

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 823**

51 Int. Cl.:

B32B 15/08 (2006.01)

B32B 15/14 (2006.01)

B64C 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2003 E 03773792 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2013 EP 1545871**

54 Título: **Hojas compuestas laminadas de aluminio y fibras de vidrio**

30 Prioridad:

25.09.2002 FR 0211841

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

23.12.2013

73 Titular/es:

**CONSTELLIUM FRANCE (100.0%)
40-44, rue Washington
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**EHRSTROM, JEAN-CHRISTOPHE y
WARNER, TIMOTHY**

74 Agente/Representante:

MIR PLAJA, Mireia

ES 2 435 823 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

Hojas compuestas laminadas de aluminio y fibras de vidrio

5 **Ámbito de la invención**

La invención se refiere a nuevas hojas compuestas laminadas de aluminio - fibras de vidrio con adhesivo - aluminio, un material conocido con el nombre genérico de "Glare", y el uso de tales hojas compuestas laminadas en construcción aeronáutica y especialmente como piel de revestimiento de fuselaje.

10

Estado de la técnica

Se conocen desde hace ya mucho tiempo compuestos laminados de aluminio - fibra a base de polímeros orgánicos - aluminio. Típicamente, los polímeros orgánicos son poliamidas o poliésteres. A modo de ejemplo, las patentes EP 0 056 288 B1 y EP 0 056 289 B1 (Technische Hogeschool Delft) divulgan un material laminado, constituido por dos chapas finas de aluminio con tratamiento térmico (de aleaciones 2024 T3 y 7075 T6 en particular) que contienen una capa adhesiva en la que se integraron fibras de poliparafenileno tereftalamida (PPDT) con un alto módulo de elasticidad comprendido entre 50 GPa y 250 GPa. Así, se pueden superponer distintas capas alternadas de materia orgánica y aluminio. Este tipo de material a base de fibras orgánicas no puede usarse a altas temperaturas, típicamente por encima de los 120 °C a 130 °C, durante mucho tiempo. Además, es difícil controlar las tensiones residuales en estas hojas compuestas laminadas.

La patente EP 0 312 150 B1 (Structural Laminates Company) divulga el uso de fibras de carbono, aramide, polietileno o vidrio en forma de filamentos continuos que se extienden paralelamente el uno al otro en por lo menos una dirección. Dichas fibras se impregnan de un adhesivo termoplástico. Se pretensan las hojas o paneles compuestos laminados.

La solicitud de patente EP 0 323 60 A1 (Akzo Nobel) divulga un procedimiento de fabricación de elementos estructurales para fuselaje de avión integrados por hojas compuestas laminadas, que utiliza resinas termoendurecibles, resinas epoxi en particular. El especialista denomina estas hojas compuestas laminadas con el nombre genérico "Glare".

La patente US 5 547 735 (Structural Laminates Company) describe el uso de chapas de aleación 5052 en complejos compuestos laminados. La patente US 4 657 717 (Alcan International) describe el uso de chapas superplásticas en tales complejos. La solicitud de patente WO 98/53989 (Akzo Nobel) divulga un procedimiento de fabricación de hojas compuestas laminadas integradas por chapas metálicas de aleaciones a base de aluminio, cobre, magnesio, acero o titanio. Las aleaciones preferentes son las aleaciones de tipo 2x24 T3 y 7x75 T6.

El estado de la técnica, los procedimientos de fabricación, las características y las aplicaciones de los complejos laminados de aluminio y fibras de vidrio de tipo Glare se resumen en el artículo "Fibre Metal Laminates for High Capacity Aircraft" de A. Vlot, L.B. Vogelesang y T.J. de Vries, 30th International SAMPE Technical Conference, October 20-24, 1998, páginas 456 - 470, y en el artículo "The Residual Strength of Fibre Metal Laminates: Glare 2 and Glare 3" de C.A.J.R. Vermeeren, 30th International SAMPE Technical Conference, October 20-24, 1998, páginas 471 - 482.

El término "aleación con tratamiento térmico" se define para el aluminio en la norma EN 12258-1 como una "aleación que se puede endurecer mediante el tratamiento térmico adecuado"; el término opuesto "aleación sin tratamiento térmico" se define en la misma norma como "una aleación que no se puede endurecer de manera sustancial con un tratamiento térmico". Entre las aleaciones con tratamiento térmico, se toman en cuenta las aleaciones de las series 2xxx, 7xxx y 6xxx, mientras que las aleaciones de las series 5xxx y 3xxx son aleaciones sin tratamiento térmico.

Típicamente, las hojas compuestas laminadas según el estado de la técnica comprenden N chapas finas de aleación de aluminio con tratamiento térmico que alternan con N-1 hojas de resina epoxi reforzada con fibras de vidrio; estas hojas de resina epoxi reforzada con fibras de vidrio a veces se llaman "prepreg". En estas composiciones, las chapas de aluminio forman las caras exteriores del compuesto laminado y alternan con las hojas de resina reforzada con fibras de vidrio. Para la aleación con tratamiento térmico, se usan aleaciones que pertenecen a las familias 2xxx o 7xxx y más particularmente la aleación 2024 en estado T3. El espesor de las correspondientes chapas finas de aleación de aluminio es típicamente del orden de 0,1 mm a 0,6 mm. La chapa externa del complejo laminado suele ser una chapa plaqueada, para minimizar la corrosión de dicha cara externa. El espesor total del complejo laminado depende de la aplicación: para una piel de fuselaje, es del orden de 3 mm, mientras que para un refuerzo de piel de puerta de avión, puede ser necesario un espesor del orden de 20 mm (véase el artículo de B. Isink "Mit Glare 'erleichtert' abheben", publicado en la revista Airbus News, 1 de noviembre de 2001).

