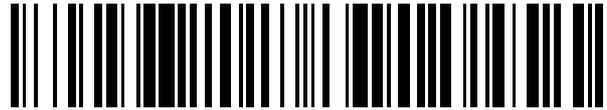


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 631**

51 Int. Cl.:

**B29C 67/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2011 E 11791650 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2015 EP 2646242**

54 Título: **Laminado de material compuesto reforzado fibra-lámina metálica**

30 Prioridad:

**29.11.2010 NL 2005779**

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

**22.07.2015**

73 Titular/es:

**GTM-ADVANCED STRUCTURES B.V. (100.0%)**

**Laan van Ypenburg 84**

**2497 GB 's-Gravenhage, NL**

72 Inventor/es:

**GUNNINK, JAN WILLEM**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 541 631 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**

Laminado de material compuesto reforzado fibra-lámina metálica

**CAMPO DE LA INVENCION**

5 La presente invención se refiere a un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí. Más concretamente, la invención se refiere a un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí que tiene una configuración óptima.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

10 El comportamiento bajo carga de las estructuras de ingeniería está determinado por muchos parámetros de diseño, y la definición del material óptimo para una aplicación específica es a menudo una tarea tediosa y además tiene que tratar con requisitos contrapuestos. Entre los materiales ingenieriles habitualmente utilizados están los metales, como las aleaciones de acero, las aleaciones de titanio, las aleaciones de aluminio; los materiales compuestos reforzados con fibras, como materiales compuestos de fibra de vidrio, materiales compuestos de fibra de carbono, y materiales compuestos de aramida; y los materiales híbridos, que se definen más adelante con mayor detalle.

15 Los materiales compuestos reforzados con fibras ofrecen una considerable ventaja de peso sobre otros materiales preferidos, por ejemplo sobre los metales. Por lo general, los ahorros de peso se obtienen sacrificando otras propiedades importantes del material tales como la ductilidad, la tenacidad, la resistencia bajo carga, la conductividad y la capacidad de conformado en frío. Para superar estas deficiencias, se han desarrollado nuevos materiales híbridos denominados laminados fibra-metal para combinar los mejores atributos del metal y de los materiales compuestos.

20 Los laminados fibra-metal, tales como los descritos en las Patentes US 4.500.589 y US 5.039.571 se obtienen apilando capas delgadas de metal (lo más preferiblemente aluminio) y prepregs reforzados con fibras alternantes, y curando el apilamiento bajo calor y presión. Estos materiales se utilizan cada vez más en industrias tales como la industria del transporte, por ejemplo en barcos, automóviles, trenes, aeronaves y naves espaciales. Se pueden utilizar como láminas y/o como elemento de refuerzo y/o como rigidizador para estructuras (del cuerpo) de estos medios de transportes, por ejemplo en aeronaves para paneles de las alas, del fuselaje y de la cola y/o para otros paneles de revestimiento y elementos estructurales de la aeronave.

25 La patente US 2005/175813 A1 describe un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí. Las fibras apropiadas para el laminado, tales como las fibras M5 y Zylon descritas, tienen un módulo de tracción superior a 270 GPa.

30 La Patente EP 2085215 A1 describe varias posibles combinaciones de laminados fibra-metal de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, incluyendo un laminado fibra-metal que combina capas de material compuesto de fibra de vidrio S2 con láminas de aleación de aluminio 2024-T3.

35 Las estructuras tienen que cumplir muchos requisitos de diseño que van desde cargas estáticas a fatiga, impacto, corrosión, respuesta/amortiguamiento estructural, peso, coste, y más. Aunque los laminados fibra-metal pueden proporcionar mayor resistencia a fatiga (en particular a la propagación de grietas) que las aleaciones metálicas, como por ejemplo las aleaciones de aluminio, su comportamiento en una estructura todavía está abierto a mejora. En particular, sería muy deseable que se pudieran identificar el metal y las fibras adecuadas desde el punto de vista de sus propiedades para conseguir las prestaciones globales adecuadas del laminado fibra-metal (también denominado FML), basándose en estos constituyentes.

40 Es un objeto de la invención proporcionar un laminado fibra-metal que comprenda capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí con una respuesta estructural óptima.

**RESUMEN DE LA INVENCION**

45 De acuerdo con un aspecto de la presente invención se proporciona un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí con un rango de propiedades de fibra y metal que proporcionen una respuesta estructural óptima.

50 De acuerdo con la presente invención se proporciona un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí, en el cual las propiedades de fibra y metal en al menos una combinación de una capa de material compuesto reforzado con fibras y una lámina metálica contigua cumplan las siguientes relaciones de forma simultanea:

$$\epsilon_{\text{fibra a tracción}} > K_{\text{sf}} * \sigma_{\text{tu}} / (1,5 * E_{\text{t metal}}) \tag{1}$$

$$E_{\text{fibra a tracción}} > K_{\text{stiff}} * E_{\text{t metal}} \tag{2}$$

$$\epsilon_{\text{fibra a compresión}} > K_{\text{sf}} * \sigma_{\text{tu}} / (1,5 * K_{\text{f}} * E_{\text{t metal}}) \tag{3}$$

donde el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$ , el factor de rigidez  $K_{stiff}$  y el factor de carga  $K_{if}$  cumplen:

$$2,75 \leq K_{sf} < 5,7 \quad (4)$$

$$K_{stiff} \geq 1,28 \quad (5)$$

$$1,5 \leq K_{if} \leq 3,5 \quad (6)$$

5 y donde

$\sigma_{tu}$  = resistencia última a tracción del metal

$E_{t \text{ metal}}$  = módulo de Young a tracción del metal

$\varepsilon_{\text{ fibra a tracción}}$  = deformación elástica a tracción de la fibra

$E_{\text{ fibra a tracción}}$  = módulo elástico a tracción de la fibra

10  $\varepsilon_{\text{ fibra a compresión}}$  = deformación elástica a compresión de la fibra

Los laminados de acuerdo con la invención utilizan una combinación fibra-metal que cumple las relaciones (1) a (6) anteriores. Estas configuraciones se obtienen fácilmente seleccionando en primer lugar un metal, determinando su resistencia última a tracción y su módulo de Young a tracción a temperatura ambiente y calculando las deformaciones elásticas de la fibra (a tracción y a compresión) mínimas necesarias y el módulo elástico de la fibra con la ayuda de las relaciones (1) a (3), utilizando los valores mínimos para el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$ , el factor de rigidez  $K_{stiff}$  y el valor máximo para el factor de carga  $K_{if}$ , tal como se define en las relaciones (4) a (6). Cualquier fibra con una deformación elástica que supere los valores de deformación calculados (ecuaciones 1 y 3), y con un módulo elástico que supere el módulo calculado (ecuación 2) proporcionará un laminado con las prestaciones deseadas en una estructura que esté diseñada para situaciones de carga complejas, la cual se puede cargar a compresión, y/o a tracción y/o a fatiga.

Cuando se habla de un laminado fibra-metal óptimo se hace referencia a un laminado fibra-metal que, cuando se utiliza en una estructura, tiene la combinación adecuada de rigidez, resistencia estática y resistencia a fatiga. La invención se basa en la percepción de que en las estructuras, un parámetro de diseño importante es el relacionado con la concentración de deformaciones, y no, como es práctica habitual, con la concentración de tensiones. La selección de las propiedades del material basándose en el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$  es única y constituye un importante avance.

Para obtener un laminado fibra-metal robusto de acuerdo con la invención, es importante que se elija correctamente el factor de rigidez  $K_{stiff}$ . Ha resultado que un factor de rigidez  $K_{stiff} \geq 1,28$  proporciona prestaciones estructurales óptimas. Con respecto a esto son importantes dos motores principales, a saber, el comportamiento estructural a fatiga y la rigidez general (predominantemente para compresión-pandeo y para prestaciones aero-elásticas). La iniciación de fisuras de las capas metálicas puede comenzar de forma prematura debido a la fabricación de productos y a mayores cargas aplicadas. Eligiendo  $K_{stiff} \geq 1,28$  se garantiza que la fibra tiene rigidez suficiente para soportar a la capa metálica y que su rigidez coincida adecuadamente con la rigidez del metal aplicado en el laminado fibra-metal. Los laminados fibra-metal preferidos son aquellos en los cuales el factor de rigidez  $K_{stiff}$  se elige de tal manera que se cumple  $K_{stiff} \geq 1,34$ , y los más preferidos son aquellos en los que  $K_{stiff}$  se elige de tal manera que se cumple  $K_{stiff} \geq 1,42$ .

