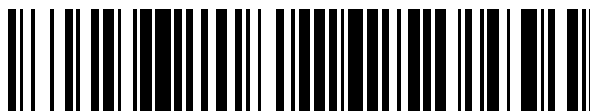


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 874 484**

51 Int. Cl.:

B32B 5/22	(2006.01)
C08J 5/24	(2006.01)
B64D 45/02	(2006.01)
B32B 5/30	(2006.01)
B32B 5/28	(2006.01)
B82Y 30/00	(2011.01)
C08J 5/04	(2006.01)
C08J 5/06	(2006.01)
C08J 5/10	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2007 PCT/GB2007/004220**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2008 WO08056123**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2007 E 07824456 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021 EP 2069138**

54 Título: **Materiales compuestos mejorados**

30 Prioridad:

06.11.2006 GB 0622060

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.11.2021

73 Titular/es:

**HEXCEL COMPOSITES, LTD. (100.0%)
Duxford
Cambridge CB2 4QB, GB**

72 Inventor/es:

**SIMMONS, MARTIN;
CAWSE, JOHN, LESLIE y
GREEN, GEORGE**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 874 484 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 mejorados

5 La presente invención se refiere a materiales compuestos reforzados con fibras.

Los materiales compuestos se usan cada vez más en aplicaciones estructurales en muchos campos debido a sus propiedades mecánicas atractivas y su bajo peso en comparación con los metales. Los materiales compuestos son conocidos en el campo por consistir en estratificación de materiales para proporcionar un material de tipo laminado estructuralmente ventajoso. Sin embargo, aunque la conductividad eléctrica es uno de los atributos más obvios de los metales, los materiales compuestos basados en refuerzos de fibra (tales como películas adhesivas, películas de revestimiento y materiales preimpregnados (preg)), en general tienen una conductividad eléctrica mucho menor.

Los materiales compuestos convencionales habitualmente consisten en una fase de refuerzo, que comprende en general fibras continuas o discontinuas, y una fase de matriz, en general un polímero termoendurecible o termoplástico. Los primeros polímeros de matriz de primera generación para la fabricación de materiales compuestos eran, por naturaleza, quebradizos y, por lo tanto, ha sido necesario desarrollar versiones más endurecidas. Los materiales compuestos usados como estructuras primarias en aplicaciones aeroespaciales tienden a ser materiales endurecidos denominados de segunda o tercera generación.

Hay una necesidad particular de materiales compuestos que muestren conductividad eléctrica para varias aplicaciones. Estas aplicaciones incluyen su uso para protección contra rayos de tormenta, disipación electrostática (ESD) e interferencia electromagnética (EMI). Los materiales compuestos previos, tales como los basados en fibras de carbono, se sabe que tienen algún grado de conductividad eléctrica que está asociada habitualmente a la naturaleza grafitica de los filamentos de carbono. Sin embargo, el nivel de conductividad eléctrica proporcionada es insuficiente para proteger el material compuesto de los efectos dañinos de, por ejemplo, un rayo de tormenta.

Los materiales compuestos endurecidos de segunda generación representan una mejora sobre los materiales anteriores de primera generación debido a la incorporación de fases de endurecimiento dentro del material de matriz. Esto incluye la incorporación de metales en el ensamblaje mediante láminas expandidas, mallas metálicas o alambres entrelazados. Metales típicos que se usan para este propósito incluyen aluminio, bronce y cobre. Estos materiales compuestos pueden proporcionar mejor conductividad eléctrica. Sin embargo, en general son pesados y tienen propiedades mecánicas y estéticas significativamente degradadas. Estos materiales compuestos se encuentran habitualmente en la primera capa o las dos primeras capas del material y, por lo tanto, a menudo se produce un mal acabado superficial.

En el caso de un rayo de tormenta sobre materiales compuestos de segunda generación, el daño se restringe normalmente a la capa protectora superficial. La energía del rayo de tormenta normalmente es suficiente para vaporizar algo del metal y para quemar un pequeño orificio en la malla. El daño al material compuesto subyacente puede ser mínimo, estando restringido a la capa superior o las dos capas superiores. No obstante, después de dicho rayo, sería necesario recortar la zona dañada y subsanarla con protección metálica nueva y, si se requiere, material compuesto nuevo.

Como ya se ha mencionado, los materiales con fibras de carbono poseen alguna conductividad eléctrica. Sin embargo, la trayectoria de la conductividad es solamente en la dirección de las fibras, con capacidad limitada para la disipación de la corriente eléctrica en direcciones ortogonales al plano del refuerzo de fibras (dirección z). Los materiales reforzados con carbono a menudo comprenden una estructura intermedia que provoca una conductividad inherentemente baja en la dirección z debido a las propiedades de aislamiento eléctrico de la capa intermedia. El resultado de dicha disposición puede dar lugar a efectos desastrosos cuando se daña por relámpagos ya que la descarga eléctrica puede entrar en la capa intermedia, volatilizar la resina en la misma y provocar deslaminación de la masa y penetración a través del material compuesto.

Los denominados materiales compuestos endurecidos de tercera generación se basan en la tecnología de capas intermedias, donde capas resinosas se alternan con capas reforzadas con fibras y proporcionan protección contra impactos. Sin embargo, estas capas de resina actúan como aislante eléctrico y, por lo tanto, la conductividad eléctrica en la dirección z del material es escasa (es decir, ortogonal a la dirección de las fibras). Los rayos de tormenta sobre el material compuesto pueden provocar un fallo catastrófico del componente, perforándose un orificio a través del laminado de múltiples capas.

60 El documento EP-A-1 099 541 divulga un material para moldeo de lámina de resina termoendurecible, proceso de producción y producto moldeado.

El documento US-A-4 996 109 divulga núcleos de espuma duros para laminados.

El documento US-A-6 043 169 divulga esteras reflectantes rf no tejidas y método de preparación, y el documento US-A-4 973 514 divulga materiales compuestos de blindaje emi.

65 La presente invención, por lo tanto, busca proporcionar un material compuesto que tenga propiedades de

conductividad eléctrica mejoradas en comparación con intentos previos como se describe en este documento, y tenga poco o nada de peso adicional en comparación con un material compuesto convencional. La presente invención también busca proporcionar un material compuesto que tenga conductividad eléctrica mejorada sin perjuicio al rendimiento mecánico del material. La presente invención busca además proporcionar un método de preparación del material compuesto que tiene propiedades de conductividad eléctrica mejoradas.

Un objetivo adicional es proporcionar un material compuesto tolerante a los rayos de tormenta que sea cómodo de fabricar, usar y reparar.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un método de preparación de un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 15.

Sorprendentemente, se ha descubierto que el uso de partículas conductoras en una resina polimérica de un material preimpregnado proporciona una resistividad en volumen, mejorando de este modo la conductividad eléctrica en la dirección z a través del material compuesto. Adicionalmente, se ha descubierto que las partículas conductoras dispersadas en la formulación de resina y, posteriormente, preimpregnadas, producen un material preimpregnado que tiene características de manipulación sustancialmente similares en comparación con un material preimpregnado sin modificar equivalente.

Se entiende que referencias a un material compuesto incluyen materiales que comprenden un refuerzo de fibra, donde la resina polimérica está en contacto con la fibra, pero no impregnada en la fibra. La expresión material compuesto también incluye una disposición alternativa en que la resina está parcialmente incrustada o parcialmente impregnada en la fibra, habitualmente conocido en la técnica como material preimpregnado. El material preimpregnado también puede tener una capa de refuerzo fibrosa completamente impregnada. El material compuesto también puede incluir materiales multiestratificados que tienen múltiples capas de fibra-refuerzo-fibra.

Se entiende que referencias a "estructura intermedia" se refiere al material multiestratificado que tiene una estructura de fibra-resina-fibra. La expresión "capa intermedia" se refiere a la resina polimérica que está presente, e intercalada, entre las capas de fibra. Referencias a "grosor de la capa intermedia" son con respecto a la distancia promedio a través de la capa intermedia medida desde la superficie superior de una capa de fibras inferior hasta la superficie inferior de una capa de fibras superior. El grosor de la capa intermedia, por lo tanto, es equivalente al grosor de la capa de resina polimérica intercalada, y referencias al grosor de la capa intermedia y al grosor de la resina polimérica son intercambiables.

Las expresiones entrecapa, capa de resina intermedia y capa sin fibras, como se usan en el presente documento, son todas intercambiables y se refieren a la capa de resina polimérica.

La expresión resina polimérica, como se usa en el presente documento, se refiere a un sistema polimérico.

La expresión "resina polimérica" y "sistema polimérico" se usan indistintamente en la presente solicitud y se entiende que se refieren a mezclas de longitudes de cadena de resinas que tienen longitudes de cadena variables. El término polimérico, por lo tanto, incluye una realización donde las resinas presentes están en forma de una mezcla de resinas que comprende resinas que tienen una longitud de cadena mayor de 3. La resina polimérica, cuando se cura, forma una matriz reticulada de resina.

La resistividad en volumen se refiere a la medición de la resistividad "en volumen" o "global" de un material semiconductor. Puede observarse que una referencia a una "resistividad en volumen inicial" se refiere a la resistividad en volumen de una resina polimérica antes de la adición de partículas conductoras. El valor en ohmios-m es la resistencia inherente de un material dado. Se usan ohmios-m (Ωm) para medir la conductividad de un material tridimensional. La resistividad eléctrica en volumen ρ de un material se define habitualmente por lo siguiente:

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

donde;

- ρ es la resistividad estática (medida en ohmios metros),
- R es la resistencia eléctrica de una muestra uniforme del material (medida en ohmios),
- l es la longitud de la muestra (medida en metros)
- A es el área de sección transversal de la muestra (medida en metros cuadrados)

En la presente invención, la resistividad en volumen se mide únicamente en la dirección z (a través del grosor del material compuesto). En cualquier caso, se menciona como resistividad "en volumen" ya que siempre se tiene en consideración el grosor en el cálculo.

5 El objetivo de la invención se consigue incorporando en la región intermedia del material preimpregnado una fracción de bajo volumen de partículas conductoras a un nivel en sí mismo globalmente insuficiente para conferir conductividad eléctrica a la resina polimérica a partir de la que se prepara el material preimpregnado.

10 Además, se ha descubierto que la adición de partículas conductoras, tales como partículas de carbono o esferas de vidrio recubiertas con plata, al material compuesto reduce la resistividad en volumen y, por lo tanto, proporciona niveles de conductancia eléctrica que exceden los que podrían haberse esperado razonablemente.

15 Un beneficio adicional de la invención es una conductividad térmica mejorada para el material preimpregnado, dando lugar a tiempos de calentamiento más rápidos y mejor disipación del calor generado durante la exoterma de curado. Un beneficio adicional más es que la resistencia eléctrica del material compuesto permanece esencialmente inalterada al variar la temperatura.

