adhesión) en relación con el recubrimiento 26 por resina con distorsión.

En varios ejemplos ilustrativos, el material 20 compuesto puede producirse a partir de un preimpregnado. En tales ejemplos ilustrativos, el recubrimiento 26 por resina con distorsión puede aplicarse a las fibras 24 antes de la impregnación de las fibras 24 con resina de matriz a granel. Al impregnar las fibras 24 después de aplicar el recubrimiento 26 por resina con distorsión, se pueden utilizar diversos procesos para recubrir las fibras 24. Después de impregnar las fibras 24, las fibras 24 impregnadas resultantes pueden curarse. El curado puede transformar la resina de matriz a granel en matriz 22 de resina polimérica e incrustar fibras 24 recubiertas en la matriz 22 de resina polimérica. En el material 20 compuesto así formado, la matriz 22 de resina polimérica rodea las fibras 24 recubiertas incrustadas en la matriz 22 de resina polimérica.

En otros ejemplos ilustrativos, el material 20 compuesto puede producirse a partir de una preforma de fibra (no mostrada) recubierta con una resina con distorsión e infundida con un material de matriz a granel. En uno de tales ejemplos ilustrativos, las fibras de una preforma de fibra pueden recubrirse con resina con distorsión antes de formarse en la preforma de fibra. En otro ejemplo ilustrativo de este tipo, una preforma de fibra puede formarse a partir de fibras 24 y luego recubrirse con una resina con distorsión de manera que las fibras 24 tengan un recubrimiento 26 por resina con distorsión. La preforma de fibra recubierta con la resina con distorsión puede luego fundirse con resina de matriz a granel de tal manera que las fibras 24 recubiertas con el recubrimiento 26 por resina con distorsión estén impregnadas con resina de matriz a granel. Después de la impregnación, la preforma de fibra recubierta con la resina con distorsión e infundida con resina de matriz a granel puede curarse. Durante el curado de la preforma de fibra recubierta con la resina con distorsión e infundida con resina de matriz a granel, la matriz 22 de resina polimérica se forma a partir de resina de matriz a granel y las fibras 24 que tienen el recubrimiento 26 por resina con distorsión se incrustan en la matriz 22 de resina polimérica.

La Figura 6 ilustra un material 20 compuesto que tiene dos grupos de fibras 24a, 24b respectivamente que tienen módulos alto y bajo. Los materiales 20 compuestos que tienen fibras 24a, 24b con diferentes módulos a veces se denominan materiales compuestos híbridos. En algunos ejemplos ilustrativos, los diferentes recubrimientos 26a, 26b de resina con distorsión pueden aplicarse respectivamente a grupos de fibras 24a, 24b que tienen características físicas diferentes.

Con referencia a la Figura 7, puede ser deseable en algunas aplicaciones aplicar múltiples recubrimientos 26, 28 por resina con distorsión de resinas con distorsión sobre fibras 24. Múltiples recubrimientos 26, 28 por resina con distorsión pueden tener diferentes capacidades de deformación con distorsión para formar una región de transición que aumenta la capacidad de transferencia de carga entre las fibras 24 y la resina a granel circundante que forma la matriz 22 de resina polimérica. En este ejemplo, la capacidad de deformación con distorsión del recubrimiento 28 de resina con distorsión exterior puede ser mayor que la del recubrimiento 26 por resina con distorsión interior.

La Figura 8 ilustra un material 20 compuesto que comprende una matriz 22 de resina polimérica que está reforzada con fibras 30 discontinuas, a veces denominadas fibras segmentadas, cada una de las cuales tiene un recubrimiento 26 por resina con distorsión.

5 Se dirige ahora la atención a la Figura 9, que ilustra ampliamente los pasos de un método de fabricación de una estructura de material compuesto (no mostrada) usando el material 20 compuesto descrito anteriormente. A partir de 32, se proporcionan fibras 24 adecuadas para la aplicación que, como se mencionó anteriormente, pueden ser continuas o discontinuas. En 34, las fibras 24 están recubiertas con una resina polimérica con distorsión que tiene una capacidad con distorsión que es mayor que la de la resina polimérica que forma la matriz 22 de resina polimérica.

10 En un ejemplo ilustrativo, en el paso 36, las fibras 24 se impregnan con la resina de matriz a granel, y en el paso 37 las fibras 24 recubiertas impregnadas se forman en un preimpregnado que puede comprender cables preimpregnados, cinta preimpregnada o una tela preimpregnada. En 38, una estructura de material compuesto se coloca y se forma usando el preimpregnado. En otro ejemplo ilustrativo, como se muestra en el paso 40, las fibras 24 recubiertas de resina con distorsión se usan para producir una preforma de fibra seca o sustancialmente seca que, en el paso 42, se infunde con una resina de matriz a granel usando, por ejemplo, un proceso de moldeo por transferencia de resina asistido por vacío. Finalmente, en 44, la estructura se cura. Durante el curado, las fibras 24 recubiertas de resina con distorsión se incrustan en la matriz 22 de resina polimérica circundante, dando como resultado la región 25 de interfase con distorsión descrita anteriormente entre las fibras 24 y la matriz 22 de resina polimérica.

20 En algunas aplicaciones, puede ser necesario controlar la migración del recubrimiento 26 por resina con distorsión durante el proceso de curado. Una solución a este problema consiste en formular el recubrimiento 26 por resina con distorsión para que tenga una viscosidad mayor que la de la resina a granel que forma la matriz 22 de resina polimérica. Durante el curado, el recubrimiento 26 por resina con distorsión se retiene en la superficie de las fibras debido a su mayor viscosidad y capacidad disminuida para fluir. Otra solución al problema consiste en exponer las fibras 24 recubiertas de resina con distorsión a una temperatura elevada apropiada después de recubrir las fibras 24 con el fin de entrecruzar ligeramente (curar) la resina con distorsión, aumentando así su viscosidad y su adherencia a las fibras 24.

30 En un ejemplo ilustrativo, se proporciona un método para hacer una resina polimérica reforzada con fibra, que comprende recubrir fibras de refuerzo con una primera resina polimérica para formar fibras recubiertas, e incrustar las fibras recubiertas en una segunda resina polimérica. Una capacidad de deformación con distorsión de la primera resina polimérica es mayor que una capacidad de deformación con distorsión de la segunda resina polimérica, y la primera resina polimérica puede ser cualquiera de diversas químicas de resina que exhiben una alta capacidad de deformación con distorsión. La primera resina polimérica puede ser un epoxi que exhibe una alta capacidad de deformación con distorsión. Las fibras pueden tener un módulo de elasticidad mayor que un módulo de elasticidad de la primera resina polimérica. El método comprende además seleccionar las fibras del grupo que consiste en fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas y fibras cerámicas. El método puede incluir la aplicación de un recubrimiento 35 de una tercera resina polimérica sobre el recubrimiento de la primera resina polimérica, en el que la tercera resina polimérica tiene una capacidad de deformación con distorsión mayor que la capacidad de deformación con distorsión de la segunda resina polimérica y menor que la capacidad de deformación con distorsión de la primera resina polimérica.

40 De acuerdo con otro ejemplo ilustrativo, se proporciona un método para hacer un material compuesto de polímero reforzado con fibra, que comprende proporcionar una resina de matriz a granel y fibras para reforzar una matriz de resina polimérica formada a partir de la resina de matriz a granel. El método comprende además incrustar las fibras en una matriz de resina polimérica. La incrustación de las fibras en la matriz puede incluir la impregnación de las fibras con la resina de matriz a granel. La incrustación de las fibras puede incluir el curado de la resina de matriz a granel, en la que el curado de la resina de matriz a granel forma una matriz de resina polimérica. El método puede comprender 45 además formar una región de interfase con distorsión entre las fibras y la matriz de resina polimérica, en el que la región de interfase con distorsión mejora la transferencia de carga entre las fibras y la matriz de resina polimérica. La formación de la región de interfase con distorsión incluye recubrir las fibras con una resina con distorsión polimérica que tiene al menos una propiedad diferente de la matriz de resina polimérica. La al menos una propiedad se selecciona del grupo que consiste en resistencia a fluidos, módulo aumentado, rendimiento a alta temperatura, capacidad de procesamiento y propiedades de manejo. Proporcionar fibras incluye seleccionar las fibras del grupo que consiste en fibras de carbono, fibras orgánicas, fibras metálicas y fibras cerámicas. Proporcionar fibras para reforzar la matriz de resina polimérica incluye proporcionar dos grupos de fibras que tienen módulos diferentes, respectivamente, y formar 50 la región de interfase con distorsión entre las fibras y la matriz de resina polimérica incluye recubrir las fibras en cada uno de los grupos con resinas poliméricas diferentes que tienen cada una, una capacidad de deformación con distorsión mayor que una capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica.

60 Con referencia a la Figura 10, se representa un diagrama de bloques de un material compuesto de resina reforzada con fibra de acuerdo con un ejemplo ilustrativo. El material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra comprende la matriz 1022 de resina polimérica, la pluralidad de fibras 1024 y el recubrimiento 1030 por resina con distorsión. Específicamente, el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra comprende una pluralidad de fibras 1024 recubiertas con recubrimiento 1030 por resina con distorsión incrustado en la matriz 1022 de resina polimérica.

- La matriz 1022 de resina polimérica puede comprender un número de resinas 1023 de matriz polimérica. Como se usa aquí, "un número de", cuando se usa con referencia a artículos, significa uno o más artículos. Un número de resinas 1023 de matriz polimérica puede incluir cualquier resina polimérica capaz de funcionar como material de matriz de un material compuesto reforzado con fibra. Un número de resinas 1023 de matriz polimérica pueden ser resinas convencionales a granel. Un número de resinas 1023 de matriz polimérica también puede denominarse material de matriz resinoso no curado o materiales de matriz resinosos no curados. Un número de resinas 1023 de matriz polimérica puede incluir, entre otras, resinas poliméricas termoestables. Las resinas poliméricas termoestables pueden incluir, por ejemplo, al menos una de las resinas epoxi, resinas fenólicas y amino, resinas de poliimida, resinas de poliamida, resinas de poliuretano u otras resinas poliméricas termoestables adecuadas.
- Como se usa aquí, la frase "al menos uno de", cuando se usa con una lista de artículos, indica que se pueden usar diferentes combinaciones de uno o más de los elementos enumerados y puede ser necesario solo uno de cada elemento en la lista. En otras palabras, al menos uno de, indica que cualquier combinación de elementos y un número de elementos puede usarse de la lista, pero no todos los elementos de la lista son obligatorios. El artículo puede ser un objeto, cosa o categoría en particular. Por ejemplo, "al menos uno del elemento A, el elemento B o el elemento C" puede incluir, sin limitación, el elemento A, el elemento A y el elemento B, o el elemento B. Este ejemplo también puede incluir el elemento A, el elemento B y el elemento C o elemento B y elemento C. Por supuesto, cualquier combinación de estos elementos puede estar presente. En otros ejemplos, "al menos uno de" puede ser, por ejemplo, sin limitación, dos del elemento A; uno del elemento B; y diez del elemento C; cuatro del elemento B y siete del elemento C; u otras combinaciones adecuadas.
- En algunos ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica comprende al menos una resina epoxi. En uno de tales ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica puede comprender al menos una de una resina epoxi de bisfenol A o una resina epoxi de bisfenol F.
- En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1023 de matriz polimérica para la matriz 1022 de resina polimérica puede incluir, pero no limitarse a, resinas poliméricas modificadas. Los ejemplos de resinas de matriz polimérica modificada adecuadas incluyen, pero sin limitarse a, resinas epoxi curadas o parcialmente curadas en la presencia de un agente de curado, tal como un agente de curado de amina. En un ejemplo ilustrativo, la matriz 1022 de resina polimérica comprende una resina epoxi modificada que incluye al menos una de una resina epoxi de bisfenol A o una resina epoxi de bisfenol F y monómeros de diaminodifenilsulfona.
- En algunos ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica puede comprender una o más resinas de matriz polimérica disponibles comercialmente. En algunos ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica comprende una o más formulaciones disponibles comercialmente de los polímeros termoestables descritos anteriormente. En algunos ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica comprende una o más resinas epoxi disponibles comercialmente. Las resinas de matriz epoxi disponibles comercialmente adecuadas para su uso en diversos ejemplos ilustrativos pueden obtenerse, por ejemplo, de Cytec Industries de Woodland Park, Nueva Jersey con el nombre comercial CYCOM (por ejemplo, sistema de resina epoxi Cycom 977-3 y resina epoxi Cycom 970); Hexcel Corporation de Stamford, Connecticut bajo el nombre comercial HEXPLY (por ejemplo, matriz epoxi HexPly 3501-6, matriz epoxi HexPly 8552 y HexPly M21); y Toray Industries (America), Inc. de Nueva York, Nueva York (por ejemplo, resina 3900-2).
- En varios ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica tiene la tensión 1025 de von Mises de menos de aproximadamente 0.25. En algunos ejemplos ilustrativos, la matriz 1022 de resina polimérica puede tener la tensión 1025 de von Mises en un intervalo de aproximadamente 0.18 a aproximadamente 0.24.
- La pluralidad de fibras 1024 puede comprender uno o más tipos diferentes de fibras. La pluralidad de fibras 1024 puede incluir cualquier fibra capaz de reforzar un material compuesto resinoso. La pluralidad de fibras 1024 puede incluir, por ejemplo, al menos una de fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas, fibras cerámicas u otras fibras adecuadas. En algunos ejemplos ilustrativos, las fibras pueden incluir fibras orgánicas seleccionadas de al menos una de las fibras de aramida (por ejemplo, Kevlar, Twaron, etc.), fibras de polietileno de alto peso molecular (HMWPE), fibras de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), fibras de nylon, o cualquier otra fibra orgánica adecuada.
- La pluralidad de las fibras 1024 puede comprender al menos una de las fibras 1050 de módulo bajo, las fibras 1052 de módulo intermedio o las fibras 1054 de módulo alto. Como se usa aquí, las fibras 1050 de módulo bajo también pueden denominarse fibras que tienen un módulo de elasticidad bajo. Las fibras 1050 de módulo bajo son fibras que tienen un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 20 millones de libras por pulgada cuadrada (msi) a aproximadamente 40 msi. En algunos ejemplos ilustrativos, las fibras 1050 de bajo módulo pueden tener un módulo de elasticidad en un intervalo de aproximadamente 33 msi a aproximadamente 36 msi.
- Como se usa aquí, las fibras 1052 de módulo intermedio también pueden denominarse fibras que tienen un módulo de elasticidad intermedio. Las fibras 1052 de módulo intermedio son fibras que tienen un módulo de elasticidad en un intervalo de aproximadamente 40 msi a aproximadamente 45 msi.

## ES 2 752 599 T3

Como se usa aquí, las fibras 1054 de módulo alto también pueden denominarse fibras que tienen un alto módulo de elasticidad. Las fibras 1054 de módulo alto son fibras que tienen un módulo de elasticidad mayor de aproximadamente 45 msi.

5 Sin embargo, estos intervalos no están destinados a limitar las fibras que pueden usarse en el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra. La pluralidad de fibras 1024 puede comprender fibras que tienen módulos de elasticidad fuera de estos intervalos, solos o en combinación con fibras que tienen módulos de elasticidad bajos, intermedios y/o altos.