El factor de concentración de deformaciones para estructuras de materiales compuestos reforzados con fibras dominadas por carga de tracción y de fatiga varía típicamente entre  $2,75 \leq K_{sf} < 5,7$ , dado que las estructuras de materiales compuestos tienen típicamente un valor de deformación de diseño última a tracción de  $0,4\% < \varepsilon < 0,5\%$ , las fibras de carbono aplicadas en dichas estructuras tienen deformaciones a rotura del orden de  $\varepsilon_f = 1,5\%$  y, en general, las fibras de material compuesto están trabajando a tracción más o menos elástica hasta su rotura. Se ha descubierto que adoptando el rango de factor de concentración de deformaciones de acuerdo con la invención (ecuación (4)) se obtienen laminados fibra-metal que son resistentes a cargas estructurales de tracción y de fatiga, pero también a cargas de compresión. Las estructuras de altas prestaciones están sometidas a una cantidad significativa de casos de carga diferentes, como tracción, compresión, caso de carga alternante (casos de carga de fatiga), etc. Los casos de carga última positiva a negativa de estas estructuras oscilan entre  $1,5 \leq K_{if} \leq 3,5$ , por consiguiente la deformación elástica a compresión de la fibra tiene que cumplir la ecuación 3, teniendo en cuenta el factor de carga  $K_{if}$  (ecuación 6). Sin embargo, también hay que darse cuenta de que las fibras pueden tener un comportamiento tensión-deformación como el de los metales; es decir, un comportamiento elástico y (semi)plástico. La investigación ha mostrado que este fenómeno puede aparecer especialmente para fibras que trabajen a en compresión. La deformación elástica última es la deformación a la cual la rigidez de la fibra decrece de forma muy significativa. A este respecto es similar a la deformación de plastificación o, aún mejor, al límite de proporcionalidad de los metales. Dado que la invención está relacionada con laminados fibra-metal para estructuras óptimas se acepta que los ensayos de compresión habituales para estructuras de materiales compuestos proporcionarán una deformación elástica a compresión adecuada. Los laminados fibra-metal preferidos son aquellos en los cuales el factor de carga  $K_{if}$  se elige de tal manera que  $1,5 \leq K_{if} \leq 2,5$  y, más preferiblemente, de tal manera que  $1,5 \leq K_{if} \leq 2,0$ .

- Los laminados de acuerdo con la invención son poco sensibles a compresión después de su degradación por impacto (con bastante frecuencia incluso mejores que su ingrediente metálico) y por lo tanto se pueden diseñar con una deformación de rotura substancialmente mayor que para estructuras de material compuesto con fibras. Además, la combinación de las capas de material compuesto fibroso y las láminas metálicas con propiedades que cumplan las ecuaciones (1) a (6) da como resultado un laminado fibra-metal con una rigidez mayor que las láminas metálicas por encima del límite de proporcionalidad de las mismas y, por consiguiente, tendrá mayor límite elástico. Por lo tanto, el efecto de rigidez reducida del metal en el rango plástico se minimiza.
- En otra realización de la invención, las propiedades de la fibra y del metal para todas las capas de material compuesto reforzado con fibras y para todas las láminas metálicas cumplen las relaciones (1) a (6).
- En una realización preferente, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$  se elige de tal manera que se cumple  $3,0 < K_{sf} < 5,0$ . Dichos laminados se utilizan ventajosamente en estructuras dominadas por tracción y fatiga, en otras palabras, en estructuras que no son críticas a compresión o que lo son menos. En otra realización preferente, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual el factor de rigidez  $K_{stiff}$  se elige de tal manera que se cumple  $K_{stiff} \geq 1,34$ . Dichos laminados se utilizan más ventajosamente en estructuras más sensibles a compresión-pandeo, en otras palabras, en estructuras que son menos críticas a cargas de tracción y de fatiga. En otra realización preferente, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual el factor de rigidez  $K_{stiff}$  se elige de tal manera que se cumple  $K_{stiff} \geq 1,42$ . Dichos laminados se utilizan más ventajosamente en estructuras muy dominadas por compresión-pandeo, en otras palabras, en estructuras que están todavía también cargadas a tracción y a fatiga, pero que son poco sensibles a ello, es decir, que están poco gobernadas por estas cargas.
- De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual la fracción de fibras que cumplen las relaciones (1) a (6) es de al menos el 25% en volumen del volumen total de las capas de material compuesto reforzado con fibras, más preferida de al menos el 30% en volumen, y lo más preferido de al menos el 35% en volumen.
- Los laminados fibra-metal concretos preferidos de acuerdo con la invención se caracterizan por que la fracción volumétrica de fibras que cumplen las relaciones (1) a (6) es  $0,35 < V_f < 0,6$  y más preferida  $0,40 < V_f < 0,54$ .
- De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual la fracción volumétrica de metal es  $MVF > 48\%$ , más preferiblemente  $MVF > 52\%$  y lo más preferiblemente  $MVF > 58\%$ .
- De acuerdo con un aspecto adicional de la invención se proporciona un laminado fibra-metal que comprende un número  $n$  de capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas alternantes. El número  $n$  de capas en el laminado fibra-metal de la invención puede variar entre límites amplios pero que preferiblemente va de 3 a 100, más preferiblemente de 3 a 50.
- De acuerdo con la invención, los laminados fibra-metal preferiblemente comprenden láminas metálicas de un metal diferente. Los laminados preferidos comprenden láminas metálicas que tienen un espesor que oscila entre 0,08 mm y 25,0 mm, y más preferiblemente entre 0,2 mm y 12,5 mm, y lo más preferiblemente entre 0,4 mm y 4,0 mm, sin incluir los puntos finales de los rangos indicados.
- En una realización preferida, el metal se selecciona de entre aleaciones de acero, aleaciones de aluminio, y aleaciones de titanio en particular. En otra realización preferente, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual al menos una de las capas metálicas comprende una aleación de aluminio con una rigidez de  $E_{t, metal} > 70$  GPa, más preferiblemente  $> 75$  GPa.
- En una realización preferida adicional de la invención, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual las capas de material compuesto reforzado con fibras comprenden fibras de vidrio de alta rigidez que tienen un módulo de elasticidad a tracción  $> 92,5$  GPa y más preferiblemente  $> 100$  GPa, fibras Copol (desarrolladas por la empresa Tejin) o fibras de carbono. Las fibras de carbono particularmente preferidas son las fibras de carbono T1000 y/o IM10. Sin embargo, debido a potencial acción galvánica, la combinación de la mayoría de las aleaciones de aluminio con fibras de carbono no es preferida, en caso de que estos materiales estén contiguos uno al otro. Esta combinación sólo es preferida si las aleaciones de aluminio y el carbono están protegidos unos de otros por una capa aislante, como por ejemplo una capa de vidrio o con fibras de carbono recubiertas. Además la combinación de estas aleaciones de aluminio y del carbono es sólo preferida en un ambiente no húmedo y/o no corrosivo y/o inerte, el cual impedirá la corrosión galvánica o reducirá mucho el potencial de la misma. Dicha aplicación es por ejemplo para aplicaciones espaciales. Sin embargo, se debería observar que nuevos grados de aleaciones de aluminio (en particular, las aleaciones de aluminio-litio) pueden tener una superficie exterior galvánicamente neutra y, por lo tanto, pueden no corroerse o corroerse poco con fibras de carbono. Estas aleaciones, como las aleaciones Airware™ de la empresa Constellium, en combinación con fibra de carbono rígida son por lo tanto parte de la invención. Además, se debería observar que (casi) no se producirá potencial acción galvánica entre fibras de carbono y aleaciones de acero y aleaciones de titanio.
- La invención también se refiere al uso de un laminado fibra-metal de acuerdo con la invención, es decir, que cumple las relaciones (1) a (6), en un ambiente no corrosivo, no húmedo o inerte, incluso cuando el metal y la fibra no son galvánicamente neutros uno con respecto a la otra.

Las capas de material compuesto reforzado con fibras pueden comprender fibras substancialmente continuas que se extienden principalmente en una dirección y/o pueden comprender fibras substancialmente continuas que se extienden principalmente en dos direcciones perpendiculares, tales como en un tejido entrelazado o cruzado. Para estructuras avanzadas con requisitos complejos de carga y rigidez las capas de material compuesto reforzado con fibras pueden comprender fibras substancialmente continuas que se extienden principalmente en la dirección de laminación del metal, en perpendicular a la dirección de laminación y formando un cierto ángulo con la dirección de laminación, de modo que las direcciones angulares sean simétricas con respecto a la dirección de laminación.

De acuerdo con otro aspecto adicional de la invención, se proporciona un laminado fibra-metal en el cual el número de capas de material compuesto reforzado con fibras y/o de láminas metálicas varía entre secciones transversales y, por lo tanto, también lo hace el espesor del laminado fibra-metal. Estos laminados también pueden tener un espesor decreciente y ofrecer libertad de diseño adicional.

En otro aspecto adicional de la invención, se proporciona un conjunto de un laminado fibra-metal de acuerdo con la invención y un elemento adicional, estando el elemento adicional conectado al laminado fibra-metal por una capa de unión, que comprende un adhesivo y/o un material compuesto reforzado con fibras o por medios mecánicos como remachado y/o unión atornillada. Preferiblemente, el elemento adicional comprende un elemento estructural seleccionado de entre un elemento de refuerzo plano o curvado; un rigidizador, tal como una sección angular (en ángulo), un larguerillo en Z, un larguerillo con forma de sombrero de copa, un larguerillo en C, un larguerillo en Y; un larguero (o sección de larguero), una costilla (o sección de costilla), una grapa anti-cizallamiento y/o un bastidor (o sección de bastidor) de una estructura de una aeronave. El elemento adicional se fabrica preferiblemente de un metal, tal como una aleación de aluminio, una aleación de titanio y/o una aleación de acero; de un material compuesto reforzado con fibra, tal como los basados en fibras de carbono, en fibras de aramida, en fibras de vidrio, en fibras PBO, en fibras de copolímero; de materiales híbridos, tales como por ejemplo ARALL®, Glare®, CentAl®; de un laminado fibra-metal de acuerdo con la invención, y de combinaciones de los mismos.

La invención se refiere además a una parte primaria estructural de una aeronave, tal como un fuselaje, un ala y/o un plano de cola, que comprende en al menos una posición un laminado fibra-metal de acuerdo con la invención. Particularmente preferida es una parte de este tipo que comprenda al menos una lámina de aluminio litio.