20 La reducción en la resistividad en volumen y la mejora en la conductividad provocan un rendimiento mejorado frente a rayos de tormenta. Esta mejora conseguida por la presente invención, por lo tanto, es sorprendente en vista de los bajos niveles de partículas eléctricamente conductoras empleadas y la alta resistividad eléctrica normalmente mostrada por la propia resina intermedia.

25 Se contempla que los términos "resistividad" y "conductividad", usados en el presente documento, se refieren a la resistividad eléctrica y a la conductividad eléctrica respectivamente.

30 Como se usan en el presente documento, el término "partículas" se refiere a aditivos conformados tridimensionales diferenciados que son distintos, tratados como unidades individuales, y separables de otros aditivos individuales, pero esto no excluye que los aditivos estén en contacto con otro. El término abarca las formas y tamaños de partículas eléctricamente conductoras descritas y definidas en el presente documento.

35 Se entiende que la expresión "relación dimensional" usada en el presente documento se refiere a la relación de la dimensión más larga a la dimensión más corta de un cuerpo tridimensional. La expresión es aplicable a aditivos de cualquier forma y tamaño como se usa en el presente documento. Cuando la expresión se usa en relación con cuerpos esféricos o sustancialmente esféricos, la relación pertinente sería la del diámetro en sección transversal más grande con el diámetro en sección transversal más pequeño del cuerpo esférico. Por lo tanto, se entenderá que una esfera perfecta tendría una relación dimensional de 1:1. Las relaciones dimensionales que se especifican en el presente documento para partículas eléctricamente conductoras se basan en las dimensiones de las partículas después de haber aplicado cualquier recubrimiento metálico.

40 Las referencias al tamaño de las partículas eléctricamente conductoras son al diámetro en sección transversal más grande de las partículas.

45 Las partículas eléctricamente conductoras adecuadas pueden incluir, a modo de ejemplo, esferas, microesferas, dendritas, perlas, polvos, cualquier otro aditivo tridimensional adecuado o cualquier combinación de los mismos.

Las partículas conductoras usadas en la presente invención pueden comprender cualquier partícula conductora adecuada. Se entenderá que esto incluiría cualquier partícula conductora adecuada que pueda reducir la resistividad en volumen y facilitar de ese modo la conductividad eléctrica del material compuesto.

50 Las partículas eléctricamente conductoras pueden seleccionarse de partículas conductoras recubiertas de metal, partículas conductoras no metálicas o una combinación de las mismas.

55 Las partículas conductoras se dispersan en la resina polimérica. Se contempla que el término "dispersada" puede incluir cuando las partículas conductoras están presentes sustancialmente por toda la resina polimérica sin estar presentes en una concentración sustancialmente mayor en ninguna parte de la resina polimérica. Adicionalmente, el término "dispersada" también incluye las partículas conductoras que están presentes en zonas localizadas de resina polimérica si la resistividad en volumen reducida se requiere solamente en zonas específicas del material compuesto.

60 Las partículas conductoras recubiertas de metal pueden comprender partículas centrales que están sustancialmente cubiertas por un metal adecuado.

Las partículas centrales pueden ser cualquier partícula adecuada. Las partículas adecuadas, a modo de ejemplo, incluyen las formadas de polímero, caucho, cerámica, vidrio, mineral o productos refractarios tales como cenizas volantes.

65 El polímero puede ser cualquier polímero adecuado que sea un polímero termoplástico o termoendurecible. Las

expresiones "polímero termoplástico" y "polímero termoendurecible" son como se caracterizan en el presente documento.

5 Las partículas centrales formadas de vidrio pueden ser cualquiera de los tipos usados para preparar microesferas sólidas o de vidrio.

Ejemplos de partículas adecuadas de vidrio que contiene sílice incluyen vidrio de sosa, borosilicato y cuarzo. Como alternativa, el vidrio puede no contener sustancialmente sílice. Los vidrios sin sílice adecuados incluyen, a modo de ejemplo, vidrios de calcogenuro.

10 Las partículas centrales pueden ser porosas o huecas o en sí mismas pueden ser una estructura de núcleo-cubierta, por ejemplo, partículas poliméricas de núcleo-cubierta. Las partículas centrales pueden recubrirse en primer lugar con una capa activadora, capa promotor de adhesión, capa de imprimación, capa semiconductor u otra capa antes de recubrirla de metal.

15 Las partículas centrales son preferiblemente partículas huecas formadas de vidrio. Puede ser ventajoso el uso de partículas centrales huecas formadas de vidrio en aplicaciones donde la reducción de peso es de particular importancia.

20 Pueden usarse mezclas de partículas centrales para obtener, por ejemplo, densidades menores u otras propiedades útiles, por ejemplo, puede usarse una proporción de partículas de vidrio recubiertas de metal huecas con una proporción de partículas de caucho recubiertas de metal para obtener una capa endurecida con una gravedad específica menor.

25 Los metales adecuados para recubrir las partículas centrales incluyen, a modo de ejemplo, plata, oro, níquel, cobre, estaño, aluminio, platino, paladio y cualquier otro metal conocido por tener alta conductividad eléctrica.

30 Pueden usarse múltiples capas de recubrimientos metálicos para recubrir las partículas centrales, por ejemplo, cobre recubierto de oro o cobre recubierto de plata. También es posible el depósito simultáneo de metales, produciendo de ese modo recubrimientos metálicos mixtos.

35 El recubrimiento metálico puede realizarse por cualquiera de los medios conocidos para recubrir partículas. Ejemplos de procesos de recubrimiento adecuados incluyen depósito químico de vapor, pulverización, galvanoplastia o depósito no electrolítico.

40 El metal puede estar presente como metal a granel, metal poroso, columnar, microcristalino, fibrilar, dendrítico o cualquiera de las formas conocidas en el recubrimiento metálico. El recubrimiento metálico puede ser liso, o puede comprender irregularidades superficiales tales como fibrillas, o bultos para aumentar el área superficial específica y mejorar la unión interfacial.

El recubrimiento metálico posteriormente puede tratarse con cualquiera de los agentes conocidos en la técnica para mejorar la unión interfacial con la resina polimérica, por ejemplo, silanos, titanatos y circonatos.

45 La resistividad eléctrica del recubrimiento metálico debe ser preferiblemente menor de $3 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$, más preferiblemente menor de $1 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$ y mucho más preferiblemente menor de $3 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$.

50 Las partículas conductor recubiertas de metal pueden ser de cualquier forma adecuada, por ejemplo, esférica, elipsoide, esferoide, discoide, dendrítica, de varillas, de discos, acicular, cuboidea o poliédrica. También pueden usarse fibras finamente picadas o molidas, tales como fibras de vidrio molidas recubiertas de metal. Las partículas pueden tener geometrías bien definidas o pueden ser de forma irregular.

Las partículas conductoras recubiertas de metal deben tener una relación dimensional de <100 , preferiblemente <10 y mucho más preferiblemente <2 .

55 La distribución de tamaños de las partículas conductoras recubiertas de metal puede ser monodispersa o polidispersa. Preferiblemente, al menos un 90 % de las partículas recubiertas de metal tienen un tamaño dentro del intervalo de $0,3 \mu\text{m}$ a $100 \mu\text{m}$, más preferiblemente de $1 \mu\text{m}$ a $50 \mu\text{m}$ y mucho más preferiblemente entre $5 \mu\text{m}$ y $40 \mu\text{m}$.

60 Las partículas eléctricamente conductoras pueden ser partículas conductoras no metálicas. Se entenderá que esto incluiría cualquier partícula no metálica adecuada que no tenga un recubrimiento metálico y que pueda reducir la resistividad en volumen y facilitar de ese modo la conductividad eléctrica del material compuesto.

65 Las partículas conductoras no metálicas adecuadas incluyen, a modo de ejemplo, copos de grafito, polvos de grafito, partículas de grafito, láminas de grafeno, fullerenos, negro de carbono, polímeros intrínsecamente conductores (ICP - incluyendo polipirrol, poliofeno y polianilina), complejos de transferencia de carga o cualquier combinación de los mismos.

Un ejemplo de una combinación adecuada de partículas conductoras no metálicas incluye combinaciones de ICP con negro de carbono y partículas de grafito.

5 La distribución de tamaños de las partículas conductoras no metálicas puede ser monodispersa o polidispersa. Preferiblemente, al menos un 90 % de las partículas conductoras no metálicas tienen un tamaño dentro del intervalo de 0,3 μm a 100 μm , más preferiblemente de 1 μm a 50 μm y mucho más preferiblemente entre 5 μm y 40 μm .

10 Las partículas eléctricamente conductoras tienen un tamaño por el que al menos un 50 % de las partículas presentes en la resina polimérica tienen un tamaño dentro de 10 μm del grosor de la capa de resina polimérica. En otras palabras, la diferencia entre el grosor de la capa de resina y el tamaño de las partículas eléctricamente conductoras es menor de 10 μm . Preferiblemente, las partículas eléctricamente conductoras tienen un tamaño por el que al menos un 50 % de las partículas presentes en la resina polimérica tienen un tamaño dentro de 5 μm del grosor de la capa de resina polimérica.

15 El tamaño de al menos un 50 % de las partículas eléctricamente conductoras, por lo tanto, es de manera que formen puentes a través del grosor de la capa intermedia (capa de resina polimérica), y las partículas estén en contacto con una capa de refuerzo fibrosa superior y una capa de refuerzo fibroso inferior dispuestas alrededor de la capa de resina polimérica.

20 Las partículas eléctricamente conductoras están presentes en el intervalo de un 0,2 % en volumen a un 20 % en volumen del material compuesto. Más preferiblemente, las partículas conductoras están presentes en el intervalo de un 0,4 % en volumen a un 15 % en volumen. Mucho más preferiblemente, las partículas conductoras están presentes en el intervalo de un 0,8 % en volumen a un 10 % en volumen.

25 En una realización alternativa, las partículas eléctricamente conductoras pueden estar presentes en una cantidad de menos de un 10 % en volumen de la capa de resina polimérica.

30 Puede observarse que los intervalos preferidos de las partículas eléctricamente conductoras se expresan en % en volumen ya que el peso de las partículas puede mostrar una gran variación debido a la variación en las densidades.

Las partículas eléctricamente conductoras pueden usarse en solitario o en cualquier combinación adecuada.

35 Si el deseo de quedar ligados excesivamente a teoría alguna, se ha descubierto que los beneficios de la invención pueden conferirse debido a las partículas conductoras (recubiertas de metal o no metálicas) que actúan como puentes de conductancia eléctrica a través del grosor de la capa intermedia (es decir, a través de la capa de resina polimérica y entre las capas de refuerzo fibroso), conectando de ese modo las capas de refuerzo fibroso y mejorando la conductancia eléctrica en dirección z.