10 En varios ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 comprende al menos una de las fibras 1050 de módulo alto, fibras 1052 de módulo intermedio o fibras 1054 de módulo alto. En algunos ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra comprende fibras 1050 de módulo alto y fibras 1054 de módulo alto. En otros ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra comprende fibras 1052 de módulo intermedio y fibras 1054 de módulo alto. En otros ejemplos ilustrativos más, la pluralidad de fibras 1024 del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra comprende fibras 1050 de módulo alto y fibras 1052 de módulo intermedio.

15 En varios ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 comprende fibras de carbono. Las fibras de carbono disponibles comercialmente adecuadas para su uso en diversos ejemplos ilustrativos de la divulgación pueden obtenerse, por ejemplo, de Toray Carbon Fibers America, Inc. de Decatur, Alabama bajo el nombre comercial TORAYCA; Hexcel Corporation de Stamford, Connecticut bajo el nombre comercial HEXTOW. En la Tabla II a continuación se muestran ejemplos de fibras de carbono disponibles comercialmente de Toray Industries que tienen  
20 módulos de elasticidad en los intervalos bajo, intermedio y alto.

Tabla 1

Fibras disponibles comercialmente que tienen módulo de elasticidad bajo, intermedio y alto		
Intervalo	Producto de fibra de carbono*	Módulo de elasticidad
Módulo bajo	TORAYCA T300	33 msi
	TORAYCA T700S	33 msi
Módulo intermedio	TORAYCA T800S	43 msi
Alto	TORAYCA M35J	50 msi
Módulo	TORAYCA M40J	55 msi
	TORAYCA M46J	63 msi
	TORAYCA M50J	69 msi
	TORAYCA M55J	78 msi
	TORAYCA M60J	85 msi
*Como se formulo el 10 de noviembre de 2013.		

25 En algunos ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 puede tomar la forma de preforma 1027 de fibra. La preforma 1027 de fibra comprende una pluralidad de fibras 1024 formadas en una forma. En algunos ejemplos ilustrativos, la preforma 1027 de fibra puede tomar la forma de una hoja. La preforma 1027 de fibra puede tener una forma deseable para el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra.

30 El recubrimiento 1030 por resina con distorsión recubre la pluralidad de fibras 1024. El recubrimiento 1030 por resina con distorsión también puede formar la región 1028 de interfase con distorsión entre la pluralidad de fibras 1024 y la matriz 1022 de resina polimérica. El recubrimiento 1030 por resina con distorsión puede estar formado por un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión.

En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede ser una única resina polimérica. En otros ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede ser una

combinación de dos o más resinas poliméricas. En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede formarse a partir de una mezcla de resinas poliméricas. Un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión tiene una primera tensión de von Mises mayor o igual a aproximadamente 0.25. En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión tiene una primera tensión de von Mises en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.45. Como se muestra, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede incluir la primera resina 129 polimérica con distorsión y la segunda resina 131 polimérica con distorsión. La primera resina 129 polimérica con distorsión tiene tensión 1033 de von Mises. La segunda resina 131 polimérica con distorsión tiene tensión 1035 de von Mises.

En algunos ejemplos ilustrativos, la tensión 1033 de von Mises es mayor o igual a aproximadamente 0.30. En otros ejemplos ilustrativos, la tensión 1033 de von Mises es mayor o igual a aproximadamente 0.40. En otros ejemplos ilustrativos, la tensión 1033 de von Mises está en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.30. En otros ejemplos ilustrativos adicionales, la tensión 1033 de von Mises está en un intervalo de aproximadamente 0.30 a aproximadamente 0.39.

En algunos ejemplos ilustrativos, la tensión 1035 de von Mises es mayor o igual que aproximadamente 0.30. En otros ejemplos ilustrativos, la tensión 1035 de von Mises es mayor o igual a aproximadamente 0.40. En otros ejemplos ilustrativos, la tensión 1035 de von Mises está en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.30. En aún otros ejemplos ilustrativos adicionales, la tensión 1035 de von Mises está en un intervalo de aproximadamente 0.30 a aproximadamente 0.39.

La tensión de von Mises de un material se puede calcular de acuerdo con la ecuación 1:

$$\epsilon_{VM} = \left\{ \frac{1}{2} [(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_3)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

donde  $\epsilon_{VM}$  representa la tensión de von Mises, y  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  y  $\epsilon_3$  son las tensiones principales en los tres planos principales. Los valores de  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  y  $\epsilon_3$  para un material particular (por ejemplo, las resinas poliméricas con distorsión descritas aquí) pueden determinarse experimentalmente, por ejemplo, mediante un análisis mecánico de materiales. Los valores de  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  y  $\epsilon_3$  para un material particular (por ejemplo, las resinas poliméricas con distorsión descritas aquí) también pueden predecirse, por ejemplo, mediante un método de análisis de elementos finitos (FEA).

En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede comprender un número de resinas epoxi con distorsión. Como se usa aquí, una "resina epoxi con distorsión" se refiere a una resina epoxi que tiene una tensión de von Mises mayor o igual a aproximadamente 0.25. En algunos ejemplos ilustrativos, una "resina epoxi con distorsión" tiene una tensión de von Mises en un intervalo de aproximadamente 0.25 a aproximadamente 0.45. En un ejemplo ilustrativo, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión comprende resina epoxi fenil-isopropil-fenil-isopropil-fenil. En un ejemplo ilustrativo, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión comprende una resina epoxi de metilina-fenilo sustituida con fenil-metilo.

En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión comprende al menos una resina epoxi y al menos una amina, tal como una diamina. Las resinas epoxi pueden incluir, por ejemplo, al menos una resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F, diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno, diglicidil éter de bisfenol-A, o cualquier otra resina epoxi adecuada. Las aminas pueden incluir, por ejemplo, al menos uno de 4,4' bis(3-aminofenoxi)difenilsulfona, 3,3' diamino difenilsulfona, 1,3 bis(3-aminofenoxi)benceno, 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano, 1,3 bis(3-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano u otras aminas adecuadas. En tales ejemplos ilustrativos, la cantidad del componente de amina puede estar en un intervalo de aproximadamente 24 por ciento en peso (% en peso) a aproximadamente 65% en peso con base en el peso total de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión. En algunos ejemplos ilustrativos, la cantidad de la amina puede ser mayor o igual a aproximadamente 30% en peso con base en el peso total de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión. En algunos ejemplos ilustrativos, la cantidad de la amina puede estar en un intervalo de aproximadamente 30% en peso a aproximadamente 65% en peso con base en el peso total de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión.

En algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión tiene una tensión de von Mises mayor o igual a aproximadamente 0.30 y comprende al menos una de resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 4,4' bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona; resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 3,3' diamino difenilsulfona; resina epoxi trifuncional novolaca con base en bisfenol F y 1,3 bis(3-aminofenoxi)benceno; diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno y 4,4' bis(3-aminofenoxi)difenilsulfona; diglicidil éter de bisfenol-A y 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano; diglicidil éter de bisfenol-A y 3,3' diaminodifenilsulfona; o diglicidil éter de bisfenol-A y 1,3 bis(3-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano. En un ejemplo ilustrativo, el recubrimiento 1030 por resina con distorsión comprende diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno y 4,4' bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona.

Un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede comprender uno o más componentes de resina con distorsión disponibles comercialmente. Un ejemplo de una resina epoxi disponible comercialmente adecuada para uso como un componente de resina con distorsión en varios ejemplos ilustrativos aquí es la resina epoxi novolaca

trifuncional con base en bisfenol F, que se puede obtener de Dow Chemical Company de Midland, Michigan bajo el nombre comercial D.E.N. (por ejemplo, D.E.N.431). Un ejemplo de una diamina disponible comercialmente adecuada para su uso como un componente de resina con distorsión en varios ejemplos ilustrativos aquí es 3,3 'diaminodifenilsulfona, que se puede obtener de, por ejemplo, Showa Kako de Osaka, Japón bajo el nombre comercial 3,3'- DDS

El recubrimiento 1030 por resina con distorsión está presente en el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra como un recubrimiento sobre la pluralidad de fibras 1024. El espesor del recubrimiento 1030 por resina con distorsión sobre la pluralidad de fibras 1024 puede ser uniforme, variable o una combinación de los mismos. La composición del recubrimiento 1030 por resina con distorsión puede ser heterogénea, homogénea o una combinación de los mismos.

El recubrimiento 1030 por resina con distorsión comprende un número de capas 1032. Cada capa de un número de capas 1032 puede comprender una o más resinas poliméricas con distorsión de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión. En algunos ejemplos ilustrativos, un número de capas 1032 comprende una sola capa de resina polimérica con distorsión. En otros ejemplos ilustrativos, un número de capas 1032 comprende dos o más capas diferentes de resina polimérica con distorsión. En tales ejemplos ilustrativos, el índice de von Mises de las capas individuales de un número de capas 1032 puede ser el mismo y/o diferente de las otras capas de un número de capas 1032.

Como se muestra, un número de capas 1032 tiene la primera capa 1037 y la segunda capa 1039. En algunos ejemplos ilustrativos, la primera capa 1037 cubre la pluralidad de fibras 1024 mientras que la segunda capa 1039 cubre la primera capa 1037. En estos ejemplos ilustrativos, la primera capa 1037 comprende la primera resina 129 polimérica con distorsión que tiene tensión 1033 de von Mises. En estos ejemplos ilustrativos, la segunda capa 1039 comprende la segunda resina 131 polimérica con distorsión que tiene la tensión 1035 de von Mises. En un ejemplo ilustrativo, la tensión 1035 de von Mises es mayor que la tensión 1033 de von Mises. En otro ejemplo ilustrativo, la tensión 1035 de von Mises es mayor que la tensión 1033 de von Mises y la tensión 1025 de von Mises.

En algunos ejemplos ilustrativos, las tensiones de von Mises de capas sucesivas de un número de capas 1032 disminuyen a medida que aumenta el número de capas que intervienen entre cada capa individual y la pluralidad de fibras 1024. En uno de tales ejemplos ilustrativos, un número de capas 1032 incluye la primera capa 1037 que cubre la pluralidad de fibras 1024, la segunda capa 1039 que cubre la primera capa 1037 y, opcionalmente, una tercera capa que cubre la segunda capa 1039. En este ejemplo ilustrativo, una tensión de von Mises de la primera capa 1037 es mayor que una tensión de von Mises de la segunda capa 1039, la tensión de von Mises de la segunda capa 1039 es mayor que una tensión de von Mises de la tercera capa, y las tensiones de von Mises de las capas primera, segunda y tercera son todas mayores que la tensión 1025 de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica.

En algunos ejemplos ilustrativos, el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra comprende preforma 1027 de fibra recubierta con un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión e impregnada con la matriz 1022 de resina polimérica. En uno de estos ejemplos ilustrativos, la preforma 1027 de fibra impregnada y recubierta se ha curado. En otro ejemplo ilustrativo de este tipo, la preforma 1027 de fibra impregnada y recubierta no está curada o está parcialmente curada y tiene una vida de adhesión mayor que una vida de adhesión de al menos una resina polimérica con distorsión en un número resinas 1026 poliméricas con distorsión.

Como se describió brevemente anteriormente, el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra puede comprender la región 1028 de interfase con distorsión dispuesta entre la pluralidad de fibras 1024 y la matriz 1022 de resina polimérica. La región 1028 de interfase con distorsión puede definir la totalidad o parte de una región en el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra que experimenta una alta tensión de cizallamiento al aplicar una fuerza aplicada al material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra. La región 1028 de interfase con distorsión puede estar formada por el recubrimiento 1030 por resina con distorsión. La región 1028 de interfase con distorsión puede incluir al menos una porción de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión del recubrimiento 1030 por resina con distorsión. La región 1028 de interfase con distorsión puede estar unida a al menos uno de los grupos funcionales químicos de la pluralidad de fibras 1024 o grupos funcionales químicos de la matriz 1022 de resina polimérica.

Sin desear estar limitado por la teoría, se cree que la alta tensión de cizallamiento en la región 1028 de interfase con distorsión puede deberse a un desajuste entre una rigidez elástica de la pluralidad de fibras 1024 y una rigidez elástica de la matriz 1022 de resina polimérica. Una vez más, sin querer limitarse a la teoría, se cree que la región 1028 de interfase con distorsión puede mejorar el rendimiento mecánico general del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra al proporcionar una respuesta con distorsión a la aplicación de una fuerza aplicada al material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra. Una respuesta con distorsión también se puede denominar respuesta desviatoria y es un cambio de forma.

En varios ejemplos ilustrativos, el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra puede caracterizarse por una relación de la tensión de von Mises de la región 1028 de interfase con distorsión a la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica. En un ejemplo ilustrativo, la relación de la tensión de von Mises de la región 1028 de interfase con distorsión a la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica es mayor o igual a

aproximadamente 1.04. En otro ejemplo ilustrativo, la relación de la tensión de von Mises de la región 1028 de interfase con distorsión a la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica está en un intervalo de aproximadamente 1.04 a aproximadamente 1.25. En otro ejemplo ilustrativo más, la relación de la tensión de von Mises de la región 1028 de interfase con distorsión a la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica es mayor o igual a aproximadamente 1.25. En otro ejemplo ilustrativo más, la relación de la tensión de von Mises de la región 1028 de interfase con distorsión a la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica es un intervalo de aproximadamente 1.25 a aproximadamente 1.63. En otro ejemplo ilustrativo más, la relación de la tensión de von Mises de la región 1028 de interfase con distorsión a la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica es mayor o igual a aproximadamente 1.63.

Se pueden lograr ahorros de peso en vehículos, tales como aeronaves, incorporando material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra que contiene el recubrimiento 1030 por resina con distorsión. El material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra que contiene una pluralidad de fibras 1024 recubiertas con un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede exhibir características de soporte de carga mejoradas, libra por libra, en comparación con los materiales compuestos convencionales de resina reforzada con fibra que no tienen recubrimiento 1030 por resina con distorsión. Las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen y tienen en cuenta que la utilización de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión como recubrimiento 1030 por resina con distorsión para la pluralidad de fibras 1024 del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra permite requisitos de rendimiento mecánico y tolerancias de diseño de componentes estructurales para vehículos, tales como aviones, que deben cumplirse utilizando menos material del que se requeriría si se usaran materiales compuestos de resina reforzada con fibra convencionales que no tienen recubrimiento 1030 por resina con distorsión, reduciendo así el peso del vehículo y los costes operativos sensibles al peso.

El recubrimiento de la pluralidad de fibras 1024 con un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión antes de impregnar la pluralidad de fibras 1024 con un número de resinas 1023 de matriz polimérica puede ser un método deseable para producir material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra y artículos que comprenden dichos materiales compuestos de resina reforzada con fibra. Las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen y tienen en cuenta que el recubrimiento de la pluralidad de fibras 1024 del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra con un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión antes de impregnar la pluralidad de fibras 1024 con un número de resinas 1023 de matriz polimérica puede aumentar deseablemente la separación final entre los filamentos individuales de la pluralidad de fibras 1024 en el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra resultante. El aumento de la separación entre filamentos individuales de una pluralidad de fibras 1024 en el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra reduce las tensiones residuales que pueden desarrollarse, por ejemplo, en laminados de capas múltiples durante un enfriamiento posterior al curado de un proceso de fabricación de múltiples laminados de capas. Las diferentes realizaciones ilustrativas reconocen y tienen en cuenta que el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra curado con menos tensiones residuales internas puede tener una mejor capacidad de soporte de carga y/o vida de fatiga que los materiales compuestos de resina reforzada con fibras con tensiones residuales internas más altas.