La invención también se refiere a un método para seleccionar las propiedades de la lámina metálica y las propiedades de la fibra en un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí para obtener óptimas propiedades de resistencia a fatiga del laminado fibra-metal. El método comprende seleccionar la aleación metálica y la fibra en una combinación de una capa de material compuesto reforzado con fibras y una lámina metálica contigua, de tal manera que las propiedades de la fibra y del metal cumplan las siguientes relaciones de forma simultánea:

$$\varepsilon_{\text{fibra a tracción}} > K_{sf} * \sigma_{tu} / (1,5 * E_{t \text{ metal}}) \quad (1)$$

$$E_{\text{fibra a tracción}} > K_{stiff} * E_{t \text{ metal}} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\text{fibra a compresión}} > K_{sf} * \sigma_{tu} / (1,5 * K_{if} * E_{t \text{ metal}}) \quad (3)$$

donde el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$ , el factor de rigidez  $K_{stiff}$  y el factor de carga  $K_{if}$  cumplen

$$2,75 \leq K_{sf} < 5,7 \quad (4)$$

$$K_{stiff} \geq 1,28 \quad (5)$$

$$1,5 \leq K_{if} \leq 3,5 \quad (6)$$

Y

$\sigma_{tu}$  = resistencia última a tracción del metal

$E_{t \text{ metal}}$  = módulo de Young a tracción del metal

$\varepsilon_{\text{fibra a tracción}}$  = deformación elástica a tracción de la fibra

$E_{\text{fibra a tracción}}$  = módulo elástico a tracción de la fibra

$\varepsilon_{\text{fibra a compresión}}$  = deformación elástica a compresión de la fibra

Realizaciones adicionales del método se refieren a realizaciones del laminado fibra-metal, como se ha descrito anteriormente y como se describe más adelante en el contexto del laminado fibra-metal de acuerdo con la invención. Una realización preferida del método es, por ejemplo, una en la cual las propiedades de la fibra y del metal de todas las capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas del laminado cumplen las relaciones (1) a (6).

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS Y TABLAS

Figura 1 – es una vista en perspectiva de un laminado fibra-metal de acuerdo con una realización de la presente invención;

Figura 2 – es una vista en perspectiva de un laminado fibra-metal de acuerdo con otra realización de la presente invención;

Figura 3 – es una vista en perspectiva de un laminado fibra-metal de acuerdo con otra realización de la presente invención;

5 Figura 4 – es una vista en perspectiva de un laminado fibra-metal de acuerdo con otra realización de la presente invención;

Figura 5 – es una vista en perspectiva de un laminado fibra-metal de acuerdo con otra realización de la presente invención;

10 Figura 6 – es una vista en perspectiva de un laminado fibra-metal de acuerdo con otra realización de la presente invención;

Figura 7 – ilustra la relación entre la tensión de tracción y la deformación de una lámina metálica, como la que se utiliza en el laminado fibra-metal de la presente invención;

Figura 8 - ilustra una relación entre la tensión de tracción y la deformación de una capa de material compuesto reforzado con fibras, como la que se utiliza en el laminado de la presente invención;

15 Figura 9 - ilustra la relación entre la deformación elástica mínima requerida de la fibra y el cociente entre la resistencia a tracción y el módulo de tracción del metal, como los que se utilizan en un laminado fibra-metal de acuerdo con la presente invención;

Figura 10 - ilustra una relación entre la deformación de compresión mínima de la fibra y el cociente entre la resistencia a tracción y el módulo de tracción del metal, como los que se utilizan en un laminado fibra-metal de acuerdo con la presente invención;

20 Figura 11 - ilustra una relación entre el módulo de tracción mínimo de la fibra y el módulo de tracción del metal como los que se utilizan en un laminado fibra-metal de acuerdo con la presente invención;

Tabla 1 – ilustra las propiedades mecánicas de metales típicos como los que se pueden utilizar en el laminado fibra-metal de acuerdo con la invención.

25 Tabla 2 - ilustra las propiedades de fibras típicas como los que se pueden utilizar en el laminado fibra-metal de acuerdo con la invención.

Tabla 3 - ilustra algunos laminados fibra-metal que son de acuerdo con la invención así como laminados fibra-metal que no son de acuerdo con la invención.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

30 En la siguiente descripción, se hace referencia a los dibujos adjuntos, los cuales forman una parte de la misma, y los cuales muestran, a modo ilustrativo, realizaciones específicas en las cuales se puede llevar a la práctica la invención. Sin embargo, la presente invención se puede llevar a la práctica sin los detalles específicos o con ciertos métodos equivalentes alternativos a los descritos en este documento.

35 La base de la presente invención es una disposición única de capas de material compuesto reforzado con fibras y al menos una lámina metálica. De acuerdo con la invención se proporciona un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas, donde las propiedades de la fibra están relacionadas con las propiedades del metal de una manera específica, dada por las ecuaciones (1) a (6). Preferiblemente, las capas de material compuesto reforzado con fibras comprenden fibras pre-impregnadas con adhesivo (prepreg). El sistema de capas de prepreg y láminas metálicas se procesa preferiblemente sometándolo a calor y presión para curar el adhesivo y conformar un panel o componente sólido.

40 El inventor ha descubierto que los laminados fibra-metal que tienen propiedades de la fibra de acuerdo con las ecuaciones (1) a (6) tienen mejores propiedades estructurales, es decir, una resistencia, rigidez, resistencia a fatiga y tolerancia al daño mayores que los laminados fibra-metal conocidos del estado del arte. Los parámetros utilizados en las ecuaciones (1) a (3) se definen en las Figuras 7 y 8. Se puede observar una significativa diferencia de comportamiento entre un metal como el utilizado en las láminas metálicas de un laminado fibra-metal, y los materiales compuestos fibrosos. Los metales muestran un comportamiento elastoplástico como el que se muestra en la Figura 7, de modo que el metal se puede deformar plásticamente por encima de una tensión de plastificación hasta que se alcanza, para una deformación de rotura relativamente grande, la resistencia última a tracción  $\sigma_{tu}$  del metal. En la mayoría de los casos esta deformación de rotura es mayor que el 4% y puede llegar a ser de hasta el 18%, la mayor parte de la cual está situada dentro del campo plástico del metal. El módulo de Young a tracción del metal  $E_{t\text{ metal}}$  se reduce considerablemente en el campo plástico. En contraste con esto, la mayoría de los materiales compuestos fibrosos, en gran parte debido a las fibras, muestran típicamente un comportamiento casi elástico hasta la rotura. Sin embargo, las fibras pueden mostrar un comportamiento tensión-deformación similar al de los metales, como se muestra en la Figura 8 para una fibra. Este fenómeno se puede producir con mayor frecuencia en el rango de compresión de la fibra. En caso de que la fibra tenga un comportamiento elastoplástico la deformación elástica última ( $\epsilon_{elástica\ última\ a\ tracción}$  y  $\epsilon_{elástica\ última\ a\ compresión}$ ) se muestra en la Figura 8.

## ES 2 541 631 T3

Las propiedades de la fibra de las ecuaciones (1) a (3) se determinan de acuerdo con normas ASTM.

Más concretamente, la deformación última elástica a tracción, así como el módulo de Young a tracción de la fibra se determinan en muestras de fibra de acuerdo con la norma ASTM D2101. La deformación elástica última a compresión se determina en materiales compuestos unidireccionales de acuerdo con la norma ASTM D-695. Las deformaciones elásticas últimas se determinarán con la deformación en el límite elástico determinada por el desplazamiento como mencionan los métodos ASTM. En la Figura 8 las deformaciones asociadas se denominan  $\epsilon_{\text{plastificación a tracción}}$  y  $\epsilon_{\text{plastificación a compresión}}$  respectivamente. Las deformaciones elásticas últimas,  $\epsilon_{\text{elástica última a tracción}}$  y  $\epsilon_{\text{elástica última a compresión}}$  serán:

$$\epsilon_{\text{elástica última a tracción}} = \epsilon_{\text{plastificación a tracción}} - \epsilon_{\text{desplazamiento}}$$

$$\epsilon_{\text{elástica última a compresión}} = \epsilon_{\text{plastificación a compresión}} - \epsilon_{\text{desplazamiento}}$$

La mayoría de las veces para metales el desplazamiento se toma en  $\epsilon_{\text{desplazamiento}} = 0,2\%$ . Dado que en la mayor parte de las ocasiones los materiales compuestos tienen una deformación de rotura muy pequeña, particularmente a compresión, el desplazamiento se debería tomar menor que el 0,2%, la mayoría de las veces igual o menor que el 0,1%. En estructuras reales la gran diferencia de comportamiento mecánico entre los metales y las fibras de refuerzo de los materiales compuestos tiene un efecto significativo sobre las concentraciones de tensiones. La invención se basa en la percepción de que es importante hacer que coincidan las propiedades del material constituyente a la vista de las concentraciones de deformaciones permisibles, y no a la vista de las concentraciones de deformaciones.

La relación resultante entre la deformación elástica a tracción mínima necesaria de la fibra en un laminado fibra-metal de la presente invención y las propiedades del metal utilizado (ecuación (1)) se representa de forma gráfica en la Figura 9 para diferentes valores del factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$ . Los laminados fibra-metal de acuerdo con la invención utilizan fibras con una deformación elástica última a tracción que se encuentran sobre las líneas  $K_{sf} = 2,75$  y  $K_{sf} = 5,0$  o entre dichas líneas. Aunque en principio las relaciones óptimas se siguen cumpliendo para cualquier propiedad del metal, preferiblemente, por razones prácticas, se fija un límite inferior para las propiedades del metal. Un límite inferior preferido para el parámetro  $\sigma_{tu}/E_t$  es 0,003. Por debajo de un valor de 0,003 las propiedades del metal y de la fibra en el laminado fibra-metal serán demasiado bajas. En la Figura 9 se han utilizado líneas discontinuas para esta zona no preferida.