40 También se ha descubierto que el uso de partículas eléctricamente conductoras con tamaño sustancialmente igual al grosor de la capa intermedia permite ventajosamente proporcionar conductancia eléctrica a través del material compuesto (en el plano z) a niveles de carga relativamente bajos. Estos bajos niveles de carga de partículas eléctricamente conductoras son menores que los que se requerirían normalmente para hacer que la propia resina polimérica fuera eléctricamente conductora.

45 Las partículas eléctricamente conductoras, por lo tanto, facilitan la conductividad eléctrica reduciendo la resistividad en volumen del material compuesto.

50 El material compuesto también puede comprender nanomateriales de carbono. Los nanomateriales de carbono pueden seleccionarse de nanotubos de carbono y nanofibras de carbono. Los nanomateriales de carbono pueden ser cualquier nanotubo de carbono o nanofibra de carbono adecuada.

55 Los nanomateriales de carbono pueden tener un diámetro en el intervalo de 10-500 nm. Los nanomateriales de carbono preferidos pueden tener un diámetro en el intervalo de 100 a 150 nm.

Los nanomateriales de carbono pueden tener preferiblemente una longitud en el intervalo de 1-10 μm .

60 Los nanomateriales de carbono pueden proporcionar trayectorias de conducción eléctrica adicionales a través del material compuesto (en el plano z) por formación de puentes adicionales a través de la capa intermedia. Los refuerzos fibrosos se disponen en forma de capas o láminas que comprenden varias hebras de fibra. El material compuesto comprende al menos dos capas de refuerzo fibroso que se disponen en cada lado de una capa de resina polimérica. Además de proporcionar conductividad eléctrica en los planos x e y del material, las capas actúan como capas de soporte para la estructura del material, y contienen sustancialmente la resina polimérica.

65 El refuerzo fibroso del material preimpregnado puede seleccionarse de sistemas de fibras híbridas o mixtas que comprenden fibras sintéticas o naturales, o una combinación de las mismas. El refuerzo fibroso es eléctricamente

conductor y, por lo tanto, se forma de fibras que son eléctricamente conductoras.

5 El refuerzo fibroso puede seleccionarse preferiblemente de cualquier material adecuado tal como vidrio metalizado, carbono, grafito, fibras poliméricas metalizadas (con capas metálicas continuas o discontinuas), cuyo polímero puede ser soluble o insoluble en la resina polimérica. Puede seleccionarse cualquier combinación de estas fibras. También pueden usarse mezclas de estas fibras con fibras no conductoras (tales como fibra de vidrio, por ejemplo).

El refuerzo fibroso mucho más preferiblemente se forma sustancialmente de fibras de carbono.

10 El refuerzo fibroso puede comprender fibras cuarteadas (es decir, rotas por estiramiento) o selectivamente discontinuas, o fibras continuas. Se contempla que el uso de fibras cuarteadas o selectivamente discontinuas puede facilitar la colocación del material compuesto curado antes de que se cure completamente de acuerdo con la invención, y mejorar su capacidad de conformarse.

15 El refuerzo fibroso puede estar en forma de cintas o hilos textiles tejidos, no corrugados, no tejidos, unidireccionales o multiaxiales.

20 La forma tejida se selecciona preferiblemente de un estilo liso, satinado o en líneas diagonales. Las formas no corrugada y multiaxial pueden tener varias capas y orientaciones de las fibras.

Dichos estilos y formas de refuerzo fibroso son bien conocidos en el campo refuerzos de material compuesto, y están disponibles en el mercado en empresas que incluyen Hexcel Reinforcements de Villeurbanne, Francia.

25 La resina polimérica del material preimpregnado preferiblemente comprende al menos una resina termoendurecible o termoplástica.

30 La expresión "resina termoendurecible" incluye cualquier material adecuado que sea plástico y habitualmente líquido, en polvo o maleable antes del curado y diseñado para moldearse en una forma final. La resina termoendurecible puede ser cualquier resina termoendurecible adecuada. Una vez curada, una resina termoendurecible no es adecuada para fusión y remodelado. Los materiales adecuados de resina termoendurecible para la presente invención incluyen, aunque sin limitación, resinas de fenol formaldehído, urea-formaldehído, 1,3,5-triazina-2,4,6-triamina (melamina), bismaleimida, resinas epoxídicas, resinas de éster vinílico, resinas de benzoxazina, resinas fenólicas, poliésteres, poliésteres insaturados, resinas de éster de cianato o cualquier combinación de las mismas.

35 La resina termoendurecible se selecciona preferiblemente de resinas epoxídicas, resinas de éster de cianato, bismaleimida, éster vinílico, benzoxazina y resinas fenólicas.

40 La expresión "resina termoplástica" incluye cualquier material adecuado que sea plástico o deformable, se funda en un líquido cuando se calienta y se congela en un quebradizo, y forme un esta vítreo cuando se enfría suficientemente. Una vez formada y curada, una resina termoplástica es adecuada para fusión y remodelado. Los polímeros termoplásticos adecuados para su uso con la presente invención incluyen cualquiera de los siguientes en solitario o en combinación: poliéter-sulfona (PES), poliéter-éter-sulfona (PEES), polifenilsulfona, polisulfona, poliéster, macrólidos polimerizables (por ejemplo, tereftalato de butileno cíclico), polímeros de cristal líquido, poliimida, poliéter-imida, aramida, poliamida, poliéster, policetona, poliéter-éter-cetona (PEEK), poliuretano, poliurea, poliaril-éter, poliarilsulfuros, policarbonatos, poli(óxido de fenileno) (PPO) y PPO modificado, o cualquier combinación de los mismos.

50 La resina epoxídica polimérica preferiblemente comprende al menos uno de éter diglicidílico de bisfenol-A (BPA) y éter diglicidílico de bisfenol-F (BPF) y derivados de los mismos; derivado tetraglicidílico de 4,4'-diaminodifenilmetano (TGDDM); derivado triglicidílico de aminofenoles y otros éteres glicidílicos y glicidilaminas bien conocidas en la técnica.

55 La resina polimérica es aplica al refuerzo fibroso. El refuerzo fibroso puede impregnarse completa o parcialmente por la resina polimérica. En una realización alternativa, la resina polimérica puede ser una capa separada que está proximal a, y en contacto con, el refuerzo fibroso, pero no impregna sustancialmente dicho refuerzo fibroso.

El material compuesto puede incluir al menos un agente de curado. El agente de curado puede estar sustancialmente presente en la resina polimérica. Se contempla que la expresión "sustancialmente presente" significa al menos un 90 % en peso del agente de curado, preferiblemente un 95 % en peso del agente de curado.

60 Para resinas epoxídicas, los agentes de curado de la invención son aquellos que facilitan el curado de los compuestos epoxídicos funcionales de la invención y, particularmente, facilitan la polimerización por apertura de anillo de dichos compuestos epoxídicos. En una realización particularmente preferida, dichos agentes de curado incluyen aquellos compuestos que polimerizan con el compuesto o compuestos epoxídicos funcionales, en la polimerización por apertura de anillo del mismo.

65 Pueden usarse dos o más de dichos agentes de curado en combinación.

5 Los agentes de curado adecuados incluyen anhídridos, particularmente anhídridos policarboxílicos, tales como anhídrido nádico (NA), anhídrido metilnádico, anhídrido ftálico, anhídrido tetrahidroftálico, anhídrido hexahidroftálico, anhídrido metiltetrahidroftálico, anhídrido metilhexahidroftálico, anhídrido endometilentetrahidroftálico o anhídrido trimelítico.

10 Son agentes de curado adecuados adicionales las aminas, incluyendo aminas aromáticas, por ejemplo, 1,3-diaminobenceno, 1,4-diaminobenceno, 4,4'-diaminodifenilmetano y las poliaminosulfonas, tales como 4,4'-diaminodifenil sulfona (4,4'-DDS) y 3,3'-diaminodifenil sulfona (3,3'-DDS).

15 Además, los agentes de curado adicionales pueden incluir resinas de fenol-formaldehído, tales como la resina de fenol-formaldehído que tiene un peso molecular promedio de aproximadamente 550-650, la resina de p-t-butilfenol-formaldehído que tiene un peso molecular promedio de aproximadamente 600-700 y la resina de p-n-octilfenol-formaldehído, que tiene un peso molecular promedio de aproximadamente 1200-1400.

Pueden usarse otras resinas adecuadas más que contienen grupos fenólicos, tales como resinas basadas en resorcinol y resinas formadas por polimerización catiónica, tales como copolímeros de dicitlopentadieno - fenol. Son otras resinas adecuadas adicionales resinas de melamina-formaldehído y resinas de urea-formaldehído.

20 Pueden usarse diferentes composiciones disponibles en el mercado como agentes de curado en la presente invención. Una de dichas composiciones es AH-154, una formulación del tipo de dicianidamida, disponible en Ajinomoto USA Inc. Otras que son adecuadas incluyen Ancamide 1284, que es una mezcla de 4,4'-metilendianilina y 1,3-bencenodiamina; estas formulaciones están disponibles en Pacific Anchor Chemical, Performance Chemical Division, Air Products and Chemicals, Inc., Allentown, EE. UU.

25 El uno o más agentes de curado se seleccionan de modo que proporcionen curado del componente de resina del material compuesto cuando se combine con el mismo a temperaturas adecuadas. La cantidad de agente de curado requerida para proporcionar curado adecuado del componente de resina variará dependiendo de varios factores que incluyen el tipo de resina que se esté curando, la temperatura de curado deseada y el tiempo de curado. Los agentes de curado normalmente incluyen cianoguanidina, aminas aromáticas y alifáticas, anhídridos de ácido, ácidos de Lewis, ureas sustituidas, imidazoles e hidrazinas. La cantidad particular de agente de curado requerida para cada situación particular puede determinarse por experimentación rutinaria bien establecida.

35 Los agentes de curado preferidos de ejemplo incluyen como 4,4'-diaminodifenil sulfona (4,4'-DDS) y 3,3'-diaminodifenil sulfona (3,3'-DDS).

40 El agente de curado, si está presente, puede estar presente en el intervalo de un 45 % en peso a un 2 % en peso del material compuesto. Más preferiblemente, el agente de curado puede estar presente en el intervalo de un 30 % en peso a un 5 % en peso. Mucho más preferiblemente, el agente de curado puede estar presente en el intervalo de un 25 % en peso a un 5 % en peso.

45 Los aceleradores, si están presentes, son normalmente uronas. Los aceleradores adecuados, que se pueden usar en solitario o en combinación incluyen N,N-dimetil, N'-3,4-diclorofenil urea (Diuron), N'-3-clorofenil urea (Monuron) y preferiblemente N,N-(4-metil-m-fenilén bis[N',N'-dimetilurea]) (TDI urona).