La ilustración del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra en la Figura 10 no pretende implicar limitaciones físicas o arquitectónicas a la manera en que se puede implementar una realización ilustrativa. Se pueden usar otros componentes además o en lugar de los ilustrados. Algunos componentes pueden ser innecesarios. Además, los bloques se presentan para ilustrar algunos componentes funcionales. Uno o más de estos bloques se pueden combinar, dividir, o combinar y dividir en diferentes bloques cuando se implementan en una realización ilustrativa.

Por ejemplo, como se representa, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión comprende la primera resina 129 polimérica con distorsión y la segunda resina 131 polimérica con distorsión. Sin embargo, en algunos ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión solo puede comprender la primera resina 129 polimérica con distorsión. En otros ejemplos ilustrativos, un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede comprender más que la primera resina 129 polimérica con distorsión y la segunda resina 131 polimérica con distorsión.

Como otro ejemplo, como se muestra, un número de capas 1032 tiene la primera capa 1037 y la segunda capa 1039. Sin embargo, en algunos ejemplos ilustrativos, un número de capas 1032 solo puede comprender la primera capa 1037. En otros ejemplos ilustrativos, un número de capas 1032 puede comprender más capas que la primera capa 1037 y la segunda capa 1039.

En algunos ejemplos ilustrativos, el número de capas 1032 puede comprender además una tercera capa. La primera capa 1037 puede comprender la primera resina 129 polimérica con distorsión y cubrir una pluralidad de fibras 1024. La segunda capa 1039 puede comprender la segunda resina 131 polimérica con distorsión y cubrir la primera capa 1037. La tercera capa puede comprender una tercera resina polimérica con distorsión y cubrir la segunda capa.

Volviendo ahora a la Figura 11, se ilustra una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso 1100 para formar el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra de acuerdo con un ejemplo ilustrativo. El proceso 1100 puede implementarse para formar el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra de la Figura 10.

El proceso 1100 puede comenzar seleccionando componentes en bruto (operación 1110). Los componentes en bruto seleccionados son los componentes en bruto que se van a usar en la fabricación del material 1020 compuesto de

resina reforzada con fibra. La selección de componentes en bruto comprende seleccionar un número de resinas poliméricas con distorsión no curadas y/o componentes de resinas con distorsión de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión, un número de materiales de matriz resinosos no curados y una pluralidad de fibras 1024. En algunos ejemplos ilustrativos, seleccionar componentes en bruto incluye seleccionar un agente de curado.

- 5 La selección de componentes en bruto puede incluir la elección de componentes en bruto de manera que el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra tenga propiedades de material deseables. Además, la selección de componentes en bruto puede incluir elegir cantidades y/o cantidades relativas de uno o más de los componentes en bruto.

10 El proceso 1100 puede entonces preparar un número no curado de resinas poliméricas con distorsión (operación 1120). Un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión preparadas a partir de los componentes de resina con distorsión. La preparación de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión no curadas puede incluir combinar los componentes de resina con distorsión. Los componentes combinados de resina con distorsión se pueden mezclar y/o combinar de acuerdo con métodos estándar de mezclar composiciones de polímeros a partir de componentes poliméricos conocidos por los expertos en la técnica, formando así un número no curado de resinas 1026 poliméricas con distorsión. En varios ejemplos ilustrativos, los componentes combinados de resina con distorsión se mezclan y/o combinan de manera que un número no curado resultante de resinas 1026 poliméricas con distorsión es una mezcla heterogénea y uniforme de los componentes de resina con distorsión. En algunos ejemplos ilustrativos, la selección de componentes en bruto implica elegir componentes de resina con distorsión que formarán una resina polimérica con distorsión que tenga una tensión de von Mises mayor que aproximadamente 0.25 al combinar y curar los componentes de resina con distorsión.

El proceso 1100 puede recubrir entonces una pluralidad de fibras 1024 con el número no curado de resinas 1026 poliméricas con distorsión (operación 1130). En varios ejemplos ilustrativos, se puede aplicar un número no curado de resinas 1026 poliméricas con distorsión como una resina con alto contenido de sólidos a una pluralidad de fibras 1024 usando una técnica de fusión en caliente.

25 En otros ejemplos ilustrativos, un número no curado de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede aplicarse a la pluralidad de fibras 1024 usando un proceso de inmersión en solución. En un proceso de inmersión en solución, se pasa una pluralidad de fibras 1024 a través de un baño de solución que contiene un número no curado de resinas 1026 poliméricas con distorsión. A medida que las fibras pasan a través de la solución, los componentes de resina con distorsión se acumulan en las fibras como un recubrimiento. Luego, las fibras se secan, se evapora el solvente desde el recubrimiento y se hacen reaccionar parcialmente los componentes de resina con distorsión para formar una resina polimérica con distorsión parcialmente curada. En uno de estos ejemplos ilustrativos, los componentes de resina con distorsión comprenden una o más resinas epoxi con distorsión y una o más aminas con distorsión se disuelven en un solvente para formar una solución. La pluralidad de fibras 1024 se pasa a través de la solución de resina epoxi con distorsión y amina con distorsión, y la resina epoxi con distorsión y la amina con distorsión se acumulan en las fibras como un recubrimiento. Las fibras recubiertas con la resina con distorsión y la amina con distorsión se secan, evaporando el disolvente y haciendo reaccionar parcialmente la resina epoxi con distorsión con la amina con distorsión.

40 En algunos ejemplos ilustrativos, el recubrimiento de la pluralidad de fibras 1024 con un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión da como resultado la primera capa 1037. En algunos ejemplos ilustrativos, el recubrimiento de la pluralidad de fibras 1024 con un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión da como resultado más de una capa de resinas 1026 poliméricas con distorsión. En ejemplos ilustrativos en los que están presentes múltiples capas, se pueden aplicar capas adicionales de resina polimérica con distorsión de acuerdo con el proceso utilizado para aplicar la primera capa de recubrimiento. Por ejemplo, si la primera capa de recubrimiento se aplicó usando la técnica de fusión en caliente, la técnica de fusión en caliente también se puede usar para aplicar una o más capas de recubrimiento adicionales de resina polimérica con distorsión no curada sobre la primera capa de recubrimiento de resina polimérica con distorsión no curada. En otros ejemplos ilustrativos, la una o más capas de recubrimiento adicionales de resina polimérica con distorsión se pueden aplicar de acuerdo con un proceso diferente del proceso utilizado para aplicar la primera capa de recubrimiento. Por ejemplo, si el primer recubrimiento se aplicó usando el proceso de inmersión en solución, la técnica de fusión en caliente se puede usar para aplicar una o más capas de recubrimiento adicionales de resina polimérica con distorsión sobre la primera capa de recubrimiento de resina polimérica con distorsión parcialmente curada. En otros ejemplos ilustrativos más, se pueden aplicar capas de recubrimiento adicionales de resina polimérica con distorsión usando diferentes técnicas. En un ejemplo ilustrativo, se aplica una segunda capa de recubrimiento de una segunda resina polimérica con distorsión sobre la primera capa de recubrimiento usando la técnica de fusión en caliente y se aplica un tercer recubrimiento de una tercera resina polimérica con distorsión sobre la primera capa de recubrimiento usando el proceso de inmersión en solución.

55 En varios ejemplos ilustrativos, cada una de las capas de recubrimiento de resinas poliméricas con distorsión no curadas corresponde a una de las capas de recubrimiento 1030 por resina con distorsión en la Figura 10. En algunos ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 puede recubrirse con dos o más capas de resina polimérica con distorsión, donde las dos o más capas tienen diferentes valores de tensión de von Mises. En algunos ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 puede recubrirse con una primera capa de resina polimérica con distorsión que tiene una primera tensión de von Mises mayor que la tensión de von Mises 1025 de matriz 1022 de resina polimérica, y la primera capa de resina polimérica con distorsión está recubierta con una segunda capa de resina polimérica con

distorsión que tiene una segunda tensión de von Mises mayor que la primera tensión de von Mises y la tensión de von Mises de la matriz 1022 de resina polimérica. En otros ejemplos ilustrativos, la pluralidad de fibras 1024 puede recubrirse con dos o más capas de resina con distorsión y los valores de las tensiones de von Mises de las capas individuales de resina con distorsión disminuyen sucesivamente al aumentar la distancia desde la pluralidad de fibras 1024. Es decir, los valores de las tensiones de von Mises de las capas individuales disminuyen en orden desde la pluralidad de fibras 1024, con la capa de resina con distorsión cubriendo directamente la pluralidad de fibras 1024 que tiene la mayor tensión de von Mises de las capas individuales y la capa directamente cubierta por la matriz 1022 de resina polimérica con la menor tensión de von Mises de las capas individuales.

No deseando limitarse a la teoría, se cree que el recubrimiento 1030 por resina con distorsión que comprende capas de resina polimérica con distorsión que tiene tensiones de von Mises que disminuyen sucesivamente, actúa como un gradiente de deformación con distorsión que puede proporcionar varios materiales compuestos de resina reforzada con fibra con capacidades de deformación con distorsión mejoradas adicionalmente

El proceso 1100 puede entonces incrustar una pluralidad de fibras 1024 recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión en la matriz 1022 de resina polimérica (operación 1140). El proceso 1100 puede entonces impregnar una pluralidad de fibras 1024 recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión con un material de matriz resinoso no curado (operación 1150). La impregnación de la pluralidad de fibras 1024 recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión puede realizarse simultáneamente con la incrustación de las fibras recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión en la matriz 1022 de resina polimérica. En otras palabras, la incrustación puede comprender la impregnación de las fibras recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión con un material de matriz de resina sin curar.

La impregnación se puede llevar a cabo de acuerdo con técnicas bien conocidas por aquellos de habilidad ordinaria en la técnica, en formas adecuadas para impregnar fibras de materiales compuestos de resina reforzada con fibras con materiales de matriz resinosos. En varios ejemplos ilustrativos, el preimpregnado resinoso no curado o parcialmente curado resultante puede tomar al menos una forma de material compuesto seleccionado de cables preimpregnados, cintas preimpregnadas o telas preimpregnadas.

Aunque el término "impregnación" se usa aquí, en ejemplos ilustrativos en los que la pluralidad de fibras 1024 está en forma de preforma 1027 de fibra, la operación 1150 se puede denominar infusión de resina. En otras palabras, en la operación 1150, las preformas de fibra tales como la preforma 1027 de fibra pueden experimentar infusión de resina.

En otras palabras, en algunos ejemplos ilustrativos, el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra puede fabricarse de acuerdo con el proceso de infusión de resina representado por los bloques 36, 37 y 38 descritos anteriormente en relación con la Figura 9. Sin embargo, en algunos ejemplos ilustrativos, el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra puede fabricarse de acuerdo con el proceso de infusión de resina representado por los bloques 40 y 42 descritos anteriormente en relación con la Figura 9.

El proceso 1100 puede entonces curar la primera resina 129 polimérica con distorsión y el material de matriz resinoso no curado y formar la matriz 1022 de resina polimérica a partir de material de matriz resinoso no curado (operación 1160). Como resultado del curado, la matriz 1022 de resina polimérica puede formarse a partir del material de matriz resinoso no curado, y el recubrimiento 1030 de resina con distorsión que comprende un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión puede formarse a partir del número de resinas poliméricas con distorsión no curadas y/o parcialmente curadas. Por lo tanto, el curado de la primera resina 129 polimérica con distorsión y el material de matriz resinoso no curado se puede realizar simultáneamente o sustancialmente de manera simultánea con la incrustación de las fibras recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión en la matriz 1022 de resina polimérica. En otras palabras, la incrustación puede comprender la impregnación de las fibras recubiertas con la primera resina 129 polimérica con distorsión con un material de matriz de resina sin curar.

En algunos ejemplos ilustrativos, el curado puede llevarse a cabo en un autoclave. En estos ejemplos ilustrativos, el curado se realiza a temperaturas y presiones elevadas. En un ejemplo ilustrativo, el curado se puede llevar a cabo aplicando un vacío a una bolsa de vacío que cubre el material de matriz resinoso no curado. Mientras se aspira un vacío dentro de la bolsa de vacío, se puede aplicar una presión de 80 a 95 psig en el autoclave. Mientras aumenta la presión dentro del autoclave, el calentamiento puede tener lugar incluyendo al menos una de las regiones de aumento, retención o enfriamiento. En algunos ejemplos ilustrativos, el aumento puede incluir una tasa de calentamiento de aproximadamente 1 grado Fahrenheit a aproximadamente 5 grados Fahrenheit. La región de retención puede tener una temperatura de aproximadamente 345 grados Fahrenheit a aproximadamente 365 grados Fahrenheit. Una región de enfriamiento puede incluir una tasa máxima de enfriamiento de aproximadamente 5 grados Fahrenheit.

En varios ejemplos ilustrativos, el curado se puede llevar a cabo en la presencia de un agente de curado. En algunos ejemplos ilustrativos, el agente de curado puede facilitar la reacción del material de matriz resinoso no curado en la matriz 1022 de resina polimérica (por ejemplo, aumentando la tasa y/o grado de reacción). En algunos ejemplos ilustrativos, el agente de curado puede facilitar la reacción del material de matriz resinoso no curado y/o matriz 1022 de resina polimérica con recubrimiento 1030 por resina con distorsión para formar la región 1028 de interfase con distorsión. En algunos ejemplos ilustrativos, el agente de curado puede reaccionar y combinarse con el material de matriz resinoso no curado, por lo que el agente de curado se convierte en parte de la matriz 1022 de resina polimérica.