La relación resultante entre la deformación elástica a compresión mínima necesaria de la fibra en un laminado fibra-metal de la presente invención y las propiedades del metal utilizado (ecuación (3)) se representa de forma gráfica en la Figura 10 para diferentes valores del factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$  y del factor de carga  $K_{if}$ . Los laminados fibra-metal de acuerdo con la invención utilizan fibras con una deformación elástica última a compresión que se encuentra sobre las líneas  $K_{sf} = 2,75$  con  $K_{if} = 3,5$  y  $K_{sf} = 5,0$  con  $K_{if} = 1,5$  y entre dichas líneas. Aunque en principio las relaciones óptimas se siguen cumpliendo para cualquier propiedad del metal, preferiblemente, por razones prácticas, se fija un límite inferior para las propiedades del metal. Un límite inferior preferido para el parámetro  $\sigma_{tu}/E_t$  es 0,002. Por debajo de un valor de 0,002 las propiedades del metal y de la fibra en el laminado fibra-metal serán demasiado bajas. En la Figura 10 se han utilizado líneas discontinuas para esta zona no preferida.

La relación resultante entre el módulo mínimo necesario de la fibra en un laminado fibra-metal de la presente invención y el módulo del metal utilizado (ecuación (2)) se representa de forma gráfica en la Figura 11 para un valor del factor de concentración de rigidez  $K_{stiff} = 1,28$ . Los laminados fibra-metal de acuerdo con la invención utilizan fibras con un módulo elástico de tracción que se encuentra sobre la línea y a la derecha de la misma. Como muestra la línea discontinua de la Figura 11, una zona no preferida tiene un módulo del metal por debajo de 50 GPa.

Las capas de material compuesto reforzado con fibras en los laminados fibra-metal de acuerdo con la invención son ligeras y fuertes y comprenden fibras de refuerzo embebidas en un polímero. El polímero puede actuar también como un medio de unión entre las diferentes capas. Las fibras de refuerzo que son apropiadas para ser usadas en las capas de material compuesto reforzado con fibras dependen de la elección del metal en las láminas metálicas (véanse las ecuaciones (1) a (3)) pero pueden incluir fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de copolímero y fibras metálicas y/o combinaciones de las fibras anteriores. Las fibras preferidas incluyen fibras de refuerzo con una resistencia y/o rigidez a tracción relativamente altas, prefiriéndose particularmente dentro de esta clase las fibras de alto módulo, tales como las fibras de vidrio de muy alta rigidez, las fibras de copolímero y las fibras de carbono. Las fibras de refuerzo preferidas incluyen las fibras de carbono. Los laminados fibra-metal particularmente preferidos comprenden capas de material compuesto reforzado con fibras que comprenden fibras de carbono T1000 y/o IM10.

Ejemplos de materiales de matriz apropiados para las fibras de refuerzo incluyen, pero no están limitados a, polímeros termoplásticos tales como poliamidas, poliimididas, polietersulfonas, polietercetona, poliuretanos, sulfuros de polifenileno (PPS), poliamida-imidas, policarbonato, combinación de óxidos de polifenileno (PPO), así como mezclas y copolímeros de uno o más de los polímeros anteriormente mencionados. Los materiales apropiados para la matriz también comprenden polímeros termoestables tales como epoxis, resinas de poliéster insaturadas, resinas de melamina/formaldehído, resinas de fenol/formaldehído, poliuretanos, siendo los epoxis los más preferidos de entre estos polímeros termoestables. Típicamente, los materiales compuestos fibrosos comprenden desde 25% hasta 60% en volumen de fibras.

En el laminado de acuerdo con la invención, la capa de material compuesto reforzado con fibras preferiblemente comprende fibras substancialmente continuas que se extienden en múltiples direcciones, como a 0°, a 90° y

formando ángulos de forma simétrica con respecto a la dirección de laminación del metal, más preferiblemente en dos direcciones casi perpendiculares (por ejemplo tejidos cruzados o tejidos entrelazados isotrópicos). Sin embargo, es más preferible que la capa de material compuesto reforzado con fibras comprenda fibras substancialmente continuas que se extiendan principalmente en una dirección (denominado material UD). Es ventajoso utilizar la capa de material compuesto reforzado con fibras en la forma de un producto semi-terminado pre-impregnado. Dicho "prepreg" muestra propiedades mecánicas generalmente buenas después de su curado, entre otras razones porque las fibras ya han sido mojadas anteriormente por el polímero de la matriz.

Se pueden obtener laminados fibra-metal conectando entre sí varias láminas metálicas y varias capas de material compuesto reforzado con fibras mediante calentamiento bajo presión y posterior enfriamiento. Los laminados fibra-metal de la invención tienen buenas propiedades mecánicas específicas (propiedades por unidad de densidad). Los metales que son particularmente apropiados para ser utilizados incluyen (aleaciones de) acero y metales ligeros, como por ejemplo aleaciones de aluminio y en particular aleaciones de titanio. Las aleaciones de aluminio apropiadas están basadas en elementos aleantes tales como cobre, zinc, magnesio, silicio, manganeso, y litio. También se pueden añadir pequeñas cantidades de cromo, titanio, escandio, zirconio, plomo, bismuto y níquel, así como de hierro. Las aleaciones de aluminio apropiadas incluyen aleaciones de aluminio-cobre (serie 2xxx), aleaciones de aluminio-magnesio (serie 5xxx), aleaciones de aluminio-silicio-magnesio (serie 6xxx), aleaciones de aluminio-zinc-magnesio (serie 7xxx), aleaciones de aluminio-litio (series 2xxx, 8xxx), así como aleaciones de aluminio-magnesio-escandio. Las aleaciones de titanio apropiadas incluyen, pero no están limitadas a, aleaciones que comprenden Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn, Ti-15Mo-3Al-3Nb, Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo, Ti-13V-11Cr-3Al, Ti-6Al-4V y Ti-6Al-4V-2Sn. En otros aspectos, la invención no está restringida a laminados que utilicen estos metales, de tal manera que, si se desea, se pueden utilizar otros metales, por ejemplo acero u otro metal estructural apropiado. El laminado de la invención también puede comprender láminas metálicas de diferentes aleaciones.

Aunque la aplicación de láminas metálicas más finas conduce por sí misma a costes mayores y, por lo tanto, no es naturalmente obvia, resulta que su aplicación en el laminado conduce a una mejora en las propiedades del mismo. El laminado de acuerdo con la invención es además ventajoso por que sólo hay que aplicar unas pocas láminas metálicas en el laminado para que sea suficiente para conseguir estas propiedades mejoradas. Las mismas ventajas se consiguen si el espesor del prepreg en las capas de material compuesto reforzado con fibras en el laminado es menor que 0,8 mm, y preferiblemente si es de entre 0,1 y 0,6 mm.

Por lo general un laminado fibra-metal de acuerdo con la invención estará formado por varias láminas metálicas y varias capas de material compuesto reforzado con fibras, con la condición de que las propiedades de las fibras utilizadas en las capas de material compuesto reforzado con fibras cumplan las ecuaciones (1) a (6).

Las capas exteriores del laminado fibra-metal pueden comprender láminas metálicas y/o capas de material compuesto reforzado con fibras. El número de láminas metálicas se puede modificar dentro de un gran rango y es de al menos una. En un laminado fibra-metal particularmente preferido, el número de láminas metálicas es dos, tres o cuatro, entre cada una de las cuales se han aplicado preferiblemente capas de material compuesto reforzado con fibras. Dependiendo del uso previsto y de los requisitos establecidos, el número óptimo de láminas metálicas puede ser determinado fácilmente por la persona con experiencia en la técnica. Por lo general el número total de láminas metálicas no será mayor de 40, aunque la invención no está restringida a laminados con un número máximo de capas metálicas como este. De acuerdo con la invención, el número de láminas metálicas está preferiblemente entre 1 y 30, y más preferiblemente entre 1 y 10, teniendo preferiblemente las láminas metálicas una resistencia última a tracción de al menos 0,25 GPa.

Para impedir que el laminado se deforme como resultado de tensiones internas, el laminado de acuerdo con la invención se puede estructurar de forma simétrica con respecto a un plano que pasa a través del centro del espesor del laminado.

Configuraciones de laminado fibra-metal de acuerdo con la invención se obtienen fácilmente colocando capas (alternantes) de material compuesto reforzado con fibras, preferiblemente utilizando prepregs, y al menos una lámina metálica. Los laminados fibra-metal se pueden diseñar en muchas disposiciones diferentes.

Haciendo referencia a la Figura 1, se muestra un laminado fibra-metal de acuerdo con la realización, en el cual el número total de capas es 3, y en el cual la capa 1 y la capa 3 comprenden una capa metálica y la capa 2 es una capa de material compuesto fibroso. De forma alternativa, la capa 1 y la capa 3 comprenden una capa de material compuesto fibroso y la capa 2 es una capa metálica. La capa 1 y la capa 3 pueden comprender el mismo metal o pueden ser un tipo de metal diferente. La(s) capa(s) de material compuesto fibroso pueden contener fibras orientadas en múltiples direcciones así como tipos de fibras diferentes, para las cuales al menos uno de los tipos de fibras en al menos una de la(s) capa(s) de material compuesto fibroso cumple los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6) con respecto a al menos una de las capas metálicas. Se debería observar que las dimensiones exteriores de las capas 1 a 3 no son necesariamente las mismas. Por ejemplo la capa 3 y la capa 2 pueden tener la misma dimensión, por lo cual las dimensiones de la capa 1 son mayores. Esto puede ser el caso, por ejemplo, para una gran lámina metálica con un refuerzo local (capa 2 como capa de material compuesto y capa 3 como capa metálica).