50 El material compuesto también puede incluir ingredientes adicionales tales como agentes potenciadores o modificadores del rendimiento. Los agentes potenciadores o modificadores del rendimiento, a modo de ejemplo, pueden seleccionarse de flexibilizantes, agentes/partículas endurecedoras, aceleradores adicionales, cauchos de núcleo-cubierta, agentes ignífugos, agentes humectantes, pigmentos/tintes, agentes ignífugos, plastificantes, absorbentes de UV, compuestos antifúngicos, rellenos, modificadores de la viscosidad/agentes de control de flujo, pegamentos, estabilizantes e inhibidores.

55 Los agentes/partículas endurecedoras pueden incluir, a modo de ejemplo, cualquiera de los siguientes en solitario o en combinación: poliamidas, copoliamidas, poliimididas, aramidias, policetonas, poliéter-éter-cetonas, éteres de poliarileno, poliésteres, poliuretanos, polisulfonas, polímeros hidrocarbonados de alto rendimiento, polímeros de cristal líquido, PTFE, elastómeros y elastómeros segmentados.

60 Los agentes/partículas endurecedoras, si están presentes, pueden estar presentes en el intervalo de un 45 % en peso a un 0 % en peso del material compuesto. Más preferiblemente, pueden estar presentes en el intervalo de un 25 % en peso a un 5 % en peso. Mucho más preferiblemente, pueden estar presentes en el intervalo de un 15 % en peso a un 10 % en peso.

65 Un agente/partícula endurecedora adecuada, a modo de ejemplo, es Sumikaexcel 5003P, que está disponible en el mercado en Sumitomo Chemicals de Tokio, Japón. Alternativas a 5003P sin polisulfona Solvay 105P y Solvay 104P que están disponibles en el mercado en Solvay de Bruselas, Bélgica.

Los rellenos adecuados pueden incluir, a modo de ejemplo, cualquiera de los siguientes en solitario o en combinación: silices, alúminas, titanía, vidrio, carbonato de calcio y óxido de calcio.

5 El material compuesto puede comprender una resina polimérica adicional que es al menos una resina termoendurecible o termoplástica como se define previamente.

10 Aunque es deseable que la mayoría de partículas eléctricamente conductoras estén situadas dentro de la resina polimérica del material compuesto, en general no es perjudicial si un pequeño porcentaje de dichas partículas están distribuidas dentro del refuerzo fibroso. Las partículas conductoras pueden dispersarse adecuadamente dentro de la resina polimérica del material preimpregnado mediante operaciones convencionales de mezcla o combinación.

15 La resina mezclada que contiene todos los aditivos necesarios y las partículas conductoras pueden incorporarse en el material preimpregnado por cualquiera de los métodos conocidos, por ejemplo, un denominado proceso de barniz, proceso de película de resina, extrusión, pulverización, impresión u otros métodos conocidos.

20 En un proceso de barniz, todos los componentes de la resina se disuelven o dispersan en un disolvente y el refuerzo fibroso se sumerge en el disolvente, y el disolvente después se elimina por calor. En un proceso de película de resina, la resina polimérica se moldea por colada como una película continua, a partir de un barniz o resina de fusión en caliente, en un sustrato que se ha tratado con un agente de liberación, y después la película recubierta se pone en contacto contra el refuerzo fibroso y, con la ayuda de calor y presión, la película de resina se funde y fluye a las fibras.

Puede usarse una multiplicidad de películas y uno o ambos lados de la capa de fibra puede impregnarse de esta manera.

25 Si el material preimpregnado se prepara mediante un proceso de película o barniz, la mayoría de las partículas conductoras se "filtrarán" por las fibras de refuerzo y, por tanto, se evitará sustancialmente que entren en el refuerzo fibroso porque el tamaño de las partículas es más grande que la distancia entre las fibras de refuerzo. Otros procesos tales como pulverización o impresión posibilitarían que las partículas conductoras se colocaran directamente sobre el refuerzo fibroso con muy baja penetración de dichas partículas entre las fibras. Cuando se usan partículas huecas recubiertas de metal, puede ser necesario utilizar un equipo de mezcla de menor cizallamiento para reducir el efecto de deformación que la mezcla puede producir sobre las partículas conductoras.

30 El material preimpregnado puede estar en forma de cintas continuas, hilos impregnados, tejidos, telas o longitudes troceadas de cintas, hilos impregnados, tejidos o telas. El material preimpregnado puede ser un adhesivo o película de revestimiento, y puede tener adicionalmente vehículos incrustados en diversas formas tanto tejidas, tricotadas como no tejidas.

40 Los materiales preimpregnados formulados de acuerdo con la presente invención pueden fabricarse en componentes finales usando cualquiera de los métodos conocidos, por ejemplo, colocación manual, colocación de cinta automatizada (ATL), ubicación de fibras automatizada, embolsado al vacío, curado en autoclave, curado fuera de autoclave, procesamiento asistido por fluidos, procesos asistidos por presión, proceso de molde acoplados, curado en prensa sencilla, curado en autoclave de prensado o prensado de banda continua.

45 El material compuesto, en una realización, puede comprender una sola capa de refuerzo fibroso conductor, que se ha aplicado en un lado de la capa de resina polimérica que comprende partículas eléctricamente conductoras. El material compuesto puede fabricarse en una realización de una sola capa y posteriormente formarse en múltiples capas para proporcionar una estructura intermedia por colocación. La estructura intermedia, por lo tanto, se forma durante la colocación donde surge una configuración de fibra-resina-fibra.

50 El material compuesto, por lo tanto, puede comprender un solo material preimpregnado. Como alternativa, el material compuesto puede comprender una pluralidad de materiales preimpregnados.

55 El grosor de la capa de resina polimérica del material preimpregnado está preferiblemente en el intervalo de 1 μm a 100 μm , más preferiblemente de 1 μm a 50 μm y mucho más preferiblemente de 5 μm a 50 μm .

60 Pueden usarse múltiples capas de materiales compuestos conductores. Por tanto, a modo de ejemplo, puede prepararse un ensamblaje usando 12 capas de materiales compuestos convencionales y 4 capas de materiales compuestos que comprenden partículas conductoras de la presente invención, potenciado, por tanto, la conductividad del ensamblaje final. Como ejemplo adicional, podría prepararse un ensamblaje laminado a partir de 12 capas de materiales compuestos convencionales y material compuesto que comprende partículas conductoras y sin refuerzo de fibra de carbono. Opcionalmente, cuando se usa un material compuesto de la presente invención, puede colocarse una capa eléctricamente aislante entre las capas de fibra de carbono y la superficie de resina. Por ejemplo, puede usarse una capa fibrosa reforzada con vidrio como capa aislante. Se entiende que hay muchos posibles ensamblajes que podrían usarse, y aquellos que se describen en el presente documento son a modo de ejemplo solamente.

65 Un beneficio más es que el material compuesto de la presente invención, antes de curarse totalmente, es

completamente flexible y es adecuado para procesos de colocación de cinta automatizada que se usan cada vez más en la fabricación de estructuras de material compuesto grandes en la industria aeroespacial.

5 El material compuesto de la invención puede curarse total o parcialmente usando cualquier condición adecuada de temperatura, presión y tiempo conocida en la técnica.

El material compuesto puede curarse usando un método seleccionado de radiación con UV-visible, radiación con microondas, haz de electrones, radiación gamma u otra radiación térmica o no térmica adecuada.

10 Por tanto, de acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un material compuesto curado que comprende un material compuesto de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, en el que el material compuesto está curado.

15 Aunque la mayor parte del siguiente análisis se concentra en la protección contra rayos de tormenta, se observará fácilmente que hay muchas aplicaciones potenciales para un material compuesto que muestre resistividad en volumen reducida y alta conductividad eléctrica. Por tanto, el nivel de conductividad conseguida por la presente invención hará que los materiales compuestos resultantes sean adecuados para su uso en blindaje electromagnético, protección electrostática, retorno de corriente y otras aplicaciones donde sea necesaria una conductividad eléctrica potenciada.

20 Además, aunque mucho del análisis se centra alrededor de componentes aeroespaciales, también es posible aplicar la presente invención a problemas de rayos de tormenta y otros problemas de gestión eléctrica en aerogeneradores, edificios, embarcaciones náuticas, trenes, automóviles y otras áreas de preocupación.

25 Se contempla que, la presente invención, cuando se usa para componentes aeroespaciales, puede usarse para aplicaciones de estructuras primarias (es decir, aquellas partes de la estructura que son cruciales para el mantenimiento de la integridad de la aeronave), así como aplicaciones de estructuras secundarias.

30 De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un artículo aeroespacial que comprende el material compuesto curado del quinto aspecto.

Todas las características descritas en el presente documento pueden combinarse con cualquiera de los aspectos anteriores, en cualquier combinación.

35 Para que se pueda entender más fácilmente la presente invención, a continuación se hará referencia, a modo de ejemplo, a la siguiente descripción y dibujos adjuntos, en los que;

la **figura 1** es una fotografía de una superficie superior de un panel dañado después de un rayo de tormenta simulado;

40 la **figura 2** es una fotografía de una superficie inferior del panel dañado de la figura 1 después de un rayo de tormenta simulado;

la **figura 3** es un barrido ultrasónico C del panel dañado de las figuras 1 y 2;

la **figura 4** es una fotografía de una superficie superior de un panel dañado de la presente invención después de un rayo de tormenta simulado;

45 la **figura 5** es una fotografía de una superficie inferior del panel dañado de la figura 4 de la presente invención después de un rayo de tormenta simulado;

la **figura 6** es un barrido ultrasónico C del panel dañado de las figuras 4 y 5;

la **figura 7** es una microfotografía de una sección transversal pulida del panel de las figuras 4 y 5;

la **figura 8** es una fotografía de una superficie superior de un panel dañado de la presente invención después de un rayo de tormenta simulado;

50 la **figura 9** es una fotografía de una superficie inferior del panel dañado de la figura 8 de la presente invención después de un rayo de tormenta simulado; y

la **figura 10** es un barrido ultrasónico C del panel dañado de las figuras 8 y 9.

55 En los siguientes ejemplos, "resina pura" se refiere a la resina de matriz polimérica básica, en ausencia de fibras de refuerzo, usada para fabricar el material preimpregnado.

HexPly® M21 es un material preimpregnado de resina epoxídica intercalada disponible en Hexcel Composites, Duxford, Cambridge, Reino Unido.

60 LY1556 es una resina epoxídica disponible en Hunstman Advanced Materials, Duxford, Cambridge, Reino Unido.

Se entenderá que todas las pruebas y propiedades físicas enumeradas se han determinado a presión atmosférica y a temperatura ambiente (es decir, a aproximadamente 20 °C), salvo que se indique de otro modo en el presente documento, o que se indique de otro modo en los métodos y procedimientos de prueba mencionados.