- 5 En algunos ejemplos ilustrativos, el agente de curado puede reaccionar y combinarse con el recubrimiento 1030 por resina con distorsión y/o el material de matriz resinoso no curado en el límite exterior del recubrimiento 1030 por resina con distorsión, por lo que el agente de curado se convierte en parte de una región de transiciones del material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra de resina polimérica con distorsión a matriz 1022 de resina polimérica. En un ejemplo ilustrativo, el material de matriz resinosa no curado se cura en la presencia de un agente de curado que comprende monómeros de diaminodifenilsulfona. En un ejemplo ilustrativo, un material de matriz resinoso no curado que comprende al menos uno de resina epoxi bisfenol A o resina epoxi bisfenol F se cura en la presencia de un agente de curado que comprende monómeros de diaminodifenilsulfona.
- 10 En algunos ejemplos ilustrativos, el proceso 1100 luego forma la región 1028 de interfase con distorsión entre la pluralidad de fibras 1024 y la matriz 1022 de resina polimérica (operación 1170), terminando posteriormente el proceso. Esta operación puede ser opcional. En algunos ejemplos ilustrativos, puede no formarse una región de interfase con distorsión. La formación de la región de interfase con distorsión se puede realizar de manera simultánea o sustancialmente de manera simultánea con la incrustación de las fibras recubiertas con la primera resina polimérica con distorsión en la matriz de resina polimérica.
- 15 Dependiendo del grado de curado alcanzado por el curado, la región 1028 de interfase con distorsión puede estar formada por el recubrimiento 1030 por resina con distorsión entre la pluralidad de fibras 1024 y la matriz 1022 de resina polimérica. La región 1028 de interfase con distorsión puede ser químicamente y estructuralmente distinta de la matriz 1022 de resina polimérica. La región 1028 de interfase con distorsión puede estar unida a al menos uno de los grupos químicos funcionales de fibras de la pluralidad de fibras 1024 o grupos químicos funcionales de la matriz 20 1022 de resina polimérica.
- Los diagramas de flujo y los diagramas de bloques en las diferentes realizaciones ilustradas ilustran la arquitectura, la funcionalidad y el funcionamiento de algunas implementaciones posibles de aparatos y métodos en una realización ilustrativa. A este respecto, cada bloque en los diagramas de flujo o diagramas de bloques puede representar un módulo, un segmento, una función y/o una parte de una operación o paso.
- 25 En algunas implementaciones alternativas de una realización ilustrativa, la función o funciones indicadas en los bloques pueden ocurrir fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, sin limitación, en algunos casos, dos bloques mostrados en sucesión pueden ejecutarse de manera sustancialmente simultánea, o los bloques pueden realizarse a veces en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada. Además, se pueden agregar otros bloques además de los bloques ilustrados en un diagrama de flujo o diagrama de bloques. Además, algunos 30 bloques pueden ser opcionales.
- Por ejemplo, como se describió anteriormente, las operaciones 1140, 1150, 1160 y 1170 pueden realizarse simultáneamente o sustancialmente de manera simultánea. Además, la operación 1170 pueden no realizarse. Aún más, las operaciones 1110, 1120 y 1130 pueden no ser realizadas por los mismos actores que las operaciones restantes. Como resultado, un actor puede realizar el proceso 1100 a partir de la operación 1140.
- 35 Haciendo referencia a continuación a las Figuras 12 y 13, se pueden usar ejemplos ilustrativos de la divulgación en el contexto de un método 46 de fabricación y servicio de aeronaves como se muestra en la Figura 12 y una aeronave 48 como se muestra en la Figura 13. Durante la preproducción, el método 46 a manera de ejemplo puede incluir la especificación y el diseño 50 de la aeronave 48 y la adquisición 52 de material. Durante la producción, tiene lugar la fabricación 54 de componentes y subconjuntos y la integración 56 de sistema de la aeronave 48. Durante el paso 54, 40 el método y el aparato divulgados pueden emplearse para fabricar partes de material compuesto que forman partes que luego se ensamblan en el paso 56. A partir de entonces, la aeronave 48 puede pasar por la certificación y entrega 58 para ser puesta en servicio 60. Mientras está en servicio por un cliente, la aeronave 48 puede ser programada para mantenimiento y servicio 62 de rutina (que también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación, y así sucesivamente).
- 45 Cada uno de los procesos del método 46 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). A los fines de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una empresa de arrendamiento financiero, una entidad militar, una organización de servicios, 50 y así sucesivamente.
- Como se muestra en la Figura 13, la aeronave 48 producida por el método 46 a manera de ejemplo puede incluir una aeronave 64 con una pluralidad de sistemas 66 y un interior 68. El método y el aparato divulgados pueden emplearse para fabricar partes de material compuesto que forman parte de la aeronave 64 o interior 68. Ejemplos de sistemas 66 de alto nivel incluyen uno o más de un sistema 70 de propulsión, un sistema 72 eléctrico, un sistema 74 hidráulico 55 y un sistema 76 ambiental. Se pueden incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación pueden aplicarse a otras industrias, como la industria automotriz.

El aparato realizado aquí puede emplearse durante una cualquiera o más de las etapas del método de producción y servicio 46. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso 54 de producción pueden fabricarse o manufacturarse de manera similar a los componentes o subconjuntos producido mientras la aeronave 48 está en servicio. Además, se pueden utilizar uno o más ejemplos ilustrativos del aparato durante las etapas 54 y 56 de producción, por ejemplo, agilizando sustancialmente el ensamblaje de o reduciendo el coste de una aeronave 48. De manera similar, se pueden utilizar uno o más ejemplos ilustrativos del aparato mientras la aeronave 48 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para mantenimiento y servicio 62.

**Ejemplos**

Los siguientes ejemplos proporcionan ejemplos de resinas con distorsión. Estas resinas con distorsión pueden ser ejemplos de un número de resinas 1026 poliméricas con distorsión de la Figura 10. En los Ejemplos 1-13, se usan técnicas computacionales y experimentales para identificar varias resinas con distorsión que pueden ser adecuadas para uso en el material 1020 compuesto de resina reforzada con fibra divulgado aquí. El Ejemplo 1 demuestra la relación entre la estructura molecular y la composición de una resina epoxi y el valor de la tensión de von Mises de la resina epoxi. Los Ejemplos 2-11 divulgan tensiones de von Mises determinadas experimentalmente de diversas composiciones de resina con distorsión. Los Ejemplos 12-13 divulgan tensiones de von Mises determinadas por técnicas químicas cuantitativas para diversas composiciones de resina con distorsión.

Metodología de la investigación.

Usando una combinación de simulación por ordenador y formulación química experimental, se han identificado un número de formulaciones de epoxi-amina (tales como formulaciones que comprenden al menos una diamina y al menos una resina epoxi como se divulga aquí) que exhiben un aumento en la tensión de von Mises con respecto a muchos materiales existentes comercialmente disponibles.

El modelado por ordenador se realizó usando simulaciones de dinámica molecular en el paquete de software Materials Studio de Accelrys de San Diego, CA. Cuando se usó el modelado por ordenador, los valores de von Mises se obtuvieron a partir de las propiedades de alargamiento- tensión por compresión derivadas de simulaciones de dinámica molecular de polímeros dendríticos producidos a partir de cada combinación de amina y epoxi evaluada.

La metodología de formulación intentó mejorar la tensión de von Mises seleccionando estructuras químicas que contenían ciertas características moleculares clave y maximizaban la cantidad utilizada dentro de las limitaciones de una forma de producto manejable de producción. Las estructuras de aminas específicas seleccionadas tienen porciones orgánicas que contribuyen sustancialmente a la distorsión general del sistema. Han sido seleccionadas por sus anillos de fenilo rígidos alternativos y centros de hibridación de enlace sp3 rotativos, tal como grupos éter, metileno, isopropilo o sulfona que permiten que la unidad estructural amina descargue numerosas configuraciones de torsión cuando se somete a cargas aplicadas externamente. Las conformaciones consideradas son disposiciones espaciales específicas de átomos o grupos de la molécula en la medida en que las disposiciones están determinadas por una especificación de los ángulos de torsión. Los componentes epoxi disponibles anteriormente no tienen configuraciones similares y se han seleccionado históricamente porque son líquidos y, como tales, imparten pegajosidad para facilitar la manipulación de la formulación final.

La medición de la tensión de von Mises requiere la fabricación y prueba de una lámina de material compuesto. La orientación de la fibra del cupón de prueba se puede establecer en 10 grados con respecto a la dirección de aplicación de la carga. La tensión en el momento de la falla, tal como se define por fractura catastrófica, puede registrarse y analizarse utilizando un código comercial de Análisis de Elementos Finitos para la determinación del valor máximo de las tensiones principales dentro del cuerpo del espécimen en el instante de la falla. Las principales tensiones pueden usarse luego como valores de entrada a la ecuación de von Mises para la determinación de la tensión crítica de von Mises.

**Ejemplo 1: Estructura de resina epoxi y tensión de von Mises.**

La Tabla 2 muestra la tensión de von Mises para una serie de epoxis di-glicidílicos. DEN431 se proporciona en la tabla como referencia. Los resultados demuestran que al agregar sustancias a la cadena, pueden producirse mayores resultados de la tensión de von Mises. Por ejemplo, fenilo tiene una tensión de von Mises de 0.068, mientras que fenil-isopropil-fenilo tiene una tensión de von Mises de 0.237, y fenil-isopropil-fenil-isopropil-fenilo tiene una tensión de von Mises de 0.386.

Tabla 2

Tensiones de Von Mises de Resinas Epoxi de Di-glicidil Seleccionadas	
Composición	Tensión de Von Mises
fenil-isopropil-fenilo	0.237

fenil-isopropil-fenil-isopropil-fenilo	0.386
fenil-metilen-fenilo	0.178
fenil-sulfona-fenilo	0.223
-fenil-	0.068
fenil-sulfuro-fenil	0.159
fenil-metil substit. con metilen-fenilo	0.283
fenil-isopropil-fenil-éter-2hidroxi propil-éter-fenil-isopropil-fenil	0.182
DEN 431 - fenil-metilen-fenil-	0.237

### Ejemplos 2-13: Composiciones de resina con distorsión de epoxi y amina.

Una composición típica de la técnica anterior es el Sistema SOTA con IM-7 cuya prueba ha demostrado que tiene una tensión de von Mises de aproximadamente 0.19, que es un resultado de tensión de von Mises bastante típico para las composiciones de la técnica anterior. Las formulaciones de resina epoxi del estado de la técnica para materiales compuestos son generalmente secretos comerciales, pero una formulación genérica típica consistiría en un epoxi tal como MY721 o tetraglicidil 4,4'-diamino difenilmetano y 44DDS o 4,4'-diaminodifenilsulfona mezclada en una relación de aproximadamente 20 a 40% en peso de amina a epoxi. Un valor típico de la tensión de von Mises para una formulación como ésta, está en el intervalo de 0.15 a 0.19. Las siete de las siguientes composiciones divulgadas han mejorado sustancialmente los resultados de la tensión de von Mises, como se expone a continuación y se expone en la TABLA 3.

#### Ejemplos 2 y 3.

Por ejemplo, Los resultados experimentales han demostrado que la composición de DEN431 mezclada con 33DDS tiene una tensión de von Mises de 0.295 con un contenido de porcentaje en peso de amina de 28% a 0.345 con un contenido en peso de amina de 52%. El 28% de la formulación representa una relación de estequiometría 1:1.

#### Ejemplos 4 y 5.

Los resultados experimentales han demostrado que la composición de DEN431 mezclada con mBAPS tiene una tensión de von Mises de 0.322 con un contenido de porcentaje en peso de amina de 41% a 0.342 con un contenido en peso de amina de 65%. El 41% de la formulación representa una relación de estequiometría 1:1.

#### Ejemplos 6 y 7.

Los resultados experimentales han demostrado que la composición de Tactix123 mezclada con 33DDS tiene una tensión de von Mises de 0.294 con un contenido de porcentaje en peso de amina de 27% a 0.345 con un contenido en peso de amina de 43%. El 27% de la formulación representa una relación de estequiometría 1:1.

#### Ejemplos 8 y 9.

Los resultados experimentales han demostrado que la composición de DEN431 mezclada con APB133 tiene una tensión de von Mises de 0.313 con un contenido de porcentaje en peso de amina de 32% a 0.37 con un contenido en peso de amina de 56%. El 32% de la formulación representa la relación de estequiometría 1:1.

#### Ejemplos 10 y 11.

Los resultados experimentales han demostrado que la composición de diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno (Bis M) mezclada con metaBAPS tiene una tensión de von Mises de 0.41 con un contenido de porcentaje en peso de amina de 24% a 0.42 con un contenido de porcentaje en peso de amina de 32%. El 32% de la formulación de contenido en peso es la mezcla de estequiometría.

#### Ejemplo 12.

Las simulaciones por ordenador han demostrado que la composición de 1,3 bis(4-aminofenoxy)-2, 2 dimetilpropano mezclada con epoxi Tactix123, con una relación estequiométrica 1:1 del 30% en peso de amina con 70% en peso de epoxi, tiene una tensión de von Mises de 0.31.

**Ejemplo 13.**

Las simulaciones por ordenador han demostrado que la composición de 1,3 bis(3-aminofenoxi)-2, 2 dimetilpropano mezclada con epoxi Tactix123, con una relación estequiométrica 1: 1 del 30% en peso de amina con 70% en peso de epoxi, tiene una tensión de von Mises de 0.32.

5

Tabla 3

Composiciones de Resina con Distorsión					
Ejemplo No.	Composiciones de Resina con Distorsión (Epoxi   Amina)	% en peso de Amina	Relación de estequiometría Epoxi: Amina	Tensión de Von Mises	Método usado para determinar la Tensión de von Mises
2	DEN431	28%	1:01	0.295	Experimental
	33DDS				
3	DEN431	52%	-	0.345	
	33DDS				
4	DEN 431	41%	1:01	0.322	
	mBAPS				
5	DEN 431	65%	-	0.342	
	mBAPS				
6	Tactix123 epoxi	27%	1:01	0.294	
	33DDS				
7	Tactix123 epoxi	43%	-	0.345	
	33DDS				
8	DEN431	32%	1:01	0.313	
	APB133				
9	DEN431	56%	-	.37	
	APB133				
10	diglicidil $\alpha, \alpha'$ -bis(4- hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno	24%	-	0.41	
	metaBAPS				
11	diglicidil $\alpha, \alpha'$ -bis(4- hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno	32%	1:01	0.42	
	metaBAPS				
12	1,3 bis(4-aminophenoxy)-2, 2 dimetilpropano	30%	1:01	0.31	Simulación de ordenador
	epoxi Tactix123				
13	1,3 bis(3-aminofenoxi)-2, 2 dimetil propano	30%	1:01	0.32	Simulación de ordenador
	epoxi Tactix123				

De estas pruebas y simulaciones por ordenador, las composiciones específicas que han exhibido mejoras en la tensión de von Mises incluyen las siguientes composiciones: (1) una sustancia DEN431 con una sustancia 33DDS; (2) una sustancia DEN 431 con una sustancia metaBAPS; (3) una sustancia Tactix123 con una sustancia 33DDS; (4) una sustancia DEN431 con una sustancia APB133; (5) una sustancia diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis (4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno (Bis M) con una sustancia metaBAPS; (6) una sustancia 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2, 2 dimetilpropano con una sustancia Tactix123; y (7) una sustancia 1,3 bis (3-aminofenoxi)-2, 2 dimetilpropano con una sustancia Tactix123.

La sustancia DEN431 comprende una resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F. La sustancia metaBAPS comprende una sustancia 4,4' bis(3-aminofenoxi)difenilsulfona. La sustancia Tactix123 comprende un diglicidil éter de sustancia bisfenol-A. La sustancia 33DDS comprende una sustancia de 3,3'diaminodifenilsulfona. La sustancia APB133 comprende una sustancia 1,3 bis(3-aminofenoxi)benceno. Cabe señalar que las siguientes sustancias son epoxis: DEN431; Tactix123; y diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis (4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno (Bis M). Del mismo modo, debe tenerse en cuenta que las siguientes sustancias son aminas: 33DDS; metaBAPS; APB133; 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2, 2 dimetilpropano; y 1,3 bis (3-aminofenoxi)-2, 2 dimetilpropano.

La base molecular de la capacidad de una matriz polimérica de experimentar una respuesta desviatoria a una fuerza aplicada se teoriza debido a un movimiento cooperativo de un volumen o segmento específico de la cadena polimérica. Los movimientos moleculares o la dinámica de la estructura polimérica incluyen vibración, flexión de enlaces y reordenamiento conformacional que pueden considerarse procesos independientes. La escala de la dinámica segmentaria puede estar determinada por el entorno molecular local y el número y las barreras de energía a los reordenamientos conformacionales. El entorno local puede estar limitado a la escala establecida por los entrecruzamientos formados durante la polimerización.