Haciendo referencia a la Figura 2, se muestra un laminado fibra-metal de acuerdo con otra realización, en el cual el número total de capas es n, y en el cual la capa 1 es una capa metálica y la capa 2 es una capa de material

compuesto fibroso, las cuales irán alternando hasta la capa n-1 y la capa n. De forma alternativa, la capa 1 es una capa de material compuesto fibroso y la capa 2 es una capa metálica, las cuales irán alternando hasta la capa n-1 y la capa n. Las capas metálicas alternantes pueden ser del mismo metal o pueden ser de un tipo de metal diferente. Asimismo, al menos una de las capas de material compuesto fibroso alternantes puede contener fibras orientadas en múltiples direcciones así como tipos de fibras diferentes, para las cuales al menos uno de los tipos de fibras en al menos una de las capas de material compuesto fibroso cumple los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6) con respecto a la capa metálica contigua, la cual es la más alejada de la línea central del laminado. En caso de que la capa exterior del laminado sea una capa de material compuesto fibroso, preferiblemente esta capa tiene que cumplir los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6) con respecto a la capa metálica contigua. Se debería observar que las dimensiones exteriores de las capas 1 a n no son necesariamente las mismas.

Haciendo referencia a la Figura 3, se muestra otra realización adicional del laminado fibra-metal de acuerdo con la invención. En la realización mostrada, la capa 1 y la capa 3 son una capa metálica y la capa 2 es una capa de material compuesto fibroso o, de forma alternativa, la capa 1 y la capa 3 son una capa de material compuesto fibroso y la capa 2 es una capa metálica. Las capas 1 y 3 pueden ser del mismo metal o pueden ser de un tipo de metal diferente. La(s) capa(s) de material compuesto fibroso pueden contener fibras en múltiples direcciones así como tipos de fibras diferentes, para las cuales al menos uno de los tipos de fibras en al menos una de las capas de material compuesto fibroso cumple los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6). Asimismo, las capas 1, 2 y/o 3 pueden ser un laminado de acuerdo con la Figura 1 ó 2 con respecto a al menos una de las capas metálicas. Se debería observar que las dimensiones exteriores de las capas 1 a 3 no son necesariamente las mismas.

Haciendo referencia a la Figura 4, se muestra otra realización adicional del laminado fibra-metal de acuerdo con la invención. En esta realización, la capa 1 es una capa metálica y la capa 2 es una capa de material compuesto, las cuales irán alternando hasta la capa n-1 y hasta la capa n o, de forma alternativa, la capa 1 es una capa de material compuesto y la capa 2 es una capa metálica, las cuales irán alternando hasta la capa n-1 y hasta la capa n. Las capas metálicas alternantes pueden ser del mismo metal o pueden ser de un tipo de metal diferente, y al menos una de las capas de material compuesto alternantes puede contener fibras orientadas en múltiples direcciones así como tipos de fibras diferentes, para las cuales al menos uno de los tipos de fibras en una de la(s) capa(s) de material compuesto cumple los requisitos establecidos con respecto a la capa metálica contigua que es la más alejada de la línea central del laminado. En caso de que la capa exterior del laminado sea una capa de material compuesto fibroso, esta capa tiene que cumplir los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6) con respecto a su capa metálica contigua. Como se muestra en la Figura 4, el número de capas de material compuesto reforzado con fibras y/o de láminas metálicas varía entre secciones transversales. Asumiendo que las láminas metálicas son las capas blancas, y que las capas de material compuesto fibroso son las capas más oscuras, el número de capas de material compuesto fibroso varía de  $(n-1)/2$  capas en una sección transversal situada a la izquierda de la figura hasta cero en una sección transversal situada a la derecha de la figura (las capas de material compuesto fibroso se interrumpen), lo cual produce como resultado un laminado fibra-metal con un espesor variable, es decir, decreciente. Asimismo las capas 1, 2 y/o 3 pueden ser un laminado de acuerdo con la Figura 1 ó 2. Se debería observar que las dimensiones exteriores de las capas 1 a n no son necesariamente las mismas.

Haciendo referencia a la Figura 5, se muestra otra realización adicional del laminado fibra-metal de acuerdo con la presente invención, donde la capa 1 y la capa 3 son capas metálicas y la capa 2 es una capa de material compuesto fibroso o, de forma alternativa, la capa 1 y la capa 3 son capas de material compuesto fibroso y la capa 2 es una capa metálica, donde las capas 1 y 3 pueden ser del mismo metal o pueden ser de un tipo de metal diferente, y donde la(s) capa(s) de material compuesto fibroso puede(n) contener fibras orientadas en múltiples direcciones así como tipos de fibras diferentes, para las cuales al menos uno de los tipos de fibras en una de la(s) capa(s) de material compuesto fibroso cumple los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6). Asimismo la capa 1, 2 y/o 3 pueden ser un laminado de acuerdo con la Figura 1 ó 2.

Haciendo referencia a la Figura 6, se muestra otra realización adicional del laminado fibra-metal de acuerdo con la presente invención, en el cual la capa 1 es una capa metálica y la capa 2 es una capa de material compuesto, las cuales irán alternando hasta la capa n-1 y hasta la capa n. De forma alternativa, la capa 1 es una capa de material compuesto y la capa 2 es una capa metálica, las cuales irán alternando hasta la capa n-1 y hasta la capa n. La capa metálica alternante puede ser del mismo metal o puede ser de un tipo de metal diferente, y al menos una de las capas de material compuesto alternante puede contener fibras orientadas en múltiples direcciones así como tipos de fibras diferentes, para las cuales al menos uno de los tipos de fibras en una de la(s) capa(s) de material compuesto cumple los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6) con respecto a la capa metálica contigua, la cual es la más alejada de la línea central del laminado. En caso de que la capa exterior del laminado sea una capa de material compuesto fibroso, esta capa tiene que cumplir los requisitos establecidos en las ecuaciones (1) a (6) con respecto a su capa metálica contigua. Asimismo, la capa 1, 2 y/o 3 puede ser un laminado de acuerdo con la Figura 1 ó 2.

Los laminados se producen preparando un apilamiento de láminas de material compuesto fibroso y láminas metálicas en la secuencia ejemplificada en las Figuras 1 a 6, por ejemplo sobre un molde plano o curvado. Después de la laminación, la estructura global se cura a una temperatura apropiada para la resina de la matriz, preferiblemente una resina epoxi o termoplástica, por ejemplo en un autoclave, y preferiblemente bajo vacío con el fin de expulsar del laminado el aire atrapado. Para la mayoría de las aplicaciones, la más apropiada será una resina epoxi o termoplástica con una elevada temperatura de transición vítrea. Sin embargo, se puede usar cualquier resina epoxi. Las resinas epoxi se curan normalmente a temperatura ambiente o a una temperatura ligeramente superior a

la ambiente, a una temperatura de aproximadamente 125°C o a una temperatura de aproximadamente 175°C. Después del curado bajo presión se obtiene un laminado consolidado. Como se ha mencionado anteriormente, también es posible utilizar una resina termoplástica.

#### **EJEMPLOS Y EJEMPLOS COMPARATIVOS**

- 5 Se ilustrará la invención mediante varios Ejemplos, para los cuales se han utilizado las propiedades de las Tablas 1 y 2. Los Ejemplos se muestran en la Tabla 3, para la cual se aplican  $K_{sf} = 2,75$ ,  $K_{stiff} = 1,28$  y  $K_{lf} = 3,5$ .

- 10 La Tabla 3 muestra claramente que los laminados conocidos como GLARE (aluminio 2024-T3 ó 7475-T761 con fibras de vidrio S2), ARALL (aluminio 2024-T3 ó 7475-T761 con fibras de Kevlar originales) y Ti-Gr (Ti-6Al-4V y fibras de carbono T300) no cumplen los requisitos establecidos en esta invención. Dicha Tabla 3 también muestra claramente que los laminados de fibra y metal con nuevas fibras como por ejemplo las fibras Copol en relación con aleaciones de aluminio son de acuerdo con la invención.

La invención resalta la importancia de la rigidez de la fibra, especialmente para laminados con fibras de vidrio. Además, resalta la importancia de la deformación elástica a compresión para casi todas las demás fibras.

- 15 El laminado fibra-metal de acuerdo con la presente invención se utiliza ventajosamente en la construcción de estructuras de soporte de carga, tales como estructuras de aeronaves. También se utiliza ventajosamente en un conjunto con un elemento adicional, uniéndose el elemento adicional al laminado fibra-metal mediante una capa de unión, que comprende un adhesivo y/o un material compuesto reforzado con fibras. El elemento adicional puede comprender una (sub)estructura de aeronave, tal como un elemento de refuerzo plano o curvado; un rigidizador, tal como una sección en ángulo, un larguerillo en Z, un larguerillo con forma de sombrero de copa, un larguerillo en C,  
20 un larguerillo en Y; un larguero (o sección de larguero), una costilla (o sección de costilla), una grapa anticizallamiento y/o un bastidor (o sección de bastidor).