65

Ejemplo comparativo 1 (resina pura)

Se produjo una muestra de resina epoxídica pura de M21 combinando todos los componentes uniformemente y curándolos en un horno controlado termostáticamente a 180 °C durante 2 horas. Como la muestra del ejemplo comparativo 1 no comprendía ninguna partícula conductora, no está dentro del alcance de la presente invención, y se enumera con propósitos comparativos. Entonces se midió la resistividad superficial para la placa de resina curada usando un medidor de resistividad modelo 272 de Monroe Electronics colocando un electrodo circular en la superficie de la muestra de resina pura y leyendo el valor medido y presentado en el panel del instrumento. Es importante que el contacto entre la muestra y la sonda sea bueno y, por lo tanto, las muestras de resina pura deben ser planas, lisas y uniformes. Los resultados se muestran en la tabla 1

Ejemplo comparativo 2

Muestras de resina (M21) que comprendían esferas de vidrio sólido recubiertas de plata (tamaño de 20 µm) presentes a los siguientes niveles:

2-1	1,0 % en volumen (equivalente a un 2,5 % en peso)
2-2	2,0 % en volumen (equivalente a un 5,0 % en peso)
2-3	3,0 % en volumen (equivalente a un 7,5 % en peso)
2-4	4,0 % en volumen (equivalente a un 10,0 % en peso)

se prepararon y curaron en un horno a 180 °C durante 2 horas. Entonces se midió la resistividad superficial usando el mismo medidor de resistividad y el mismo procedimiento que los detallados en el ejemplo comparativo 1. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Ejemplo comparativo 3

Muestras de resina (M21) que comprendían partículas de polimetilmetacrilato (PMMA) recubiertas de plata (tamaño de 20 µm) presentes a los siguientes niveles:

3-1	2,5 % en volumen (equivalente a 2,5 % en peso)
3-2	5,0 % en volumen (equivalente a 5,0 % en peso)
3-3	7,5 % en volumen (equivalente a 7,5 % en peso)
3-4	10,0 % en volumen (equivalente a 10,0 % en peso)

se prepararon y curaron en un horno a 180 °C durante 2 horas. Entonces se midió la resistividad superficial usando un medidor de resistividad y un procedimiento como los detallados en el ejemplo comparativo 1. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Ejemplo comparativo 4

Muestras de resina (M21) que comprendían esferas de vidrio hueco recubiertas de plata (tamaño de 20 µm) presentes a los siguientes niveles:

4-1	2,5 % en volumen (equivalente a 2,5 % en peso)
4-2	5,0 % en volumen (equivalente a 5,0 % en peso)
4-3	7,5 % en volumen (equivalente a 7,5 % en peso)
4-4	10,0 % en volumen (equivalente a 10,0 % en peso)

se prepararon y curaron en un horno a 180 °C durante 2 horas. Entonces se midió la resistividad superficial usando un medidor de resistividad y un procedimiento como los detallados en el ejemplo comparativo 1. Los resultados se muestran en la tabla 1.

La resistividad superficial es una medida de la resistividad de películas delgadas que tienen grosor uniforme. La resistividad superficial se mide en ohmios/cuadrado ($\Omega/\text{cuad.}$), y es equivalente a la resistividad de sistemas bidimensionales. Por lo tanto, la expresión es una medida de la resistividad para una corriente que pasa a lo largo de la superficie, en lugar de a través del material, que se expresa como resistividad en volumen. La resistividad superficial también se denomina resistencia laminar.

Tabla 1: Resistividad superficial de resina M21 modificada con partículas conductoras.

Ejemplo	Aditivo conductor	% de carga (% en volumen)	Carga (% en peso)	Resistividad superficial (Ω /cuadrado)
1	Sin aditivo	0	0	$2,0 \times 10^{12}$
2-1	Esferas de vidrio sólido recubiertas de plata	1,0	2,5	$3,4 \times 10^{12}$
2-2	Esferas de vidrio sólido recubiertas de plata	2,0	5,0	$3,0 \times 10^{12}$
2-3	Esferas de vidrio sólido recubiertas de plata	3,0	7,5	$2,5 \times 10^{12}$
2-4	Esferas de vidrio sólido recubiertas de plata	4,0	10,0	$2,6 \times 10^{12}$
3-1	Partículas de PMMA recubiertas de plata	2,5	2,5	$2,4 \times 10^{12}$
3-2	Partículas de PMMA recubiertas de plata	5,0	5,0	$3,0 \times 10^{12}$
3-3	Partículas de PMMA recubiertas de plata	7,5	7,5	$1,8 \times 10^{12}$
3-4	Partículas de PMMA recubiertas de plata	10,0	10,0	$1,7 \times 10^{12}$
4-1	Esferas de vidrio hueco recubiertas de plata	2,5	2,5	$2,7 \times 10^{12}$
4-2	Esferas de vidrio hueco recubiertas de plata	5,0	5,0	$2,8 \times 10^{12}$
4-3	Esferas de vidrio hueco recubiertas de plata	7,5	7,5	$1,8 \times 10^{12}$
4-4	Esferas de vidrio hueco recubiertas de plata	10,0	10,0	$1,9 \times 10^{12}$

Ejemplo 5 (resina pura)

- 5 Se produjo una muestra de resina epoxídica pura LY1556 (50,0 g) en la que se añadieron nanofibras de carbono (150 nm de diámetro) como se produce por Electrovac de Austria. Usando una Flaktec Speedmixer, las fibras de distribuyeron en la resina a 2500 rpm durante 15 minuto. Se añadieron perlas recubiertas de plata (20 μ m) a un 2,0 % en volumen, nanofibras de carbono (110 nm) a un 2,0 % en peso y 4,4'-diaminodifenilsulfona a la mezcla y se combinaron por agitación. La formulación se curó en un horno controlado termostáticamente a 180 °C durante 2 horas.
- 10 Entonces se midió la resistividad superficial para la placa curada usando un medidor de resistividad modelo 272 de Monroe Electronics. Los resultados se resumen en la tabla 2.

Tabla 2: Resistividad superficial de materiales compuestos que comprenden esferas de vidrio recubiertas de plata y nanofibras de carbono (CNF).

Ejemplo	CNF de 110 nm (% en peso)	Esferas de vidrio sólido con plata (% en volumen)	Esferas de vidrio recubiertas de plata (% en peso)	Resistividad superficial (Ω /cuadrado)
1	-	-	-	2×10^{12}
2-2	-	2,0	5,0	$3,0 \times 10^{12}$
5	2	2,0	5,0	$4,7 \times 10^2$

- 15 Estos resultados muestran que la combinación de nanofibras de carbono con esferas de vidrio sólido recubiertas de plata reduce más la resistividad superficial de la resina epoxídica en comparación con una resina epoxídica que contiene solamente las esferas de vidrio sólido recubiertas de plata.
- 20 En los siguientes ejemplos, "material compuesto de carbono" se refiere a la resina de matriz básica, en presencia de fibras de carbono de refuerzo, usada para fabricar el material preimpregnado.

Ejemplo comparativo 6 (material compuesto de carbono)

- 25 La resina M21 se produjo combinando los componentes en una mezcladora Z-blade (Winkworth Machinery Ltd, Reading, Inglaterra). La resina se recubrió como una película delgada sobre papel antiadherente de silicona que después se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio IM7 disponible en (Hexcel Composites, Duxford, R.U.) a un peso de resina de un 35 % usando una prensa caliente para preparar un material preimpregnado unidireccional. Se colocó un material preimpregnado de cinco capas unidireccionalmente, que era de

aproximadamente 10 cm por 10 cm y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. En primer lugar se determinó un valor de resistencia eléctrica en la dirección z del material compuesto por pulverización de oro de un cuadrado en cada lado de una muestra de forma rectangular para garantizar una baja resistencia al contacto. Entonces se midió la resistividad aplicando sondas a la zona pulverizada con oro de las muestras y usando una fuente de potencia (TTi EL302P Programmable 30V/2A Power Supply Unit, Thurlby Thandar Instruments, Cambridge, R.U.) que podía variar de voltaje o corriente.

Ejemplo 7 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con esferas de vidrio recubiertas de plata (20 µm) a un intervalo de un 0,8-2,4 % en volumen de la resina y los componentes se combinaron en una mezcladora Winkworth. La resina se recubrió como una película delgada sobre papel antiadherente de silicona y después se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio IM7 a un peso de resina de un 35 % usando una prensa caliente para preparar un material preimpregnado unidireccional. Se colocó un material preimpregnado de cinco capas de aproximadamente 10 cm por 10 cm unidireccionalmente y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. Se determinó un valor de resistencia eléctrica en la dirección z de acuerdo con el método del ejemplo 5. Los resultados se resumen en la tabla 3.

Tabla 3: Resistividad en volumen de material compuesto de carbono modificado con esferas de vidrio recubiertas de plata.

Ejemplo	Esferas de vidrio recubiertas de plata (% en volumen)	Esferas de vidrio recubiertas de plata (% en peso)	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
6	-	-	3,66
7-1	0,8	2	2,13
7-2	1,6	4	1,89
7-3	2,4	6	1,75

Los resultados de la tabla 3 muestran claramente una disminución en la resistividad en volumen en la dirección z en comparación con un material de resina pura del ejemplo comparativo 6, y también reducción de la resistividad cuando la cantidad de esferas de vidrio recubiertas de plata se aumenta en el material.

Ejemplo 8 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con esferas de vidrio hueco recubiertas de plata (20 µm) a un intervalo de un 2,5-10,0 % en volumen de la resina y los componentes se combinaron en una mezcladora Winkworth. La resina se recubrió como una película delgada sobre papel antiadherente de silicona y después se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio IM7 a un peso de resina de un 35 % usando una prensa caliente para preparar un material preimpregnado unidireccional. Se colocó un material preimpregnado de cinco capas de aproximadamente 10 cm por 10 cm unidireccionalmente y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. Se determinó un valor de resistencia eléctrica en la dirección z de acuerdo con el método del ejemplo 6. Los resultados se resumen en la tabla 4.

Tabla 4: Resistividad en volumen de material compuesto de carbono modificado con esferas de vidrio hueco recubiertas de plata de acuerdo con el ejemplo 8.

Ejemplo	Esferas de vidrio hueco recubiertas de plata (% en volumen)	Esferas de vidrio hueco recubiertas de plata (% en peso)	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
8-1	2,5	2,5	0,116
8-2	5,0	5,0	0,064
8-3	7,5	7,5	0,032
8-4	10,0	10,0	0,019

Los resultados de la tabla 4 muestran claramente una disminución en la resistividad en volumen en la dirección z con aumentos en la cantidad de esferas de vidrio recubiertas de plata en el material.

Ejemplo 9 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con partículas de polimetilmetacrilato recubiertas de plata (20 µm) a un intervalo de un 2,5-10,0 % en volumen de la resina. La resina se produjo combinando los componentes en una mezcladora Winkworth.