Las simulaciones de estos procesos indican que la carga macroscópica se manifiesta a nivel molecular como una desaparición continua de un mínimo de energía local debido al reordenamiento conformacional seguido de la relajación a un nuevo mínimo. La hiperesuperficie de energía potencial que representa la condición describe el material vítreo como una distribución de mínimos de energía en el espacio de fase, con puntos máximos y de silla de montar que definen la dinámica del sistema. Debido a que la tensión o deformación es una cantidad intensiva, es proporcional a la fracción del sistema involucrado en la relajación a un nuevo mínimo de energía. Por lo tanto, más estructuras moleculares que pueden experimentar exploración conformacional mejorarán la capacidad del polímero para experimentar una respuesta con distorsión macroscópica incrementada. Además, con base en la naturaleza intensiva de la deformación, también se ha encontrado que es válido usar un argumento volumétrico para cuantificar el potencial de mejora de ingredientes individuales.

Tanto los datos experimentales como las simulaciones por ordenador han indicado que las formulaciones de polímeros que tienen más conformaciones de rotación del esqueleto y una estructura optimizada para la exploración de conformaciones diédricas para maximizar la disipación de energía pueden exhibir una mayor capacidad de deformación con distorsión. Las características que pueden dar como resultado resinas poliméricas con distorsión incluyen anillos de fenilo rígidos alternos y centros de hibridación de enlace sp3 rotativos, como grupos éter, metileno, isopropilo o sulfona que permiten a la molécula descargar numerosas configuraciones torsionales. Por otro lado, los epoxis disfuncionales que contienen centros sp3 vinculados, como Tactix177, no han funcionado tan bien como las configuraciones de rotación rígida y libre alterna. La sustitución meta en lugar de para en los anillos de fenilo se ha visto cualitativamente como un medio para aumentar el posible número de conformadores potenciales.

Volviendo ahora a la Figura 14, se representa una ilustración de un gráfico del comportamiento de alargamiento frente a tensión para cupones de tracción de acuerdo con una realización ilustrativa. Los cupones consistían en cupones de 8 capas con una orientación de +10 grados y -10 grados. En este ejemplo ilustrativo, todas las fibras son de módulo intermedio y de alta resistencia. Específicamente, todas las fibras en los cupones son fibras IM-7.

Como se muestra, el gráfico 1400 comprende el alargamiento 1402, medido en libras por pulgada cuadrada (psi), y la tensión 1404, medida en pulgadas/pulgadas. Como se muestra, 1406 es un cupón de prueba formado por IM-7/K3B. Como se muestra, 1408 es un cupón de prueba formado por IM-7/8552. Como se muestra, 1410 es un cupón de prueba formado por IM-7/5250-4. Como se muestra, 1412 es un cupón de prueba formado por IM-7/977-3. K3B de 1406 es la única resina con distorsión alta representada. Ninguno de 1408, 1410 o 1412 incluye resinas de alta distorsión. Como se puede ver en el gráfico 1400, 1408 falla antes de la tensión 1404 de 0.007 pulgada/pulgada. Como se puede ver en el gráfico 1400, 1410 y 1412 fallan en la tensión 1404 de aproximadamente 0.007 pulgada/pulgada. Como se puede ver en el gráfico 1400, 1406 continúa más allá de la tensión 1404 de 0.013 pulgada/pulgada.

El cupón de prueba formado por IM-7/K3B 1406 tiene una fuerza mayor que los otros cupones de prueba. En este ejemplo ilustrativo, la resina K3B puede proporcionar una transferencia de carga más eficiente entre las fibras IM-7 a través de la resina. Los resultados indican que una mayor distorsión de la resina puede mejorar la capacidad del material compuesto para compartir la carga global y alcanzar una carga de falla más alta.

Volviendo ahora a la Figura 15, se representa una ilustración de un gráfico de comportamiento de alargamiento frente a tensión para cupones de tracción de acuerdo con una realización ilustrativa. Como se muestra, el gráfico 1500 comprende el alargamiento 1502, medido en libras por pulgada cuadrada (psi), y la tensión 1504, medida en pulgadas/pulgadas. Como se muestra, 1506 es un cupón de prueba formado por IM-7/5250-4, 1508 es un cupón de

prueba formado por T800H/3900-2, 1510 es un cupón de prueba formado por IM-7/977-3, 1512 es un cupón de prueba formado por T800S/3900-2, 1514 es un cupón de prueba formado por IM-7/8552. Como se muestra, 1516 es un cupón de prueba formado por IM-7/K3B, y 1518 es un cupón de prueba formado por una mezcla de bisfenol-A y epoxi M con amina APB133. Como resultado, solo 1516 y 1518 son cupones de prueba formados con resinas de alta distorsión.

5 Como puede verse en la Figura 15, el cupón 1506 de prueba, el cupón 1508 de prueba, el cupón 1510 de prueba, el cupón 1512 de prueba y el cupón 1514 de prueba se comportan de manera similar. Cada uno del cupón 1506 de prueba, el cupón 1508 de prueba, el cupón 1510 de prueba, el cupón 1512 de prueba y el cupón 1514 de prueba aumenta rápidamente y falla en su punto máximo. Ninguno del cupón 1506 de prueba, el cupón 1508 de prueba, el cupón 1510 de prueba, el cupón 1512 de prueba o el cupón 1514 de prueba continúa más allá de la tensión 1504 de 0.012 pulgada/pulgada. En contraste, el cupón 1516 de prueba y el cupón 1518 de prueba tienen dos tasas de aumento. La primera tasa de aumento se puede ver hasta la tensión 1504 de aproximadamente 0.008 pulgada/pulgada. La segunda tasa de aumento ocurre después de la tensión 1504 de aproximadamente 0.008 pulgada/pulgada y continúa después de la tensión 1504 de al menos 0.022 pulgada/pulgada.

15 Como se puede ver en la Figura 15, las resinas de alta distorsión pueden permitir que los materiales compuestos alcancen tensiones más altas. En una teoría, puede fallar el cupón 1516 de prueba y el cupón 1518 de prueba después de la tensión 1504 de aproximadamente 0.008 pulgada/pulgada debido principalmente a la falla de la resina.

20 En varios ejemplos ilustrativos, un material compuesto de resina reforzada con fibra comprende una matriz de resina polimérica, fibras de refuerzo retenidas en la matriz de resina polimérica y un recubrimiento sobre las fibras de refuerzo para mejorar la transferencia de carga entre las fibras de refuerzo y la matriz de resina polimérica. El recubrimiento incluye una primera resina polimérica que tiene una primera capacidad de deformación con distorsión mayor que una capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica. El recubrimiento puede incluir una primera capa de la primera resina polimérica y una segunda capa de una segunda resina polimérica, en el que la primera capacidad de deformación con distorsión de la primera resina polimérica es diferente de una segunda capacidad de deformación con distorsión de la segunda resina polimérica, y en el que la primera capacidad de deformación con distorsión y la segunda capacidad de deformación con distorsión son cada una mayor que la capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica. El material compuesto de resina reforzada con fibra puede formarse impregnando las fibras de refuerzo con una resina de matriz a granel y formando la matriz de resina polimérica a partir de la resina de matriz a granel. Las fibras de refuerzo pueden incluir al menos dos grupos de fibras, en las que los al menos dos grupos de fibras incluyen un primer grupo de fibras y un segundo grupo de fibras. La rigidez del primer grupo de fibras puede ser diferente de la rigidez del segundo grupo de fibras. La resistencia del primer grupo de fibras puede ser diferente de la resistencia del segundo grupo de fibras.

35 En varios ejemplos ilustrativos, se proporciona un material compuesto, en el que las fibras de refuerzo en el material compuesto están recubiertas con una resina polimérica que tiene una capacidad de deformación con distorsión relativamente alta en comparación con una capacidad de deformación por distorsión de una matriz de resina polimérica del material compuesto. El recubrimiento puede crear una región de interfase disipativa y con distorsión de energía que rodea las fibras de refuerzo que mejora la transferencia de carga de fibra de resina a través de discontinuidades y/o defectos de fibra, mejorando así las propiedades mecánicas del material compuesto. Se puede realizar un proceso de recubrimiento de las fibras de refuerzo con la resina polimérica que tiene una capacidad de deformación con distorsión relativamente alta en comparación con la capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica antes de una impregnación de las fibras de refuerzo con una resina de matriz a granel a partir de la cual se forma la matriz de resina polimérica, lo que permite utilizar las fibras de refuerzo disponibles comercialmente en los procesos de producción de preimpregnado existentes. Al proporcionar a las fibras de refuerzo del material compuesto con el recubrimiento de la resina polimérica que tiene una capacidad de deformación con distorsión relativamente alta en comparación con la capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica, el material compuesto puede tener un rendimiento mecánico mejorado, tal como una mayor resistencia y/o tensión, así como posibles mejoras en la delaminación. Las estructuras de material compuesto que emplean fibras de refuerzo recubiertas con resinas de alta distorsión pueden dar como resultado diseños de material compuestos optimizados que pueden reducir el peso y el coste.

40 De acuerdo con otro ejemplo ilustrativo, un material compuesto de resina reforzada con fibra comprende una matriz de resina polimérica, fibras de refuerzo retenidas en la matriz de resina polimérica, y una región de interfase con distorsión que tiene una alta capacidad de deformación con distorsión con respecto a la matriz de resina. La región de interfase con distorsión puede definirse por al menos un primer recubrimiento de resina polimérica sobre las fibras de refuerzo. La región de interfase con distorsión puede definirse mediante un segundo recubrimiento de resina polimérica sobre el primer recubrimiento de resina polimérica. El primer recubrimiento de resina polimérica puede ser una resina de alta temperatura.

55 Los siguientes son ejemplos ilustrativos específicos no limitativos de acuerdo con la presente divulgación:

Un primer ejemplo ilustrativo, que es un método para fabricar una resina polimérica reforzada con fibra que comprende recubrir fibras de refuerzo con una primera resina polimérica para formar fibras recubiertas; e incrustar las fibras recubiertas en una segunda resina polimérica, en el que una primera capacidad de deformación con distorsión de la

primera resina polimérica es mayor que una segunda capacidad de deformación con distorsión de la segunda resina polimérica.

Un segundo ejemplo ilustrativo, que es el método del primer ejemplo ilustrativo en el que un primer módulo de las fibras de refuerzo es mayor que un segundo módulo de la primera resina polimérica.

- 5 Un tercer ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos primero y segundo, que comprende además seleccionar las fibras de refuerzo del grupo que consiste en fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas y fibras cerámicas.

10 Un cuarto ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos primero a tercero, que comprende además aplicar un recubrimiento de una tercera resina polimérica sobre un recubrimiento de la primera resina polimérica, en el que una tercera capacidad de deformación con distorsión de la tercera resina polimérica es mayor que la primera capacidad de deformación con distorsión y la segunda capacidad de deformación con distorsión.

15 Un quinto ejemplo ilustrativo, que es un método para hacer un material compuesto de polímero reforzado con fibra, que comprende formar una matriz de resina polimérica; proporcionar fibras para reforzar la matriz de resina polimérica; incrustar las fibras en la matriz de resina polimérica; y formar una región de interfase con distorsión entre las fibras y la matriz de resina polimérica para mejorar la transferencia de carga entre las fibras y la matriz de resina polimérica.

Un sexto ejemplo ilustrativo, que es el método del quinto ejemplo ilustrativo en el que la formación de la región de interfase con distorsión incluye el recubrimiento de las fibras con una resina polimérica con distorsión que tiene al menos una propiedad diferente de la de la matriz de resina polimérica.

20 Un séptimo ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos quinto y sexto en el que la al menos una propiedad se selecciona del grupo que consiste en resistencia a fluidos, módulo aumentado, rendimiento a alta temperatura, capacidad de procesamiento y propiedades de manipulación.

25 Un octavo ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos quinto a séptimo en el que incrustar las fibras en la matriz de resina polimérica incluye impregnar las fibras con la matriz de resina polimérica y curar la matriz de resina polimérica.

Un noveno ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos quinto a octavo en el que proporcionar fibras incluye seleccionar las fibras del grupo que consiste en fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas y fibras cerámicas.

30 Un décimo ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos quinto a noveno en el que proporcionar fibras para reforzar la matriz de resina incluye proporcionar un primer grupo de fibras y un segundo grupo de fibras, en el que un primer módulo del primero grupo de fibras es diferente a un segundo módulo del segundo grupo de fibras; y formar la región con distorsión de interfase entre las fibras y la matriz de resina polimérica incluye recubrir el primer grupo de fibras con una primera resina polimérica y recubrir el segundo grupo de fibras con una segunda resina polimérica, en el que cada una de una primera capacidad de deformación con distorsión de la primera la resina polimérica y una segunda capacidad de deformación con distorsión de la segunda resina polimérica es mayor que una tercera capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica.

35 Un undécimo ejemplo ilustrativo, que es el método de cualquiera de los ejemplos ilustrativos quinto a décimo en el que la formación de la región de interfase incluye recubrir las fibras con una resina polimérica con distorsión que tiene una primera capacidad de deformación con distorsión mayor que una segunda capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica, e incrustar las fibras en la matriz de resina polimérica incluye usar las fibras recubiertas para formar la preforma 1027 de fibra e infundir la preforma 1027 de fibra con la matriz de resina polimérica.

Un duodécimo ejemplo ilustrativo, que es un material compuesto de resina reforzada con fibra que tiene una capacidad de deformación con distorsión mejorada, que comprende una matriz de resina polimérica; fibras de refuerzo retenidas en la matriz; y un recubrimiento sobre las fibras para mejorar la transferencia de carga entre las fibras y la matriz.

45 Un decimotercer ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra del ejemplo ilustrativo doce en el que el recubrimiento incluye una resina polimérica que tiene una capacidad de deformación con distorsión mayor que la de la matriz de resina.

50 Un decimocuarto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos duodécimo y decimotercero en el que el recubrimiento incluye capas primera y segunda de resina polimérica, respectivamente, que tienen capacidades de deformación con distorsión diferentes, cada una mayor que la capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina.

Un decimoquinto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos duodécimo a decimocuarto en el que las fibras están impregnadas con la matriz de resina.