**REIVINDICACIONES**

5 1. Un laminado fibra-metal que comprende capas de material compuesto reforzado con fibras y láminas metálicas unidas entre sí, caracterizado por que las propiedades de la fibra y del metal en al menos una combinación de una capa de material compuesto reforzado con fibras y una lámina metálica contigua, cumplen las siguientes relaciones de forma simultánea:

$$\epsilon_{\text{fibra a tracción}} > K_{sf} * \sigma_{tu} / (1,5 * E_{t \text{ metal}}) \tag{1}$$

$$E_{\text{fibra a tracción}} > K_{stiff} * E_{t \text{ metal}} \tag{2}$$

$$\epsilon_{\text{fibra a compresión}} > K_{sf} * \sigma_{tu} / (1,5 * K_{if} * E_{t \text{ metal}}) \tag{3}$$

donde el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$ , el factor de rigidez  $K_{stiff}$  y el factor de carga  $K_{if}$  cumplen

10  $2,75 \leq K_{sf} < 5,7$  (4)

$$K_{stiff} \geq 1,28 \tag{5}$$

$$1,5 \leq K_{if} \leq 3,5 \tag{6}$$

y

$\sigma_{tu}$  = resistencia última a tracción del metal

15  $E_{t \text{ metal}}$  = módulo de Young a tracción del metal

$\epsilon_{\text{fibra a tracción}}$  = deformación elástica a tracción de la fibra

$E_{\text{fibra a tracción}}$  = módulo elástico a tracción de la fibra

$\epsilon_{\text{fibra a compresión}}$  = deformación elástica a compresión de la fibra de acuerdo con la norma ASTM D-695.

20 2. El laminado fibra-metal de acuerdo con la reivindicación 1, por el cual se elige el factor de carga  $K_{if}$  de tal manera que  $1,5 \leq K_{if} \leq 2,5$ .

3. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual se elige el factor de concentración de deformaciones  $K_{sf}$  de tal manera que se cumple  $3,0 < K_{sf} < 5,0$ .

4. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual se elige el factor de rigidez  $K_{stiff}$  de tal manera que se cumple  $K_{stiff} \geq 1,34$ .

25 5. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la fracción de fibras que cumplen las relaciones (1) a (6) es al menos el 25% en volumen del volumen total de las capas de material compuesto reforzado con fibras, más preferiblemente al menos el 30% en volumen del volumen total de las capas de material compuesto reforzado con fibras, y lo más preferiblemente  $0,35 < V_f < 0,6$ .

30 6. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la fracción de metal MVF que cumple las relaciones (1) a (6) es  $> 48\%$  en volumen del volumen total de las capas metálicas, más preferiblemente  $> 52\%$  y lo más preferiblemente  $> 58\%$ .

7. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual las propiedades de la fibra y del metal para todas las capas de material compuesto reforzado con fibras y para todas las láminas metálicas cumplen las relaciones (1) a (6).

35 8. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual al menos una de las capas metálicas comprende una aleación de aluminio con una rigidez de  $E_{t \text{ metal}} > 70 \text{ GPa}$ , más preferiblemente  $> 75 \text{ GPa}$ .

40 9. El laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual las capas de material compuesto reforzado con fibras comprenden fibras de vidrio de muy alta rigidez con un módulo elástico a tracción  $E_{t \text{ fibra}} > 92,5 \text{ GPa}$ , y preferiblemente  $E_{t \text{ fibra}} > 100 \text{ GPa}$ .

10. Laminados fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en los cuales al menos una capa de material compuesto reforzado con fibras comprende fibras substancialmente continuas que se extienden principalmente en una dirección.

45 11. Laminados fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en los cuales al menos una capa de material compuesto reforzado con fibras comprende fibras substancialmente continuas que se extienden en múltiples direcciones, y más preferiblemente principalmente en dos direcciones perpendiculares.

50 12. Conjunto de un laminado fibra-metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores y un elemento adicional, estando el elemento adicional unido al laminado fibra-metal por una capa de unión, que comprende un adhesivo y/o un material compuesto reforzado con fibras, o estando dicho elemento adicional conectado por medios mecánicos de fijación.

13. Conjunto de acuerdo con la reivindicación 12, en el cual el elemento adicional comprende una placa plana o de espesor decreciente de un metal, como por ejemplo una aleación de aluminio, una aleación de titanio, una aleación de acero y/o una combinación de láminas metálicas y capas de material compuesto reforzado con fibras.

5 14. Una parte primaria estructural de una aeronave, tal como un fuselaje, un ala y/o un plano de cola, que comprende en al menos una posición un laminado fibra-metal de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-11.