La resina se recubrió como una película delgada sobre papel antiadherente de silicona y después se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio IM7 a un peso de resina de un 35 % usando una prensa caliente para preparar un material preimpregnado unidireccional. Se colocó un material preimpregnado de cinco capas de aproximadamente 10 cm por 10 cm unidireccionalmente y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. Se determinó un valor de resistencia eléctrica en la dirección z de acuerdo con el método del ejemplo 6. Los resultados se resumen en la tabla 5.

Tabla 5: Resistividad en volumen de material compuesto de carbono modificado con esferas de PMMA recubiertas de plata.

Ejemplo	Partículas de PMMA recubiertas de plata (% en volumen)	Partículas de PMMA recubiertas de plata (% en peso)	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
9-1	2,5	2,5	0,567
9-2	5,0	5,0	0,103
9-3	7,5	7,5	0,110
9-4	10,0	10,0	0,052

Los resultados de la tabla 5 muestran claramente una disminución en la resistividad en volumen en la dirección z con aumentos en la cantidad de esferas de vidrio recubiertas de plata en el material.

Ejemplo 10 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con plata/cobre dendrítico (40 μm) a una carga de un 0,30 % en volumen de la resina. La resina se produjo combinando los componentes en una mezcladora Winkworth. La resina se recubrió como una película delgada sobre papel antiadherente de silicona y después se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio IM7 a un peso de resina de un 35 % usando una prensa caliente para preparar un material preimpregnado unidireccional. Se colocó un material preimpregnado de cinco capas de aproximadamente 10 cm por 10 cm unidireccionalmente y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. Se determinó un valor de resistencia eléctrica en la dirección z de acuerdo con el método del ejemplo 6. Los resultados se resumen en la tabla 6.

Ejemplo 11 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con perlas de vidrio recubiertas de plata (100 μm) a una carga de un 1,0 % en volumen de la resina. Se produjo un material preimpregnado y material compuesto de acuerdo con el ejemplo 9. Se determinó el valor de resistencia eléctrica en la dirección z según el ejemplo 6. Los resultados se resumen en la tabla 6.

Ejemplo 12 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con fibras de vidrio recubiertas de plata (190 μm) a una carga de un 1,25 % en peso de la resina. Se produjo un material preimpregnado y material compuesto de acuerdo con el ejemplo 9. Se determinó el valor de resistencia eléctrica en la dirección z según el ejemplo 6. Los resultados se resumen en la tabla 6.

Tabla 6: Resistividad en volumen de material compuesto de carbono modificado con diferentes partículas conductoras.

Ejemplo	Partícula conductora	Partículas (% en volumen)	Partículas (% en peso)	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
10	Planta/cobre dendrítico (40 μm)	0,30	2,5	12,26
11	Perlas de vidrio recubiertas de plata (100 μm)	1,0	2,5	1,10
12	Fibras de vidrio recubiertas de plata (190 μm)	1,25	2,5	2,89

Los resultados de la tabla 6 muestran una disminución en la resistividad en volumen en la dirección z en general con aumentos en la cantidad de partículas eléctricamente conductoras. Adicionalmente, los resultados muestran una reducción particularmente buena en el ejemplo 11 donde se usan esferas de vidrio recubiertas de plata que tienen un tamaño sustancialmente igual al grosor de la capa de resina polimérica.

Ejemplo 13 (material compuesto de carbono)

Se produjo material preimpregnado M21 de acuerdo con el ejemplo 12. Se preparó un laminado cuasiisotrópico (QI) de 6 capas de tamaño aproximado de 10 cm x 10 cm y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. La temperatura de transición vítrea, T_g , del material compuesto se determinó por análisis térmico dinámico a partir del coeficiente de almacenamiento vestigial, E' , en 194,5 °C. Se cortó una muestra cuadrada del panel curado y se midió la resistividad en la dirección z de la siguiente manera. Para garantizar el buen contacto eléctrico, se recubrieron al vacío las partes apropiadas del material compuesto con oro en las cercanías donde tenía que hacerse conexión con el suministro de energía. Entonces se midió la resistividad aplicando una corriente de 1 amperio desde el suministro de energía y midiendo el voltaje resultante.

Tabla 7: Resistividad en volumen del material compuesto del ejemplo 16.

Dirección	Colocación y tamaño	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
z	QI (3,9 cm x 3,9 cm x 0,16 cm)	19,70

Ejemplo 14 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con perlas de vidrio recubiertas de planta de 20 μm (2 % en volumen, 5 % en peso) y se produjo material preimpregnado de acuerdo con el método del ejemplo 13. Se preparó un laminado cuasiisotrópico de 6 capas de tamaño aproximado de 10 cm x 10 cm y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. La temperatura de transición vítrea (T_g) del material compuesto se determinó según el ejemplo 14 en 196,0 °C. Por tanto, la adición de las perlas recubiertas de plata no tiene un efecto perjudicial sobre la T_g . Se cortó una muestra cuadrada del panel curado y se midió la resistividad en la dirección z según el ejemplo 13. La resistividad mejora significativamente.

Tabla 8: Resistividad en volumen del material compuesto del ejemplo 14.

Dirección	Colocación y tamaño	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
z	QI (3,8 cm x 3,8 cm x 0,16 cm)	0,024

Ejemplo 15 (material compuesto de carbono)

La resina M21 se modificó con perlas de vidrio recubiertas de plata de 20 μm (2 % en volumen, 5 % en peso) y nanofibras de carbono (150 nm de diámetro) al 2 % en peso de la resina. Se produjo material preimpregnado de acuerdo con el ejemplo 13. Se preparó un laminado cuasiisotrópico de 12 capas de tamaño aproximado de 10 cm x 10 cm y se curó en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. La temperatura de transición vítrea (T_g) del material compuesto se determinó según el ejemplo 14 en 196,5 °C. Por tanto, la adición de las perlas recubiertas de plata no tuvo un efecto perjudicial sobre la T_g . Se cortó una muestra cuadrada del panel curado y se midió la resistividad en la dirección z según el ejemplo 13. La resistividad mejora significativamente.

Tabla 9: Resistividad en volumen del material compuesto del ejemplo 15.

Dirección	Colocación y tamaño	Resistividad en volumen en la dirección z (Ωm)
z	QI (3,8 cm x 3,8 cm x 0,16 cm)	0,023

Ejemplo 16 (rayo de tormenta simulado)

Se produjo resina M21 usando una mezcladora Winkworth y después se depositó como una película en papel antiadherente de silicona. Esta película de resina entonces se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio unidireccional, usando un aparato de preimpregnado UD a escala piloto, que produjo un material preimpregnado con un peso de área de 268 g/m² al 35 % en peso de resina. Se produjeron dos materiales preimpregnados de seis capas (colocación 0/90) que eran de aproximadamente 60 cm por 60 cm y estos se curaron en una mesa de vacío a una presión de 7 a 177 °C durante 2 horas.

Los paneles se sometieron a prueba en la zona 1A; las superficies de la aeronave para las que hay una alta probabilidad de fijación de un relámpago inicial (entrada o salida) con baja probabilidad de que se mantenga el relámpago en el mismo, tales como radomos y bordes de ataque. La zona 1A también incluye zonas de fijación de frentes de barrido. La prueba de la zona 1A tiene tres componentes de forma de onda, componente A de alta corriente (2 x 10⁶ A, <500 μs), componente B de corriente intermedia (promedio 2 kA, <5 ms) y componente C de corriente continua (200 C, <1 s). Ambas superficies de los paneles se erosionaron alrededor de los bordes para garantizar una buena conexión con el ensamblado exterior. El electrodo se conectó al panel mediante un cable de cobre delgado. El cable de cobre proporciona una trayectoria para la corriente y se vaporiza en la prueba. Se necesita que el voltaje generado no sea suficiente para descomponer el aire.

Las figuras 1 y 2 muestran un panel dañado del ejemplo 16 después de un rayo de tormenta simulado. El panel 10,

que no comprende partículas recubiertas de metal, mostró daño importante tanto en la superficie superior 11 mostrada en la figura 1 como en la superficie inferior 12 mostrada en la figura 2.

5 También se realizó un barrido ultrasónico c 20 y se muestra en la figura 3. El barrido ultrasónico C 20 del panel dañado 10 mostrado en las figuras 1 y 2 se realizó usando un R/D Tech Omniscan MX de Olympus. El barrido 20 muestra que la zona dañada para un panel sin modificar 10 es muy grande.

Tabla 10: Parámetros de prueba de pruebas de rayo de tormenta para el ejemplo 16.

Figura	Corriente de componente A, I (kA)	Integral de acción, AI (10 ⁶ A ² s)	Corriente de componente B, I (kA)	Carga de componente C, Q
1	191,7	2,04	1,74	31,3
2	191,7	2,04	1,72	24,3

10 **Tabla 11:** Descripción de la zona dañada después de la prueba de rayo de tormenta

Figura	Descripción del daño
1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Superficie superior; deslaminación y fibras secas. Quemadura inusual en la superficie. 330 mm x 250 mm ■ Superficie inferior; deslaminación y fibras secas. 420 mm x 230 mm. Orificio a través del panel.
2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Superficie superior; deslaminación y fibras secas. 280 mm x 270 mm. ■ Superficie inferior; deslaminación y fibras secas. 510 mm x 180 mm

La zona blanca 21 del barrido c 20 es donde se ha producido la deslaminación del ejemplo 16 después de la prueba de rayo de tormenta simulado. Esto muestra que la zona dañada es grande para el panel 10 del ejemplo 16, que no comprende partículas recubiertas de metal.

15 **Ejemplo 17 (rayo de tormenta simulado)**

La resina M21 se modificó con esferas de vidrio recubiertas de plata (2 % en volumen, 5 % en peso de resina), combinadas usando una mezcladora Winkworth y después se depositó como una película en papel antiadherente de silicón. Esta película de resina entonces se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio unidireccional, que produjo un material preimpregnado con un peso de área de 268 g/m² al 35 % en peso de resina. Se produjeron dos materiales preimpregnados de seis capas (colocación 0/90) que eran de aproximadamente 60 cm por 60 cm y se curaron en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. Entonces se realizó una prueba de rayo de tormenta de acuerdo con el método del ejemplo 16.

25 Las figuras 4 y 5 muestran un panel dañado 30 después de un rayo de tormenta simulado. La figura 4 muestra una superficie superior 31 del panel 30, y la figura 5 muestra una superficie inferior 32 del panel 30. Se observa claramente que el rayo de tormenta simulado no ha penetrado en el panel de material compuesto 30 de la invención.

30 Se realizó un barrido ultrasónico c 40 sobre el panel 30 afectado por el rayo usando un R/D Tech Omniscan MX de Olympus. El barrido 40 se muestra en la figura 6. El barrido 40 muestra que la zona blanca 41 del panel modificado 30 se reduce en comparación con el ejemplo 16 sin modificar de las figuras 1 y 2.