- Un decimosexto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos doceavo a decimoquinto en el que las fibras incluyen al menos dos grupos de los mismos que tienen diferentes rigideces o resistencias.
- 5 Un decimoséptimo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos duodécimo a decimosexto en el que las fibras se seleccionan del grupo que consiste en fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas y fibras de cerámica.
- Un décimo octavo ejemplo ilustrativo, que es un material compuesto de resina reforzada con fibra que comprende una matriz de resina polimérica; fibras de refuerzo retenidas en la matriz; y una región de interfase que rodea las fibras que tiene una alta capacidad de deformación con distorsión con respecto a la de la matriz de resina.
- 10 Un decimonoveno ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibras del decimoctavo ejemplo ilustrativo en el que la región de interfase se define por al menos un primer recubrimiento de resina polimérica sobre las fibras.
- 15 Un vigésimo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos decimoctavo y decimonoveno en el que la región de interfase se define por un segundo recubrimiento de resina polimérica sobre el primer recubrimiento polimérico.
- Un vigésimo primer ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos decimoctavo a vigésimo en el que el primer recubrimiento de resina polimérica es una resina de alta temperatura.
- 20 Un vigésimo segundo ejemplo ilustrativo, que es un método para hacer un material compuesto de resina reforzada con fibra que exhibe una resistencia mejorada, que comprende proporcionar un primer grupo de fibras de refuerzo y un segundo grupo de fibras de refuerzo, en el que cada uno del primer grupo de fibras de refuerzo y el segundo grupo de fibras de refuerzo se selecciona del grupo que consiste en fibras de carbono, fibra de vidrio, fibras orgánicas, metálicas y cerámicas; formar fibras recubiertas aplicando al menos un recubrimiento de una primera resina polimérica que tiene una primera capacidad de deformación con distorsión en cada una de las fibras de refuerzo en el primer grupo de fibras de refuerzo y aplicando al menos un recubrimiento de una segunda resina polimérica que tiene una segunda capacidad de deformación con distorsión en cada una de las fibras de refuerzo en el segundo grupo de fibras de refuerzo, en el que la primera resina polimérica tiene una o más propiedades que son diferentes a las propiedades de la segunda resina polimérica; formar fibras recubiertas impregnadas impregnando las fibras recubiertas con una tercera resina polimérica que tiene una tercera capacidad de deformación con distorsión que es menor que cada una de la primera capacidad de deformación con distorsión y la segunda capacidad de deformación con distorsión; y curar las fibras recubiertas impregnadas para formar una matriz de resina sustancialmente homogénea que tiene las fibras recubiertas impregnadas incrustadas allí, en las que está presente una región de interfase entre las fibras de refuerzo de los grupos de fibras de refuerzo primero y segundo y la matriz de resina sustancialmente homogénea que mejora la transferencia de carga entre el refuerzo de los grupos de las fibras de refuerzo primero y segundo y la matriz de resina sustancialmente homogénea.
- 25 30 35
- 40 El vigésimo tercer ejemplo ilustrativo, que es un material compuesto de resina reforzada con fibra que comprende al menos dos grupos de fibras de refuerzo que tienen características de fibra diferentes respectivamente, en el que cada uno de los grupos incluye una de fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas y fibras de cerámica; un recubrimiento de una primera resina polimérica sobre las fibras en el primer grupo; un recubrimiento de una segunda resina polimérica sobre las fibras en el segundo grupo; una matriz de resina polimérica para sostener los grupos de fibras primero y segundo y que tiene una capacidad de deformación con distorsión menor que la de las resinas poliméricas primera y segunda, donde los recubrimientos de las fibras forman una región de interfase para mejorar la transferencia de carga entre las fibras y la matriz.
- 45 Un vigésimo cuarto ejemplo ilustrativo, que es un material compuesto de resina reforzada con fibra que comprende una matriz de resina polimérica; y una pluralidad de fibras recubiertas con una primera resina polimérica que tiene una primera tensión de von Mises mayor o igual a aproximadamente 0.25 y dispuestas en la matriz de resina polimérica, en el que una capacidad de deformación con distorsión de la primera resina polimérica es mayor que una capacidad de deformación con distorsión de la matriz de resina polimérica.
- 50 Un vigésimo quinto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra del vigésimo cuarto ejemplo ilustrativo en el que la primera tensión de von Mises es mayor o igual que aproximadamente 0.30.
- Un vigésimo sexto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo cuarto y vigésimo quinto en el que la primera tensión de von Mises es mayor o igual que aproximadamente 0.40.
- 55 Un vigésimo séptimo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo cuarto a vigésimo sexto en el que la matriz de resina polimérica tiene una segunda tensión de von Mises de menos de aproximadamente 0.25.

Un vigésimo octavo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo cuarto a vigésimo séptimo en el que la segunda tensión de von Mises está en un intervalo de aproximadamente 0.18 a aproximadamente 0.24.

5 Un vigésimo noveno ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo cuarto a vigésimo octavo en el que la matriz de resina polimérica comprende una resina epoxi curada que comprende un epoxi y monómeros de amina.

10 Un trigésimo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a vigésimo noveno en el que el epoxi comprende al menos una de una resina epoxi bisfenol A o una resina epoxi bisfenol F, y los monómeros de amina comprenden monómeros de diaminodifenilsulfona.

15 Un trigésimo primer ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto al trigésimo en el que la primera resina polimérica comprende al menos uno de los siguientes grupos (A) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 4,4'bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona; (B) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 3,3 'diamino difenilsulfona; (C) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 1,3 bis(3-aminofenoxi) benceno; (D) diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno y 4,4' bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona; (E) 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano y diglicidil éter de bisfenol-A; (F) diglicidil éter de bisfenol-A y 3,3 'diaminodifenilsulfona; o (G) 1,3 bis (3-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano y diglicidil éter de bisfenol-A.

20 Un ejemplo ilustrativo trigésimo segundo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo primero en el que la pluralidad de fibras comprende al menos una de fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas o fibras cerámicas.

25 Un trigésimo tercer ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo segundo en el que la pluralidad de fibras comprende al menos una de las primeras fibras que tienen un primer módulo de elasticidad en un intervalo de aproximadamente 33 msi a aproximadamente 36 msi, las segundas fibras que tienen un segundo módulo de elasticidad en un intervalo de aproximadamente 40 msi a aproximadamente 45 msi, o las terceras fibras que tienen un tercer módulo de elasticidad mayor que aproximadamente 45 msi.

30 Un trigésimo cuarto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo tercero en el que la pluralidad de fibras comprende las primeras fibras y las terceras fibras.

Un trigésimo quinto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo cuarto en el que la pluralidad de fibras comprende las segundas fibras y las terceras fibras.

35 Un trigésimo sexto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo quinto en el que la pluralidad de fibras recubiertas con la primera resina polimérica son una preforma 1027 de fibra impregnada con la matriz de resina polimérica.

40 Un trigésimo séptimo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo sexto en el que el valor de una propiedad para la matriz de resina polimérica es mayor que un valor de la propiedad para la primera resina polimérica, y en el que la propiedad comprende un módulo de elasticidad, una temperatura de transición vítrea, una resistencia a los fluidos o una vida de adhesión.

Un trigésimo octavo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra cualquiera de las realizaciones vigésimo quinta a trigésima séptima en la que el valor de la propiedad para el material compuesto de resina reforzada con fibra es mayor que el valor de la propiedad para la primera resina polimérica y menor o igual que el valor de la matriz de resina polimérica.

45 Una trigésima novena realización, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto a trigésimo octavo que comprende además un recubrimiento de resina con distorsión que tiene una primera capa que comprende la primera resina polimérica y una segunda capa que comprende una segunda resina polimérica, en el que la segunda capa cubre la primera capa, la primera capa está dispuesta entre la pluralidad de fibras y la segunda capa, y la segunda resina polimérica tiene una tercera tensión de von Mises mayor o igual a aproximadamente 0.25.

50 Un cuadragésimo ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto al trigésimo noveno en el que la tercera tensión de von Mises es mayor que la primera tensión de von Mises y la segunda tensión de von Mises.

- Un cuadragésimo primer ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos vigésimo quinto al cuadragésimo que comprende además una región de interfase dispuesta entre las fibras y la matriz de resina polimérica, en el que la región de interfase comprende la primera resina polimérica.
- 5 Un ejemplo ilustrativo cuadragésimo segundo, que es un material compuesto de resina reforzada con fibra, que comprende una matriz de resina polimérica que tiene una primera tensión de von Mises; fibras dispuestas en la matriz de resina polimérica; y una región de interfase que rodea las fibras que tienen una segunda tensión de von Mises, en la que una relación de la primera tensión de von Mises a la segunda tensión de von Mises es mayor o igual que aproximadamente 1.04.
- 10 El cuadragésimo tercer ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibras del cuadragésimo segundo ejemplo ilustrativo en el que la región de interfase se define por al menos un primer recubrimiento de resina polimérica sobre las fibras.
- Un cuadragésimo cuarto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo segundo y cuadragésimo tercer en el que la relación de la primera tensión de von Mises a la segunda tensión de von Mises es mayor que o igual a aproximadamente 1.25.
- 15 El cuadragésimo quinto ejemplo ilustrativo, que es el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo segundo al cuadragésimo cuarto en el que la relación de la primera tensión de von Mises a la segunda tensión de von Mises es mayor que o igual a aproximadamente 1.63.
- 20 Un cuadragésimo sexto ejemplo ilustrativo, que es un método para fabricar un material compuesto de resina reforzada con fibra, que comprende incrustar fibras recubiertas con una primera resina polimérica en una matriz de resina polimérica, en el que una primera tensión von Mises de la primera resina polimérica en un estado curado es mayor o igual a aproximadamente 0.25.
- 25 Un cuadragésimo séptimo ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra del ejemplo ilustrativo cuadragésimo sexto que comprende además formar las fibras recubiertas con la primera resina polimérica, en el que formar las fibras recubiertas con la primera resina polimérica comprende recubrir las fibras con la primera resina polimérica.
- 30 Un cuadragésimo octavo ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto y cuadragésimo séptimo en el que el valor de una propiedad para la matriz de resina polimérica es mayor que un valor de la propiedad para la primera resina polimérica, y en el que la propiedad comprende un módulo de elasticidad, una temperatura de transición vítrea, una resistencia a fluidos o una vida de adhesión.
- 35 Un cuadragésimo noveno ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuarenta y seis a cuarenta y ocho en el que un valor de la propiedad para el material compuesto de resina reforzada con fibra es mayor que el valor de la propiedad de la primera resina polimérica y menor o igual que el valor de la matriz de resina polimérica.
- 40 Un quincuagésimo ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuarenta y seis a cuarenta y nueve en el que la matriz de resina polimérica tiene una segunda tensión de von Mises en un intervalo desde aproximadamente 0.18 a aproximadamente 0.24.
- 45 Un quincuagésimo primer ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo en el que la primera tensión de von Mises de la primera resina polimérica está en estado curado es mayor o igual a aproximadamente 0.30.
- Un ejemplo ilustrativo quincuagésimo segundo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo primero en el que la primera tensión de von Mises de la primera resina polimérica en un estado curado es mayor o igual a aproximadamente 0.40.
- 50 Un quincuagésimo tercer ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo segundo que comprende además recubrir las fibras recubiertas con la primera resina polimérica con una segunda resina polimérica que tiene una tercera tensión de von Mises, en el que la tercera tensión de von Mises es mayor que la primera tensión de von Mises y la segunda tensión de von Mises.
- Un quincuagésimo cuarto ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo tercero que comprende además formar una región de interfase con distorsión entre las fibras y la matriz de resina polimérica.
- Un quincuagésimo quinto ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo cuarto en el que incrustar

las fibras recubiertas con la primera resina polimérica en la matriz de resina polimérica comprende impregnar las fibras recubiertas con la primera resina polimérica con un material de matriz resinosa no curada; y curar la primera resina polimérica y el material de matriz resinosa no curada, en el que el curado forma la matriz resinosa polimérica a partir del material de matriz resinosa no curada.

5 Un quincuagésimo sexto ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo quinto en el que curar la primera resina polimérica y el material de matriz resinosa no curada forma una región de interfase con distorsión, y en el que la formación de la región de interfase con distorsión comprende hacer reaccionar la primera resina polimérica con grupos funcionales químicos de al menos una de las fibras, el material de matriz no curado o la matriz de resina polimérica.

10 Un quincuagésimo séptimo ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo sexto que comprende además formar una preforma 1027 de fibra que comprende las fibras recubiertas con la primera resina polimérica, y en el que la impregnación de las fibras recubiertas con la primera resina polimérica con el material de matriz resinosa no curada comprende impregnar la preforma 1027 de fibra con el material de matriz resinosa no curada.

Un quincuagésimo octavo ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo séptimo en el que formar la matriz de resina polimérica comprende hacer reaccionar el material de matriz resinosa no curada con un agente de curado.

20 Un quincuagésimo noveno ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo octavo en el que el material de matriz resinosa no curada comprende al menos una resina epoxi bisfenol A o una resina epoxi bisfenol F, y el agente de curado comprende diaminodifenilsulfona.

25 Un sexagésimo ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a quincuagésimo noveno en el que la primera resina polimérica comprende al menos uno de los siguientes grupos (A) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 4,4 'bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona; (B) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 3,3 'diamino difenilsulfona; (C) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 1,3 bis(3-aminofenoxi) benceno; (D) diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno y 4,4 'bis (3-aminofenoxi) difenilsulfona; (E) 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano y diglicidil éter de bisfenol-A; (F) diglicidil éter de bisfenol-A y 3,3 'diaminodifenilsulfona; o (G) 1,3 bis(3-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano y diglicidil éter de bisfenol-A.

Un sexagésimo primer ejemplo ilustrativo, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a sexagésimo en el que las fibras comprenden al menos una de fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas o fibras cerámicas.

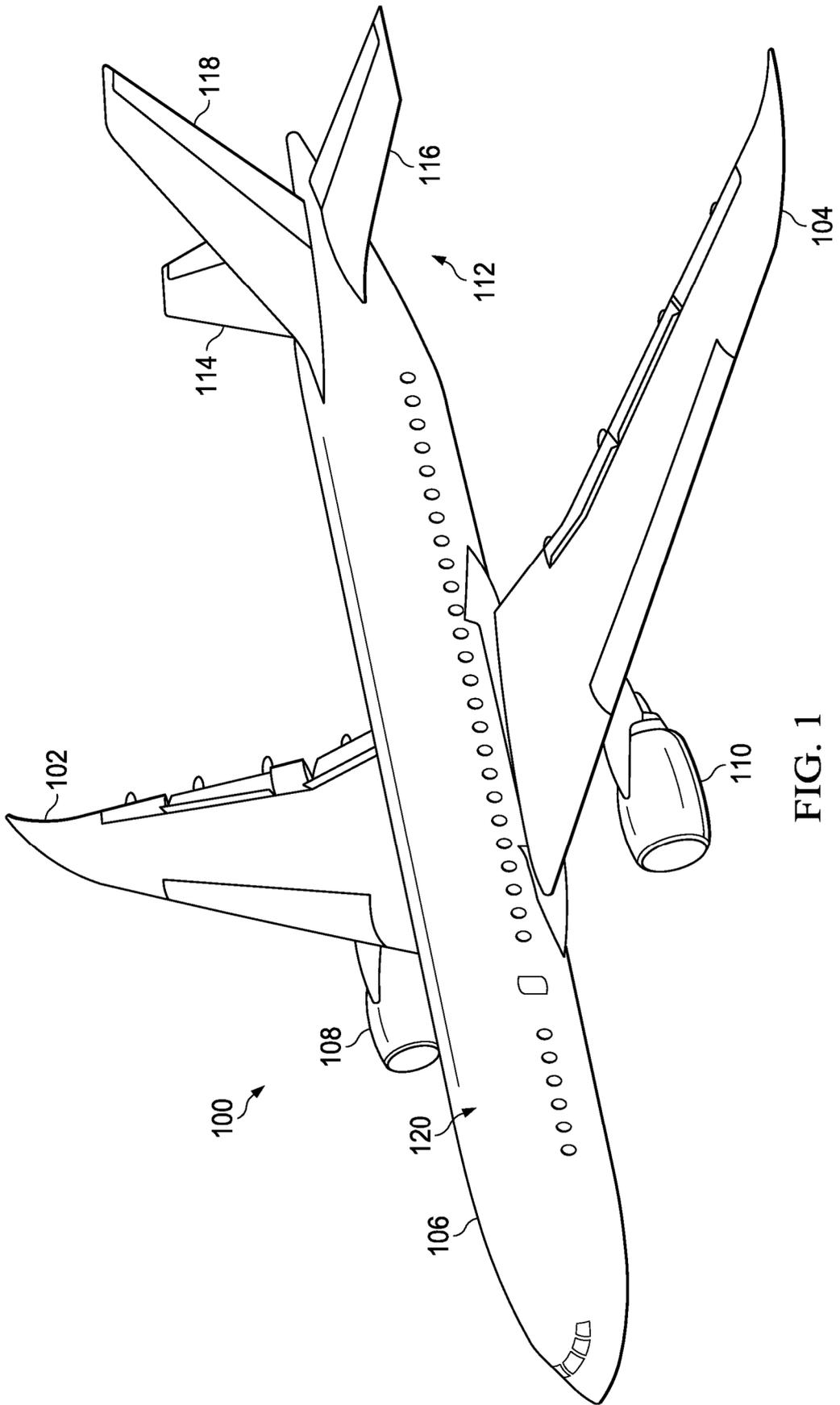
35 Un ejemplo ilustrativo de sesenta segundos, que es el método para hacer el material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de los ejemplos ilustrativos cuadragésimo sexto a sexagésimo primero en el que las fibras comprenden al menos una de las primeras fibras que tienen un primer módulo de elasticidad en un intervalo de aproximadamente 33 msi a aproximadamente 36 msi, las segundas fibras que tienen un segundo módulo de elasticidad en un intervalo de aproximadamente 40 msi a aproximadamente 45 msi, o las terceras fibras que tienen un tercer módulo de elasticidad mayor que aproximadamente 45 msi.