15. Parte de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende al menos una lámina de aluminio-litio.

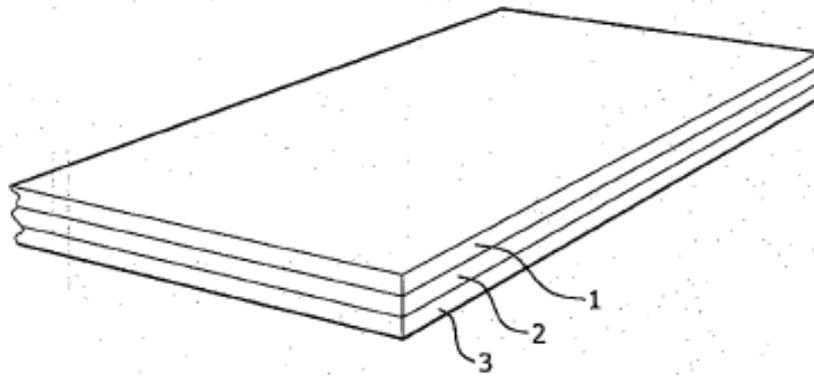


FIG. 1

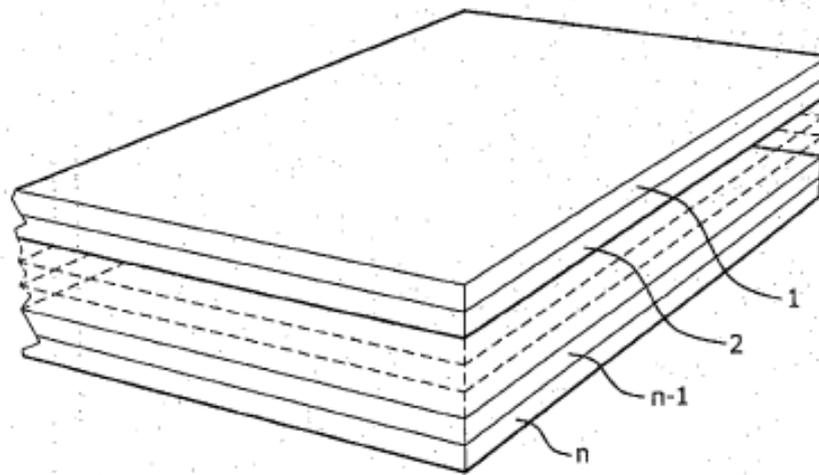


FIG. 2

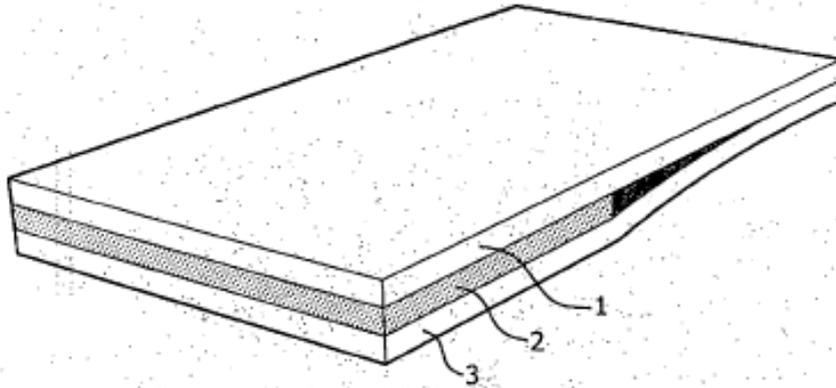


FIG. 3

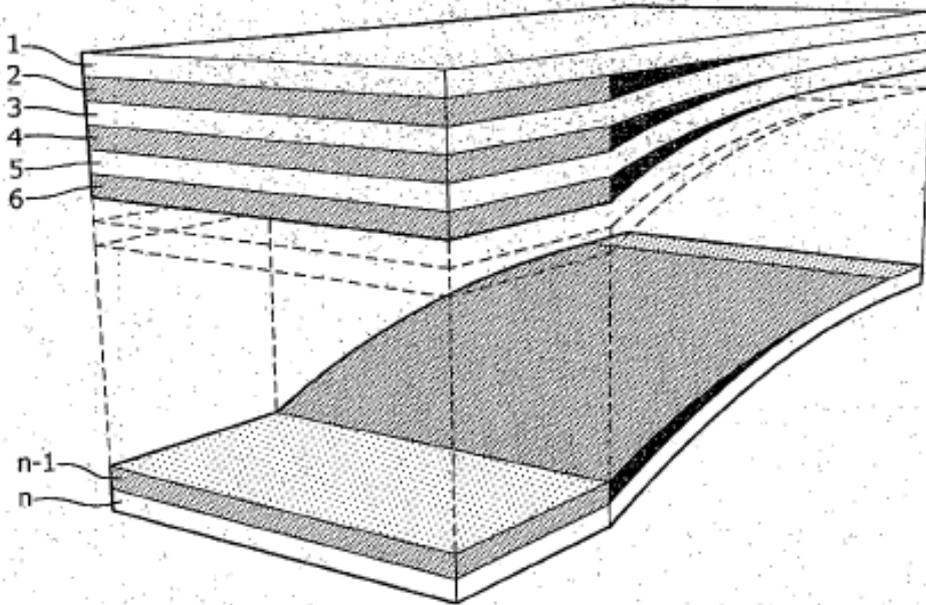


FIG. 4

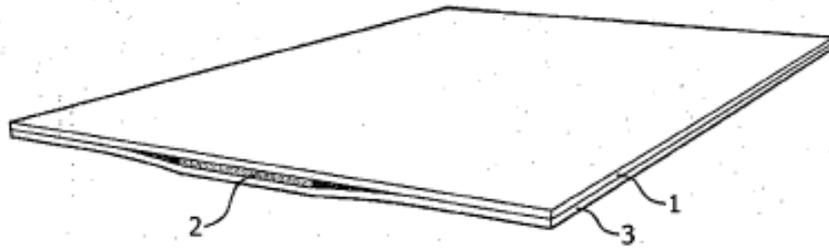


FIG. 5

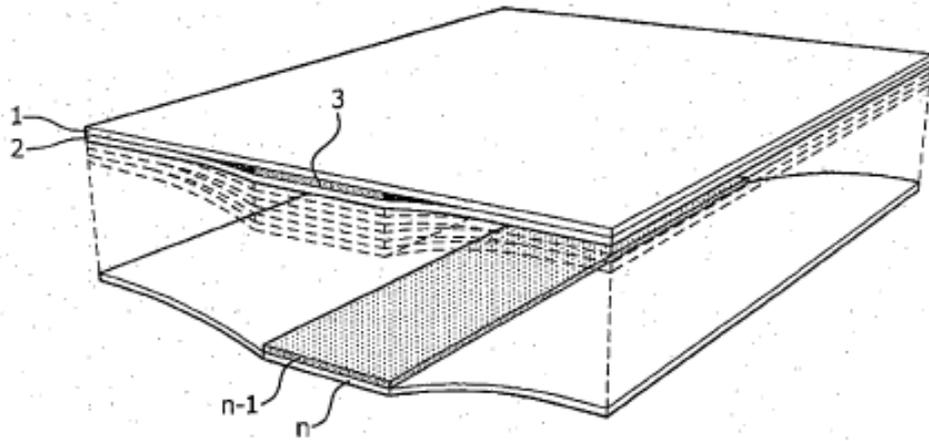


FIG. 6

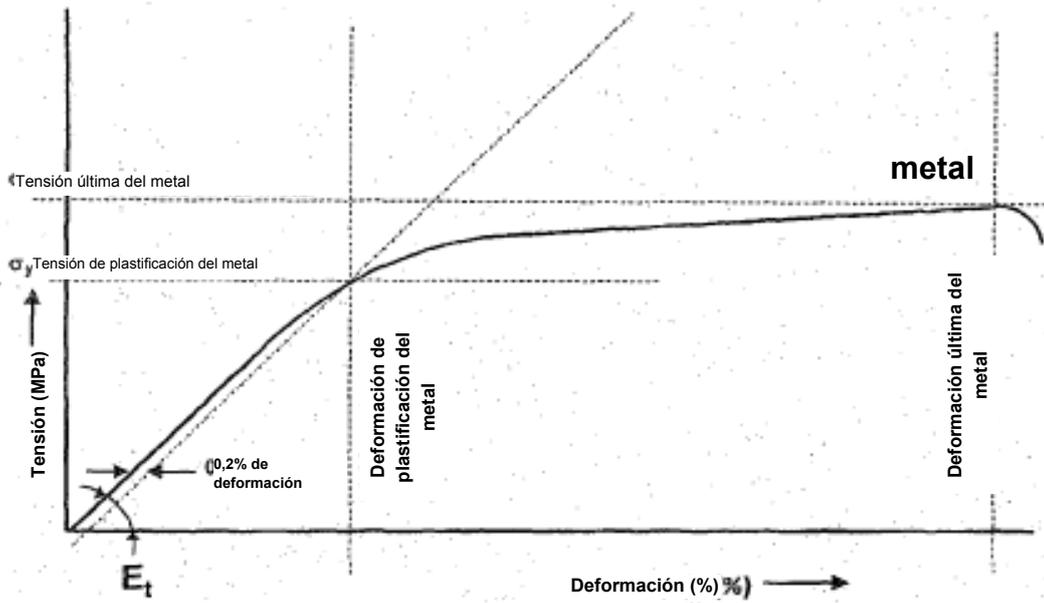


Fig. 7

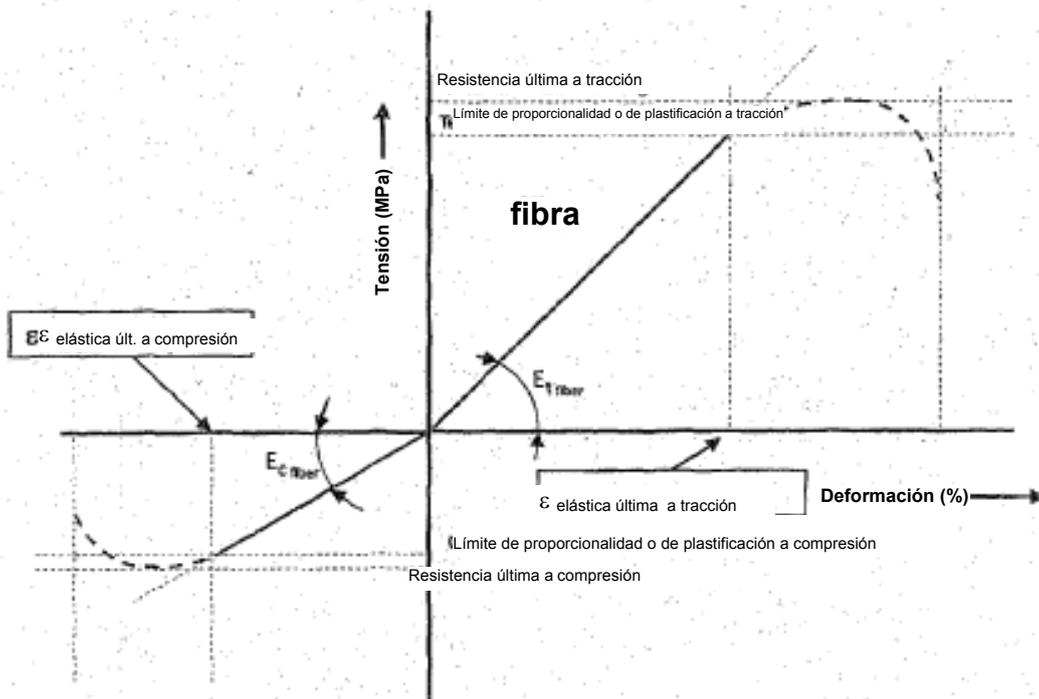


Fig. 8

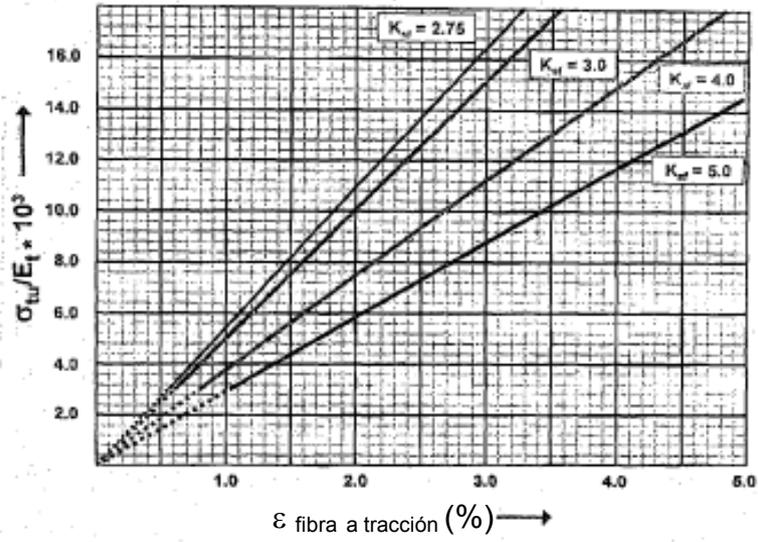


Fig. 9

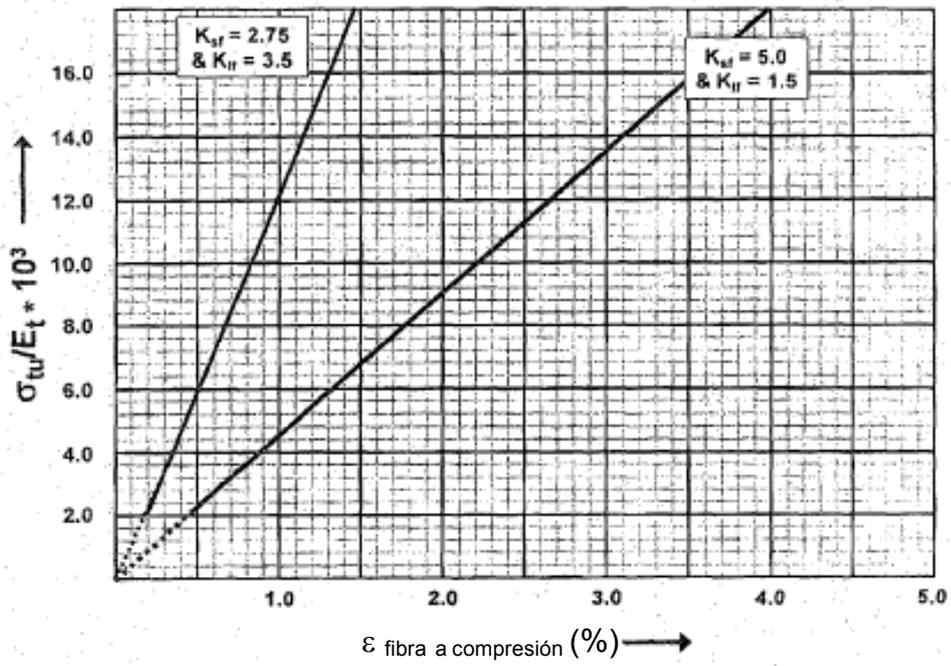


Fig 10

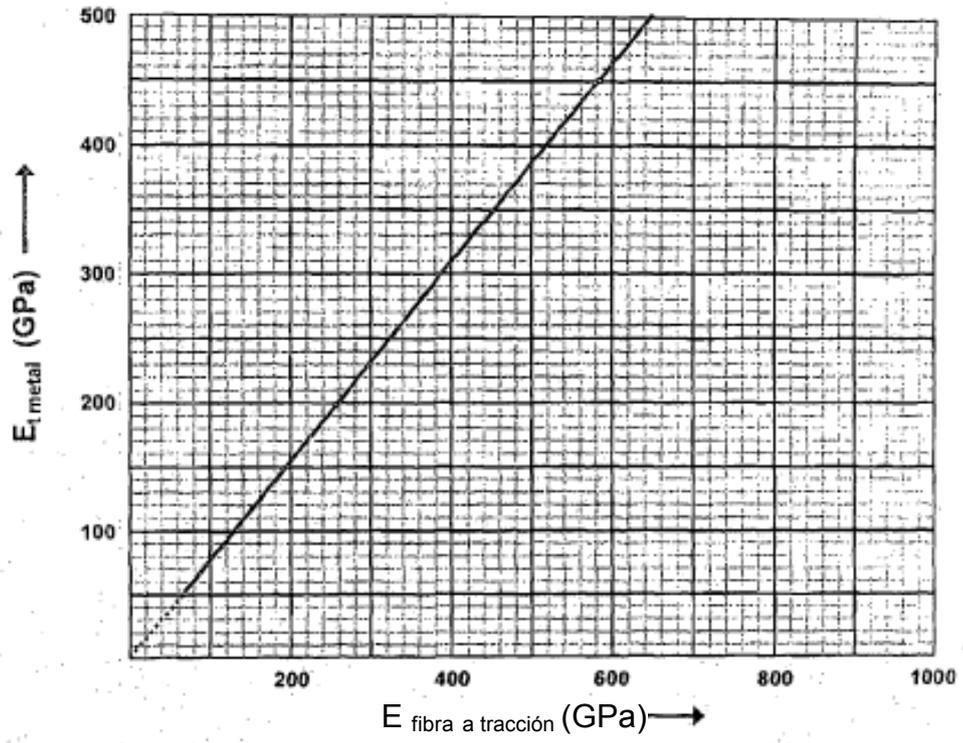


Fig. 11

# ES 2 541 631 T3

	<b>Material</b>	$\sigma_{tu}$	$E_t$
		<b>MPa</b>	<b>GPa</b>
<b>aluminio</b>	2024-T3	440	72,3
	2024-T81	460	72,3
	2050-T84	510	76,5
	2090-T83	531	79,2
	2098-T851	510	79
	2124-T851	455	71,7
	2195-T84	600	76
	2198-T851	462	76,5
	2199-T8XX	400	77,3
	2219-T87	434	72,4
	2297-T87	441	75,2
	2324-T39	475	72,1
	clad 2524-T3	421	67,6
	6013-T8	413	68,5
	6061-T6	290	68,5
	7050-T7451	510	71
	7050-T7651	524	71
	7050-T76	531	71
	7055-T7751	634	71,7
	7075-T6	537	71
	7150-T7751	552	71
7475-T761	489	69,3	
<b>titanio</b>	Ti-6Al-4V	923	110
	Ti-6Al-4V-envejecido	1103	110
	Ti-6Al-4V-2Sn	1170	110
	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al-ST790	1380	100
	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al-ST850	1110	100
	ATI 425-L	1013	119
	ATI 425-LT	1025	126
<b>acero</b>	9Ni-4Co-0,3C St	1515	196
	AMS 6520	1720	183
	AMS 6521	1867	183
	AerMet 100 St	1930	193

**Tabla 1**

<b>Material</b>	$E_t$	<b>Deformación elástica última</b>	
		<b>Tracción</b>	<b>compresión</b>
Vidrio S-2	86,9	4,50%	3,20%
Flitstrand S	88	4,70%	3,30%
Kevlar 29	71	3,20%	0,41%
Kevlar 49	114	2,20%	0,26%
Twaron HM	117	2,40%	0,29%
M 5	280	1,16%	0,22%
PBO-AS	180	3,20%	0,22%
PBO-HM	270	2,20%	0,23%
COPOL	125	3,20%	0,57%
Carbono T300	230	1,40%	1,25%
Carbono IM 7	276	1,80%	1,50%
Carbono IM 10	303	2,00%	1,40%
Carbono T800	294	1,80%	1,50%
Carbono T1000GB	294	2,10%	1,50%

**Tabla 2**

ES 2 541 631 T3

	<b>fibras</b>	<b>aluminio</b>	<b>Cumple/no cumple</b>
<b>aleaciones de aluminio</b>	vidrio S-2	alu 2024-T3	no cumple
	vidrio S-2	alu 2024-T81	no cumple
	vidrio S-2	alu 2090-T83	no cumple