35 Por lo tanto, el panel 30 con partículas recubiertas de metal tiene una zona de daño mucho más reducida en comparación con el panel del ejemplo comparativo como se muestra en las figuras 1 y 2.

Tabla 12: Parámetros de prueba de pruebas de rayo de tormenta para el ejemplo 17.

Figuras	Corriente de componente A, I (kA)	Integral de acción, AI (10 ⁶ A ² s)	Corriente de componente B, I (kA)	Carga de componente C, Q
4	197,1	2,20	1,74	25,0
5	195,7	2,10	1,75	29,3

Tabla 13: Descripción de la zona dañada después de la prueba de rayo de tormenta

Figuras	Descripción del daño
4	Sin daño visible en el tejido interior, dividido y con copete sobre 280 x 240 mm en el tejido exterior
5	Sin daño visible en el tejido interior, dividido y con copete sobre 280 x 220 mm en el tejido exterior

La figura 7 muestra una microfotografía 50 de una sección transversal pulida del panel 30 mostrado en las figuras 4 y 5. Se observa claramente que las esferas de vidrio recubiertas de plata 53 están situadas en la capa intermedia de resina 52, y están en contacto con las capas de carbono 51.

5

Ejemplo 18 (rayo de tormenta simulado)

La resina M21 se modificó con esferas de vidrio recubiertas de plata (2 % en volumen, 5 % en peso de resina) y nanofibra de carbono (150 nm de diámetro, 2 % en peso de resina) combinadas usando una mezcladora Winkworth y después se depositó como una película en papel antiadherente de silicona. Esta película de resina entonces se impregnó sobre fibra de carbono de coeficiente intermedio unidireccional, que produjo un material preimpregnado con un peso de área de 268 g/m² al 35 % en peso de resina. Se produjeron dos materiales preimpregnados de seis capas (colocación 0/90) que eran de aproximadamente 60 cm por 60 cm y se curaron en una mesa de vacío a una presión de 7 bar a 177 °C durante 2 horas. Entonces se realizó una prueba de rayo de tormenta de acuerdo con el método del ejemplo 16.

10

15

Las figuras 8 y 9 muestran un panel dañado 60 después de un rayo de tormenta simulado. La figura 8 muestra una superficie superior 61 del panel 60, y la figura 9 muestra una superficie inferior 62 del panel 60. Se observa claramente que el rayo de tormenta simulado no ha penetrado en el panel de material compuesto 60 de la invención.

20

Se realizó un barrido ultrasónico c 70 sobre el panel 60 afectado por el rayo usando un R/D Tech Omniscan MX de Olympus. El barrido 70 se muestra en la figura 10. El barrido 40 muestra que la zona blanca 41 del panel modificado 60 se reduce en comparación con el panel 10 sin modificar de las figuras 1 y 2.

25

Por lo tanto, el panel 60 con partículas recubiertas de metal y nanofibras de carbono tiene una zona de daño mucho más reducida en comparación con el ejemplo 16 como se muestra en las figuras 1 y 2.

Tabla 14: Parámetros de prueba de pruebas de rayo de tormenta para el ejemplo 18.

Figuras	Corriente de componente A, I (kA)	Integral de acción, AI (10 ⁶ A ² s)	Corriente de componente B, I (kA)	Carga de componente C, Q
8	198,4	2,20	1,74	25,0
9	197,1	2,10	1,75	29,3

30

Tabla 15: Descripción de la zona dañada después de la prueba de rayo de tormenta.

Figuras	Descripción del daño
8	Sin daño visible en el tejido interior, dividido en 300 mm, con copete sobre 300 x 200 mm en el tejido exterior.
9	Sin daño visible en el tejido interior, dividido en 300 mm, con copete sobre 200 x 200 mm en el tejido exterior.

Por lo tanto, se muestra que el uso de partículas eléctricamente conductoras en una resina polimérica de un material compuesto proporciona resistividad reducida. Esta resistividad reducida proporciona rendimiento mejorado del material compuesto durante rayos de tormenta como se muestra en los ejemplos 16 a 18.

35

Debe entenderse que la invención no se limita a los detalles de las realizaciones anteriores, que se describen solo a modo de ejemplo. Muchas variaciones son posibles.

REIVINDICACIONES

1. Un material compuesto que comprende un material multiestratificado que tiene una resina polimérica intermedia, intercalada entre capas de fibras eléctricamente conductoras,
5 comprendiendo la resina polimérica partículas eléctricamente conductoras para reducir la resistividad en volumen del material compuesto, estando presentes dichas partículas conductoras en el intervalo de un 0,2 % en volumen a un 20 % en volumen del material compuesto y las partículas eléctricamente conductoras tienen un tamaño por el que al menos un 50 % de las partículas presentes en la resina polimérica tienen un tamaño dentro de 10 µm del grosor de la capa de resina polimérica.
10
2. Un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las partículas eléctricamente conductoras están presentes en una cantidad de menos de un 10 % en volumen de la capa de resina polimérica.
- 15 3. Un material compuesto de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que las partículas eléctricamente conductoras comprenden partículas conductoras recubiertas de metal o partículas conductoras no metálicas.
4. Un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 3, en el que las partículas conductoras recubiertas de metal comprenden partículas centrales que están sustancialmente cubiertas por un metal adecuado.
20
5. Un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, en el que las partículas conductoras recubiertas de metal tienen una relación dimensional de <100.
6. Un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que al menos un 90 % de las partículas conductoras recubiertas de metal tienen un tamaño en el intervalo de 0,3 µm a 100 µm.
25
7. Un material compuesto de acuerdo con cualquiera de la reivindicación 4 a 6, en el que las partículas centrales se seleccionan de polímero, caucho, cerámica, vidrio, mineral o productos refractarios, preferiblemente las partículas centrales son porosas, huecas o tienen una estructura de núcleo-cubierta.
30
8. Un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que los metales adecuados para recubrir las partículas centrales incluyen plata, oro, níquel, cobre, estaño, aluminio, platino o paladio.
9. Un material compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8, en el que la resistividad eléctrica del recubrimiento metálico es menor de $3 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$.
35
10. Un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 3, en el que las partículas conductoras no metálicas se seleccionan de copos de grafito, polvos de grafito, partículas de grafito, láminas de grafeno, fullerenos, negro de carbono, polímeros intrínsecamente conductores (ICP - incluyendo polipirrol, politiofeno, polianilina), complejos de transferencia de carga o cualquier combinación de los mismos.
40
11. Un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 10, en el que al menos un 90 % de las partículas conductoras no metálicas tienen un tamaño en el intervalo de 0,3 µm a 100 µm.
- 45 12. Un material compuesto de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material compuesto comprende nanomateriales de carbono.
13. Un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 12, en el que los nanomateriales de carbono se seleccionan de nanofibras de carbono, nanotubos de carbono o una combinación de los mismos.
50
14. Un material compuesto de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que las partículas eléctricamente conductoras están presentes en el intervalo de un 0,4 % en volumen a un 15 % en volumen del material compuesto.
15. Un método de fabricación de un material compuesto que comprende un material multiestratificado que tiene una resina polimérica intermedia, intercalada entre capas de fibras, que comprende las etapas de:
55
- i) proporcionar al menos dos capas de refuerzo fibroso eléctricamente conductor; y una capa de al menos una resina polimérica situada entre las dos capas; y
 - ii) dispersar partículas eléctricamente conductoras en la resina polimérica en el intervalo de un 0,2 % en volumen a un 20 % en volumen del material compuesto; en el que las partículas eléctricamente conductoras tienen un tamaño por el que al menos un 50 % de las partículas presentes en la resina polimérica tienen un tamaño dentro de 10 µm del grosor de la capa de resina polimérica.
60
16. Un material compuesto curado, que comprende un material compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material compuesto está curado.
65