40 La descripción de las diferentes realizaciones ilustrativas se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos, y no pretende ser exhaustiva o limitada a las realizaciones en la forma divulgada. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos en la técnica. Además, diferentes realizaciones ilustrativas pueden proporcionar diferentes características en comparación con otras realizaciones ilustrativas. La realización o las realizaciones seleccionadas se eligen y describen con el fin de explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica, y para permitir que otros expertos en la técnica entiendan la divulgación de diversas realizaciones con diversas modificaciones que sean adecuadas para el particular uso contemplado.

**REIVINDICACIONES**

1. Un material (1020) compuesto de resina reforzada con fibra, que comprende:  
una matriz (1022) de resina polimérica que tiene una primera tensión de von Mises;  
5 una pluralidad de fibras (1024) recubiertas con una primera resina (1029) polimérica con distorsión, donde la primera resina (1029) polimérica con distorsión tiene una segunda tensión de von Mises en un intervalo de 0.25 a 0.45 y dispuesta en la matriz de resina polimérica, en la que la segunda tensión de von Mises es mayor que la primera tensión de von Mises; y  
una región (1028) de interfase con distorsión dispuesta entre la pluralidad de fibras (1024) y la matriz (1022) de resina polimérica, en el que la región de interfase con distorsión comprende la primera resina (1029) polimérica con distorsión,  
10 en el que los grupos funcionales químicos de al menos una de la pluralidad de fibras (1024), y la matriz (1022) de resina polimérica se hacen reaccionar con la primera resina (1029) polimérica con distorsión.
2. El material compuesto de resina reforzada con fibra de la reivindicación 1, en el que la segunda tensión de von Mises está en un intervalo de 0.30 a 0.45, y en el que la primera tensión de von Mises está en un intervalo de 0.18 a 0.24.
- 15 3. El material compuesto de resina reforzada con fibra de la reivindicación 1 o 2, en el que la primera resina polimérica con distorsión comprende al menos uno de los siguientes grupos:  
(A) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 4,4' bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona;  
(B) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 3,3' diamino difenilsulfona;  
(C) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 1,3 bis(3-aminofenoxi) benceno;  
20 (D) diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis(4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno y 4,4' bis(3-aminofenoxi)difenilsulfona;  
(E) diglicidil éter de bisfenol-A y 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano;  
(F) diglicidil éter de bisfenol-A y 3,3' diaminodifenilsulfona; o  
(G) diglicidil éter de bisfenol-A y 1,3 bis(3-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano.
4. El material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquier reivindicación precedente, en el que la pluralidad de fibras comprende al menos una de fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras orgánicas, fibras metálicas o fibras de cerámica, y en el que la pluralidad de fibras comprende al menos una de fibras (1050) de módulo bajo que tienen un primer módulo de elasticidad en un intervalo de 33 msi a 36 msi, fibras (1052) de módulo intermedio que tienen un segundo módulo de elasticidad en un intervalo de 40 msi a 45 msi, o fibras (1054) de módulo alto que tiene un tercer módulo de elasticidad en un intervalo de 45 msi a 85 msi.
- 30 5. El material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor de una propiedad para la matriz de resina polimérica es mayor que el valor de la propiedad para la primera resina polimérica con distorsión, y en el que la propiedad comprende al menos uno de un módulo de elasticidad, temperatura de transición vítrea, resistencia a los fluidos o vida de adhesión.
6. El material compuesto de resina reforzada con fibra de cualquier reivindicación precedente, que comprende además un recubrimiento (1030) por resina con distorsión que tiene una primera capa (1037) que comprende la primera resina polimérica con distorsión y una segunda capa (1039) que comprende una segunda resina (1031) polimérica con distorsión, en el que la segunda capa cubre la primera capa y en el que la segunda resina polimérica con distorsión tiene una tercera tensión de von Mises en un intervalo de 0.25 a 0.45, en el que la tercera tensión de von Mises es mayor que la primera tensión de von Mises y la segunda tensión de von Mises.
- 35 7. Un método para hacer un material (1020) compuesto de resina reforzada con fibra, que comprende:  
incrustar (1140) una pluralidad de fibras (1024) recubiertas con una primera (1029) resina polimérica con distorsión en una matriz (1022) de resina polimérica, en el que una segunda tensión de von Mises de la primera resina polimérica con distorsión en un estado curado está en un intervalo de 0.25 a 0.45, y en el que una primera tensión de von Mises de la matriz de resina polimérica es menor que la segunda tensión de von Mises; y  
45 formar (1170) una región (1028) de interfase con distorsión entre la pluralidad de fibras (1024) y la matriz (1022) de resina polimérica,  
en el que incrustar la pluralidad de fibras (1024) recubiertas con la primera resina (1029) polimérica con distorsión en la matriz (1022) de resina polimérica comprende:

- impregnar (1150) la pluralidad de fibras (1024) recubiertas con la primera resina (1029) polimérica con distorsión con un material de matriz resinoso no curado; y
- 5 curar (1160) la primera resina (1029) polimérica con distorsión y el material de matriz resinoso sin curar, en el que interfase con distorsión, y en el que formar la región de interfase con distorsión comprende hacer reaccionar la primera resina (1029) polimérica con distorsión con grupos funcionales químicos de al menos una de la pluralidad de fibras (1024) y el material de matriz resinosa no curada, en el que el curado forma la matriz (1022) de resina polimérica a partir del material de matriz resinosa no curada, en el que formar la matriz (1022) de resina polimérica comprende hacer reaccionar el material de matriz resinosa sin curar con un agente de curado.
- 10 8. El método de la reivindicación 7, en el que la segunda tensión de von Mises de la primera resina polimérica con distorsión en el estado curado está en un intervalo de 0.30 a 0.45.
9. El método de la reivindicación 7 u 8, en el que el valor de una propiedad para la matriz de resina polimérica es mayor que el valor de la propiedad para la primera resina polimérica con distorsión, y en el que la propiedad comprende al menos uno de un módulo de elasticidad, una temperatura de transición vítrea, una resistencia a los fluidos o una vida de adhesión.
- 15 10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende además:
- recubrir la pluralidad de fibras recubiertas con la primera resina polimérica con distorsión con una segunda resina (1031) polimérica con distorsión que tiene una tercera tensión de von Mises, en el que la tercera tensión de von Mises es mayor que la primera tensión de von Mises y la segunda tensión de von Mises.
- 20 11. El método de la reivindicación 10, que comprende además:
- formar una preforma (1027) de fibra que comprende la pluralidad de fibras recubiertas con la primera resina polimérica con distorsión, y en la que impregnar la pluralidad de fibras recubiertas con la primera resina polimérica con distorsión con el material de matriz resinosa no curada comprende impregnar la preforma de fibra con el material de matriz resinosa no curada.
- 25 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en el que la primera resina polimérica con distorsión comprende al menos uno de los siguientes grupos:
- (A) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 4,4' bis(3-aminofenoxi) difenilsulfona;
- (B) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 3,3' diamino difenilsulfona;
- (C) resina epoxi novolaca trifuncional con base en bisfenol F y 1,3 bis(3-aminofenoxi) benceno;
- 30 (D) diglicidil  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -bis (4-hidroxifenil)-p-diisopropilbenceno y 4,4 'bis (3-aminofenoxi) difenilsulfona;
- (E) diglicidil éter de bisfenol-A y 1,3 bis(4-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano;
- (F) diglicidil éter de bisfenol-A y 3,3' diaminodifenilsulfona; o
- (G) diglicidil éter de bisfenol-A y 1,3 bis(3-aminofenoxi)-2,2 dimetilpropano.