	vidrio S-2	alu 2124-T851	no cumple
	vidrio S-2	alu 2199-T8XX	no cumple
	vidrio S-2	alclad 2524-T3	cumple
	vidrio S-2	alu 7475-T761	no cumple
	FliteStrand S	alu 2050-T84	no cumple
	FliteStrand S	alu 2198-T851	no cumple
	FliteStrand S	alu 2199- T8XX	no cumple
	FliteStrand S	alclad 2524-T3	cumple
	Kevlar 29	alu 2024-T3	no cumple
	Kevlar 49	alu 2024-T3	no cumple
	Kevlar 49	alu 7475-T761	no cumple
	Twaron HM	alu 6061-T6	cumple
	M 5	alu 2024-T3	no cumple
	M 5	alu 6013-T8	no cumple
	fibra Copol	alu 2024-T3	cumple
	fibra Copol	alu 2050-T84	cumple
	fibra Copol	alu 2090-T83	cumple
	fibra Copol	alu 2098-T851	cumple
	fibra Copol	alu 2124-T851	cumple
	fibra Copol	alu 2195-T84	cumple
	fibra Copol	alu 2198-T851	cumple
	fibra Copol	alu 2199- T8XX	cumple
	fibra Copol	alu 2219- T87	cumple
	fibra Copol	alu 2297- T87	cumple
	fibra Copol	alu 2324- T39	cumple
	fibra Copol	alclad 2524-T3	cumple
	fibra Copol	alu 7150- T7751	cumple
	fibra Copol	alu 7475- T761	cumple
	PBO-AS	alu 2024-T3	no cumple
PBO-HM	alu 2024-T3	no cumple	
PBO-HM	alu 6061-T6	cumple	
PBO-HM	alu 7475-T761	no cumple	
Carbono T300	alu 2024-T3	cumple	
<b>aleaciones de titanio</b>	vidrio S-2	Ti-6Al-4V	no cumple
	vidrio S-2	ATI 425-L	no cumple
	Kevlar 49	Ti-6Al-4V	no cumple
	Twaron HM	ATI 425-L	no cumple
	Twaron HM	ATI 425-LT	no cumple
	M 5	Ti-6Al-4V	no cumple
	M 5	Ti-6Al-4V-2Sn	no cumple
	fibra Copol	Ti-6Al-4V	no cumple
	PBO-AS	Ti-6Al-4V-2Sn	no cumple
	PBO-HM	Ti-6Al-4V-2Sn	no cumple
	PBO-HM	ATI 425-L	no cumple
	PBO-HM	ATI 425-LT	no cumple
	Carbono T300	Ti-6Al-4V	no cumple
	Carbono T300	ATI 425-LT	cumple
	Carbono IM7	Ti-6Al-4V	cumple
Carbono IM7	Ti-6Al-4V envejecido	cumple	
Carbono IM7	ATI 425-L	cumple	
Carbono IM7	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al-ST790	no cumple	
Carbono IM10	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al-ST850	cumple	
<b>aleaciones de acero</b>	Carbono T300	9Ni-4Co-0,3C St	no cumple
	Carbono IM7	9Ni-4Co-0,3C St	cumple
	Carbono IM7	18Ni-AMS 6520	cumple
	Carbono IM10	18Ni-AMS 6521	cumple
	Carbono IM10	AerMet 100 St	cumple
	Carbono T800	9Ni-4Co-0,3C St	cumple
	Carbono T800	18Ni-AMS 6520	cumple
	Carbono T800	18Ni-AMS 6521	no cumple
	Carbono T1000GB	9Ni-4Co-0,3C St	cumple
	Carbono T1000GB	18Ni-AMS 6520	cumple
	Carbono T1000GB	AerMet 100 St	cumple

Tabla 3