17. Un artículo aeroespacial que comprende el material compuesto curado de la reivindicación 16.

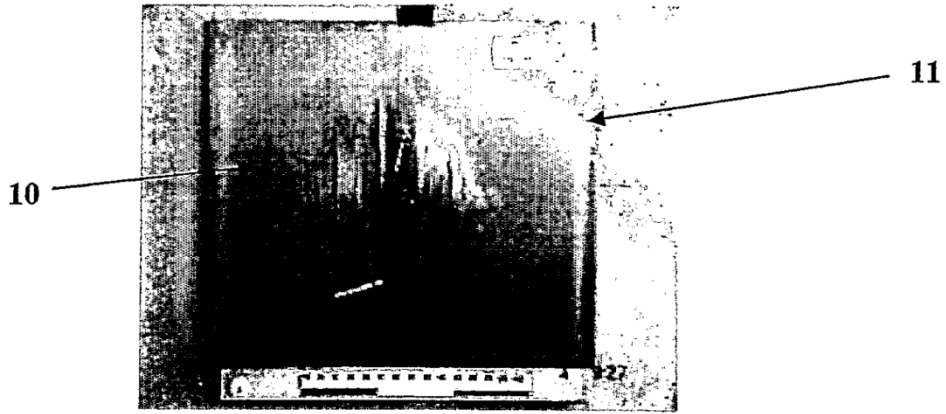


Figura 1

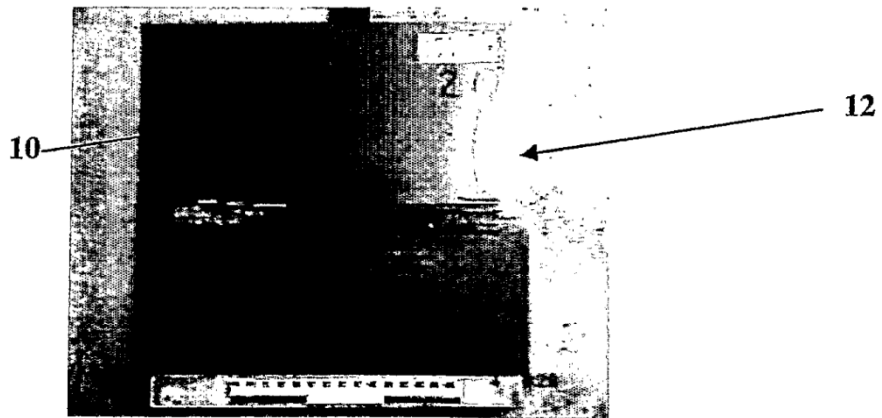


Figura 2

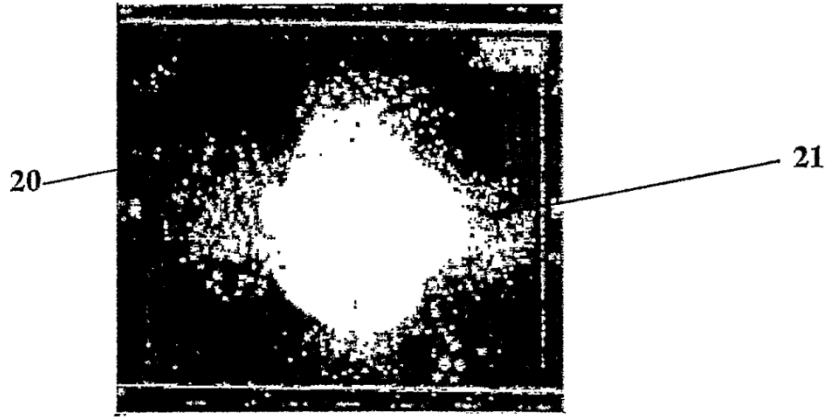


Figura 3

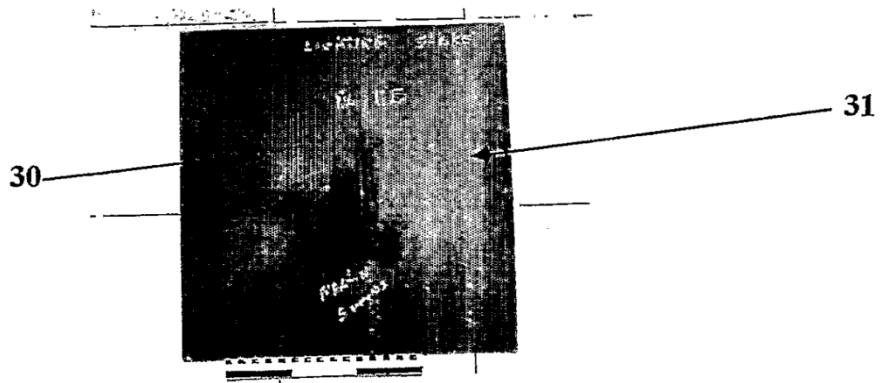


Figura 4

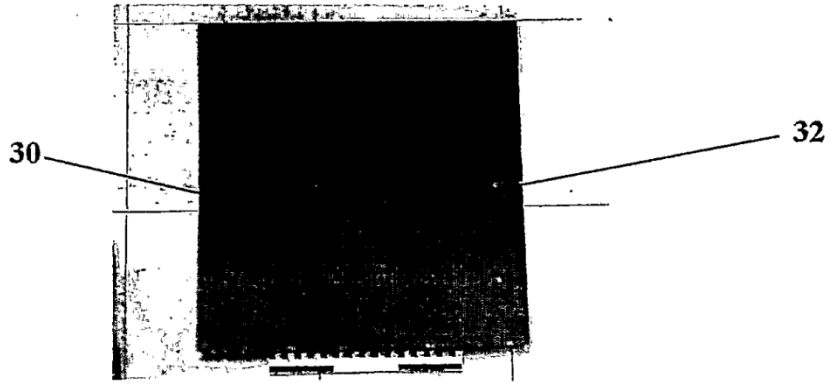


Figura 5

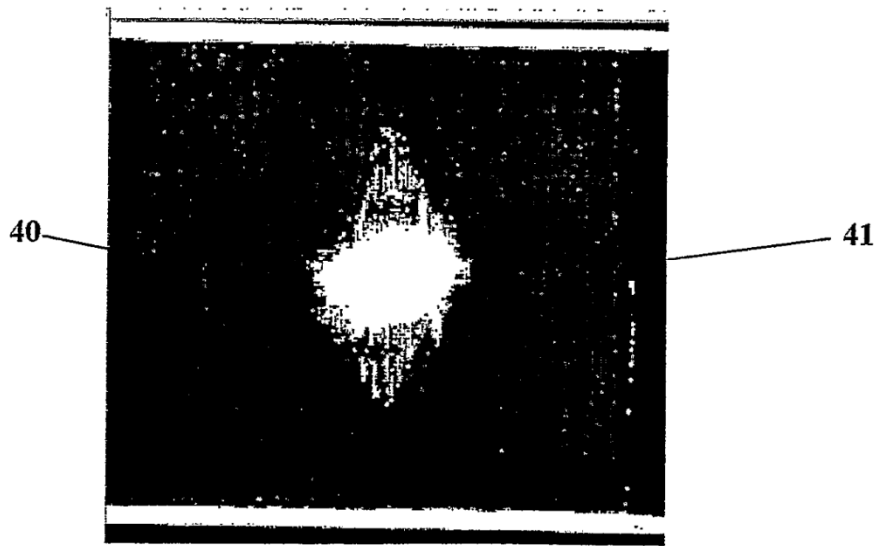


Figura 6

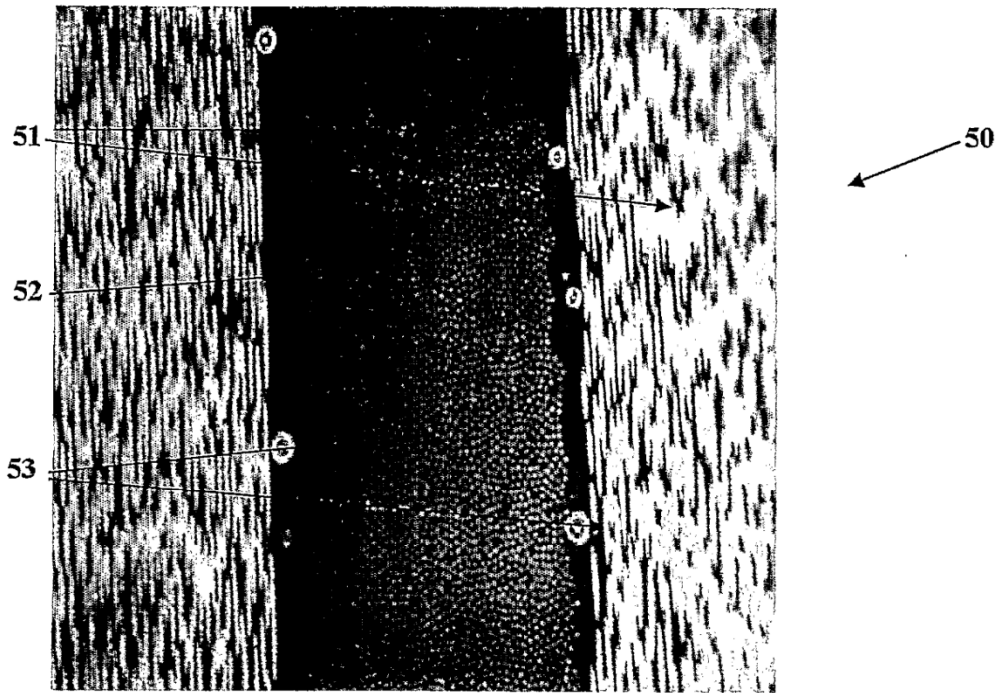


Figura 7

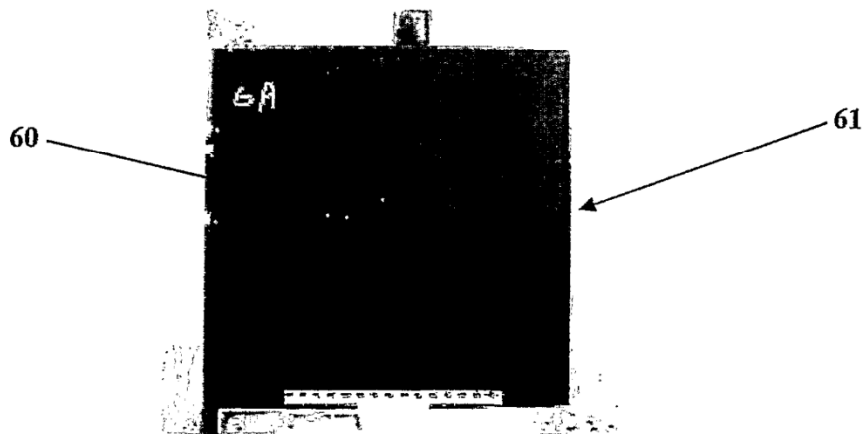


Figura 8

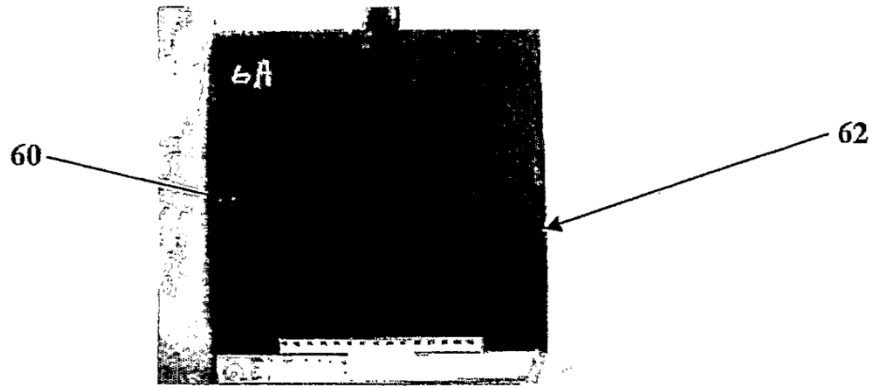


Figura 9

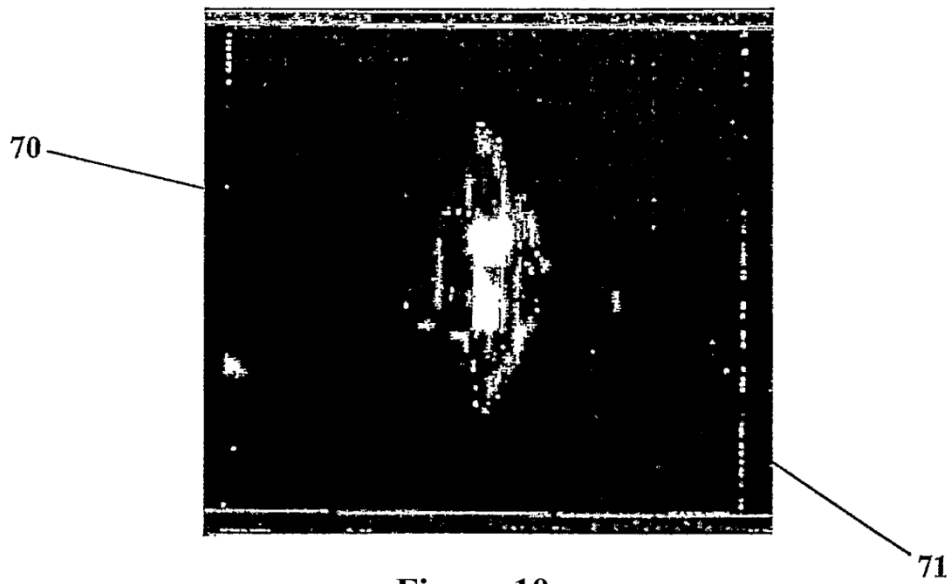


Figura 10