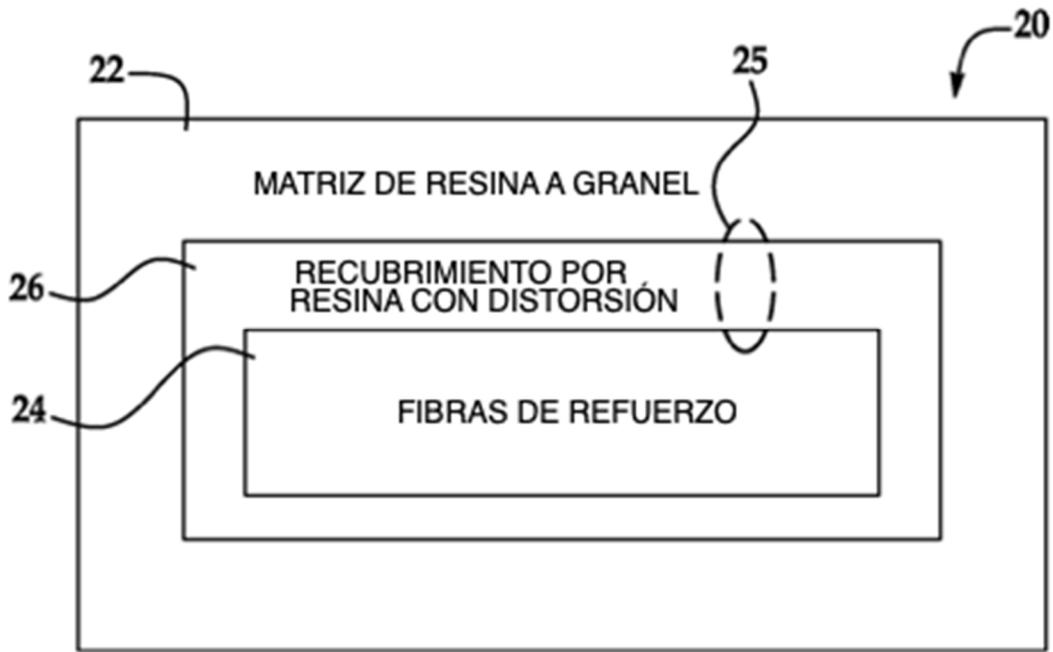


FIG. 2

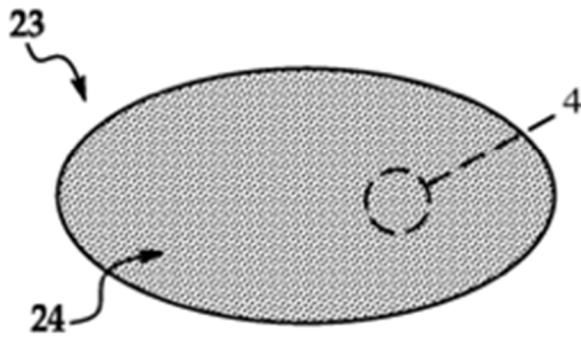


FIG. 3

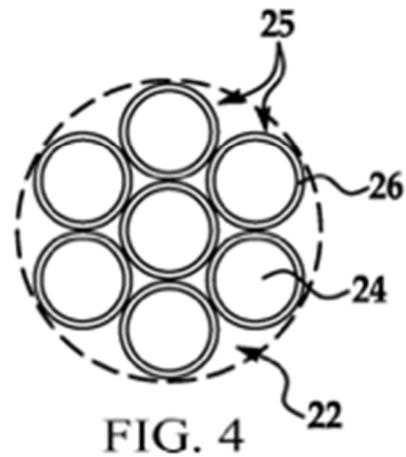


FIG. 4

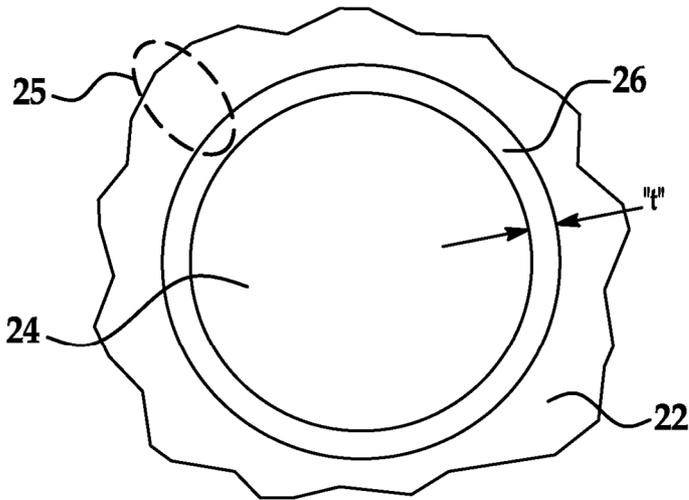


FIG. 5

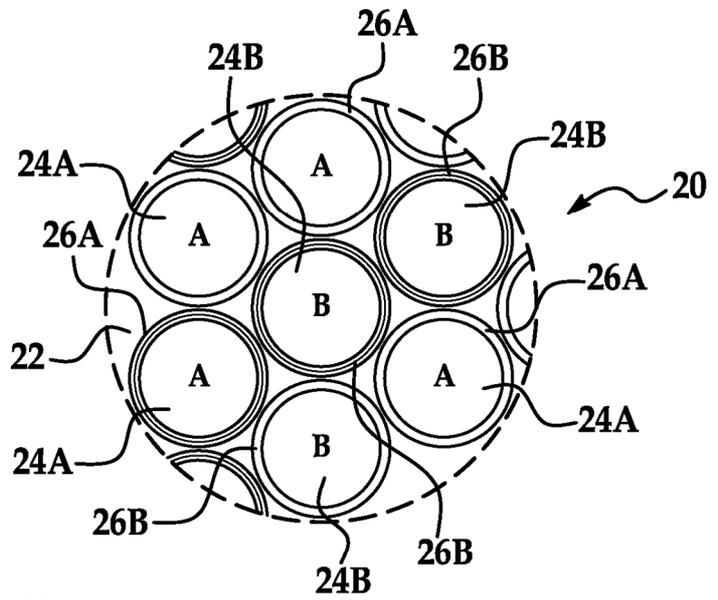


FIG. 6

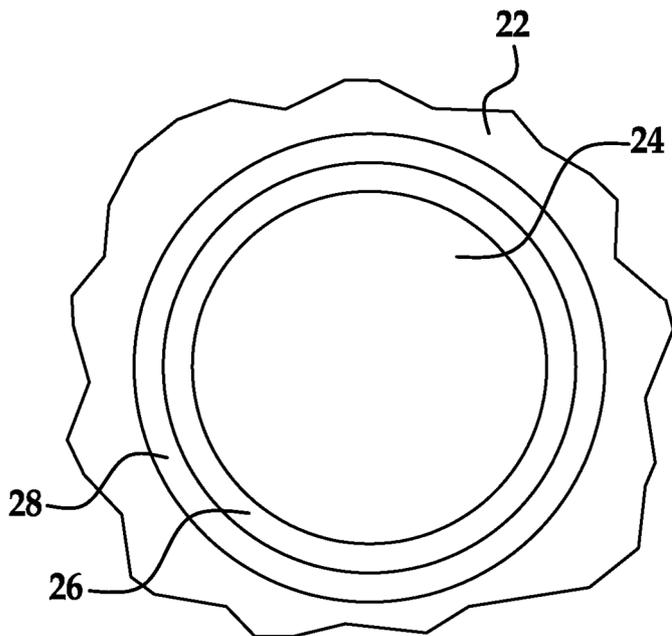


FIG. 7

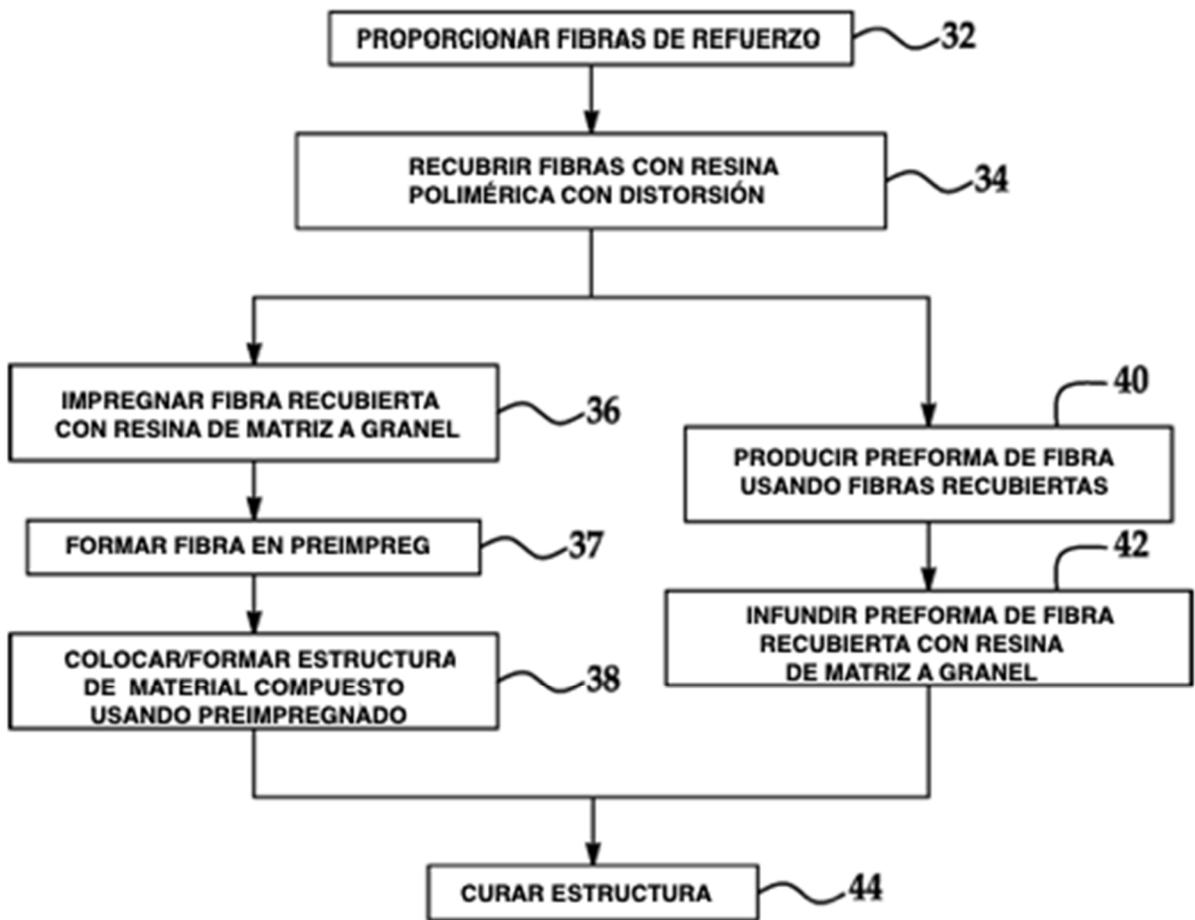
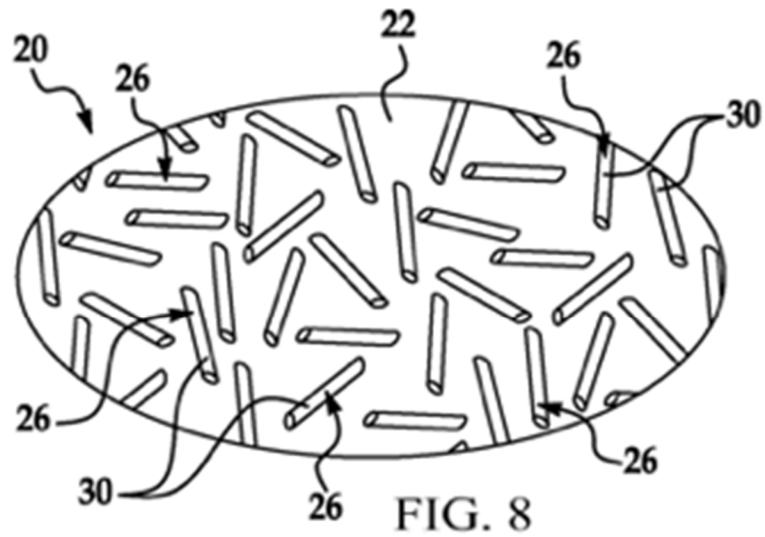
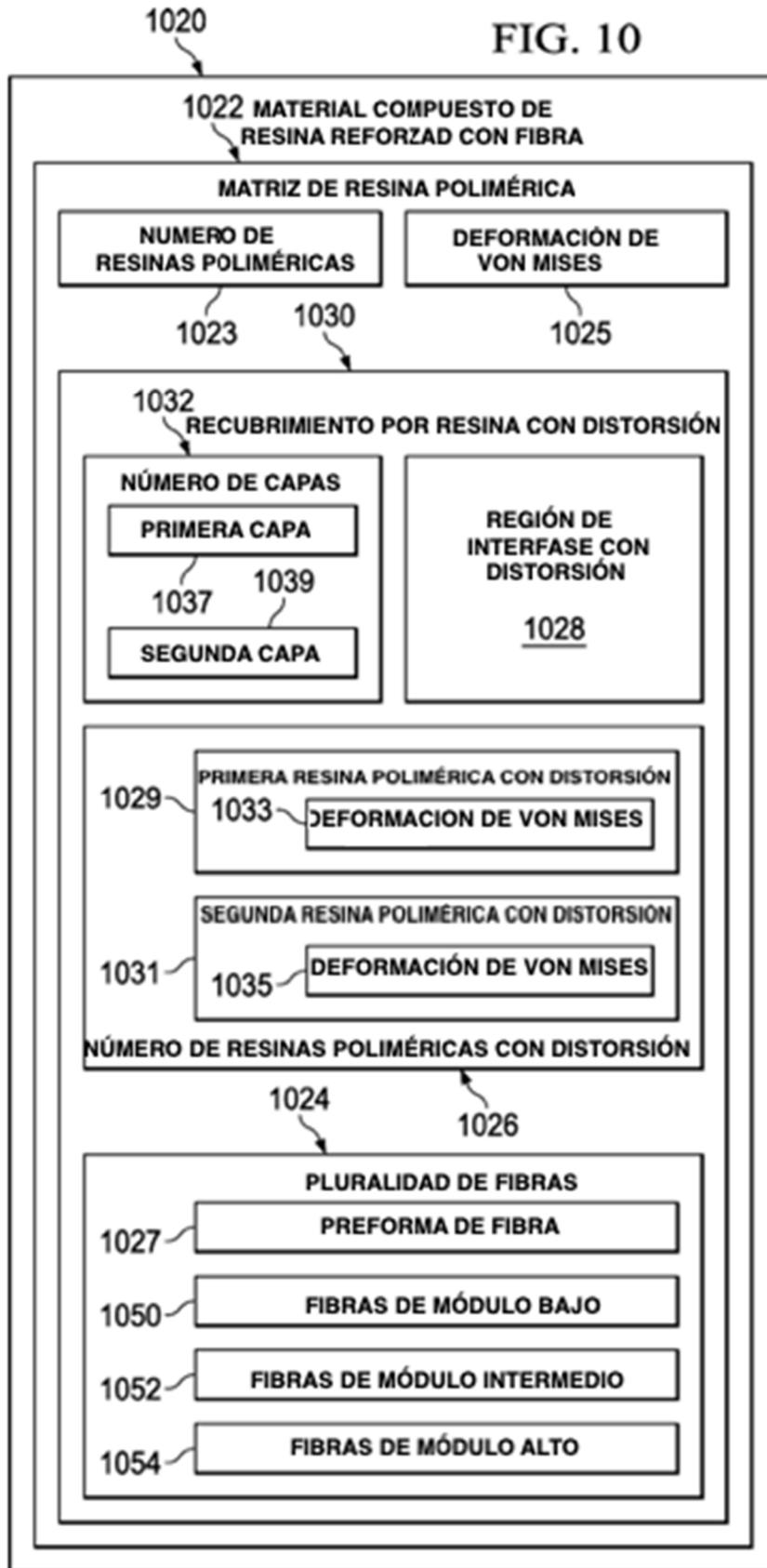


FIG. 10



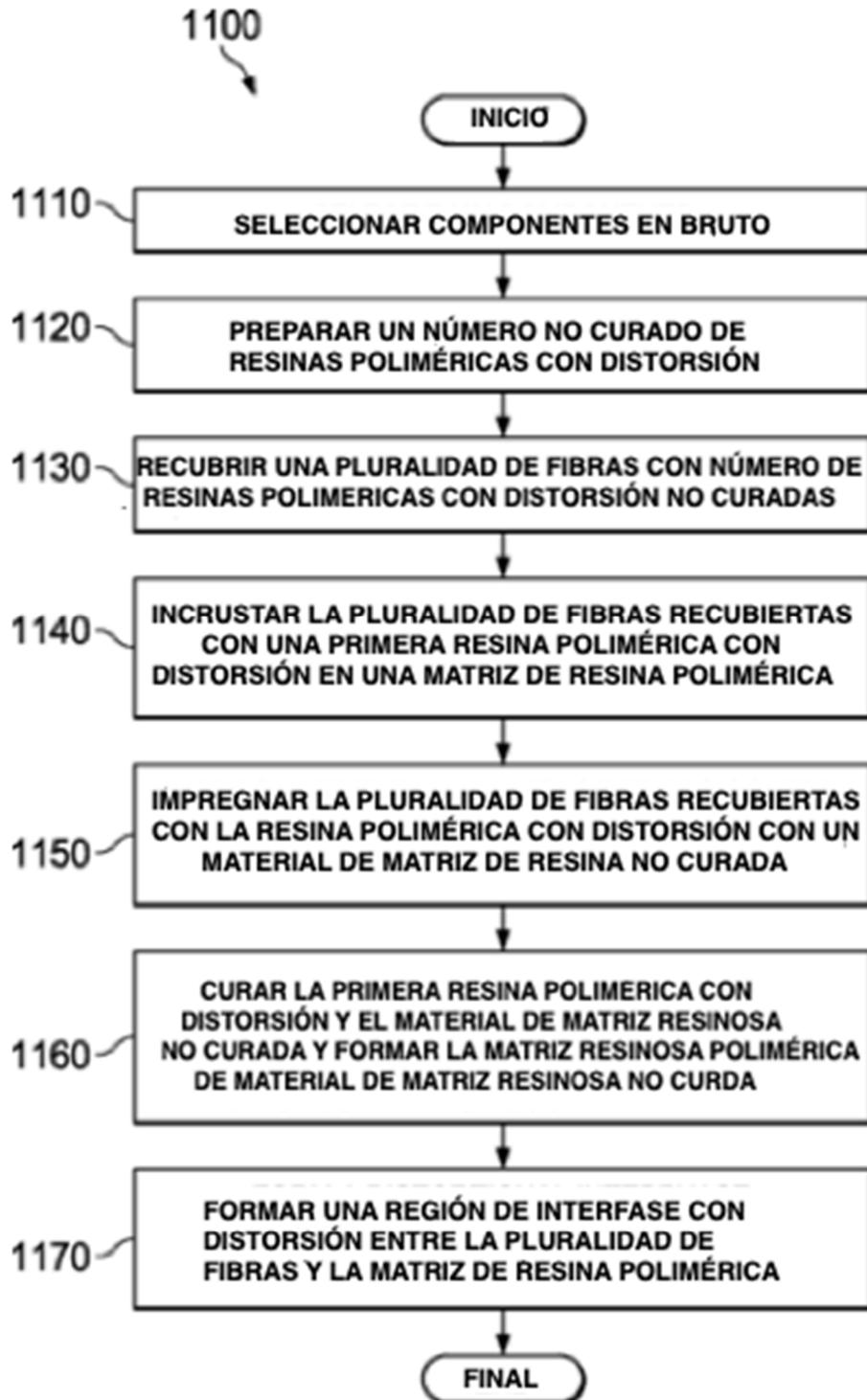


FIG. 11

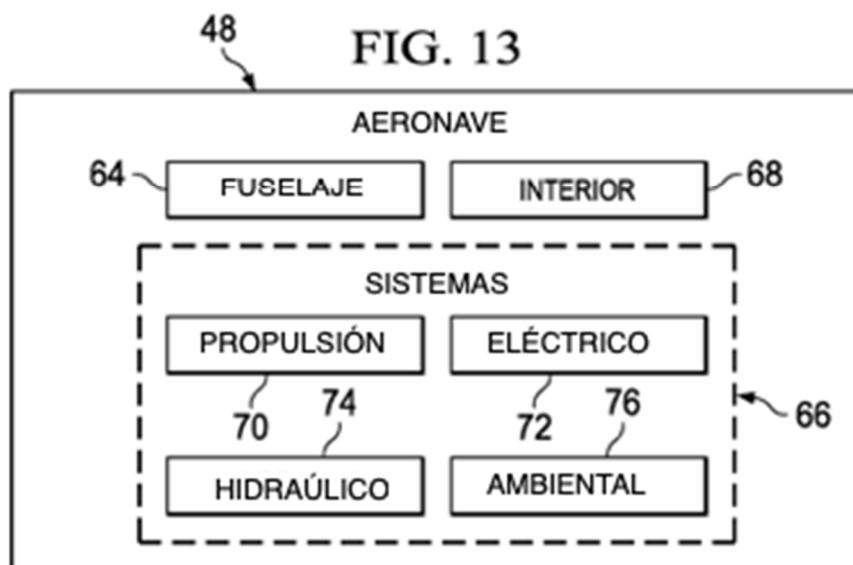


FIG. 14