Estas hojas compuestas laminadas según el estado de la técnica presentan ciertos inconvenientes. Por una parte, las chapas finas de aleaciones con tratamiento térmico son costosas porque su procedimiento de fabricación es complejo. Por otra parte, la mayoría de las aleaciones de las familias 2xxx y 7xxx, y especialmente todas las

aleaciones de dichas familias que se usan para la fabricación de elementos estructurales para aplicación aeronáutica, son sensibles a la corrosión. Por esta razón, cuando esta sensibilidad a la corrosión es perjudicial, se usan como cara externa del elemento estructural, chapas plaqueadas. Por lo general, el tratamiento térmico de una chapa fina es complicado, porque ésta corre el riesgo de deformarse, especialmente durante el temple. Esto necesita medidas correctoras que se traducen en etapas de procedimiento adicionales, eliminación de arrugas, aplanado o tracción controlada por ejemplo. El tratamiento térmico de chapas finas plaqueadas es aún más complicado porque, a alta temperatura, ciertos elementos químicos contenidos en el alma pueden propagarse al plaqueado. A modo de ejemplo, si el cobre contenido en las aleaciones 2xxx, tal como la 2024, llega a propagarse a la capa de plaqueado, ésta ya no desempeñará correctamente su función de protección contra la corrosión y puede estar corroída por el entorno. Además, la capa de plaqueado siendo poco resistente mecánicamente, las chapas finas plaqueadas deben manipularse con precaución para evitar arañazos superficiales que pueden ser focos de corrosión. Por lo tanto, las chapas finas plaqueadas tienen un costo de fabricación significativamente más alto y además, durante su fabricación, se observa una tasa de desecho más alta que en las chapas no plaqueadas de la misma aleación, con mismo espesor y mismo estado metalúrgico, lo que aumenta aún más el coste de producción. Este problema sigue presente incluso después de la fabricación del complejo laminado de tipo Glare: si durante la manipulación de tal complejo, un arañazo accidental causa un defecto redhibitorio, la pieza debe desecharse y se pierde todo el valor añadido que representa la fabricación del complejo laminado.

Así, conviene disponer de hojas compuestas laminadas de aluminio y fibras de vidrio que usen chapas finas de aleación de aluminio procedentes de un procedimiento de fabricación más sencillo que el de las chapas finas de aleaciones de las familias 2xxx y 7xxx usadas en las hojas compuestas laminadas conocidas. Más particularmente, conviene que las correspondientes chapas finas sean menos sensibles a la corrosión que las de aleaciones de tipo 2xxx o 7xxx, para evitar el uso de chapas finas plaqueadas, y que las hojas compuestas laminadas que integran dichas chapas tengan características mecánicas comparables a las de las hojas compuestas laminadas conocidas.

Objeto de la invención

La invención tiene por objeto una hoja compuesta laminada de aluminio y fibras de vidrio tal como se define en la reivindicación 1.

Otro objeto de la invención es el uso de tal hoja como elemento estructural, especialmente en construcción aeronáutica.

Descripción de las figuras

La figura 1 muestra dos vistas esquemáticas de la probeta usada para determinación de las características mecánicas estáticas de las hojas compuestas laminadas según la norma ASTM D 3039-76. El parámetro t indica el espesor de la hoja. Las dimensiones se indican en milímetros.

Descripción de la invención

Salvo indicación contraria, todas las indicaciones relativas a la composición química de las aleaciones se expresan en porcentaje másico. La denominación de las aleaciones cumple con los requisitos de las reglas de The Aluminum Association. Los estados metalúrgicos se definen en la norma europea EN 515. Salvo indicación contraria, las características mecánicas estáticas, es decir resistencia a la rotura R_m , límite elástico $R_{p0,2}$ y alargamiento de rotura A , de las chapas metálicas se determinan mediante un ensayo de tracción según la norma EN 10002-1. El término "chapa fina" se entiende aquí como un producto laminado de aleación de aluminio cuyo espesor uniforme es inferior a los 6 mm, mientras que la norma EN 12258-1 usa el término "hoja fina" para productos laminados cuyo espesor es inferior o igual a 0,20 mm.

La solicitante observó que es posible fabricar hojas compuestas laminadas gracias al uso de ciertos tipos de chapas finas de aleaciones de aluminio sin tratamiento térmico, de tipo Al-Mg, con una proporción de magnesio comprendida entre el 4 y el 6 %. La solicitante observó que el límite elástico y la resistencia mecánica de las hojas compuestas laminadas de tipo Glare aumentan de manera aproximadamente lineal con el límite elástico y la resistencia a la rotura de las chapas finas de base. Para las chapas de muy alto límite elástico, el límite elástico de las hojas compuestas laminadas de tipo Glare es notablemente inferior al de las chapas finas de base pero sigue aumentando con el límite elástico de la chapa fina de base.

Sin embargo, para ciertas aplicaciones técnicas, límite elástico y resistencia a la rotura no son determinantes en la medida en que alcanzan cierto nivel mínimo. Es especialmente el caso cuando se toleran grietas de cierto tamaño máximo para el elemento estructural en servicio. A modo de ejemplo, cuando se proyecta usar las hojas compuestas laminadas como paneles de revestimiento de fuselaje de un avión, el parámetro crítico que determina la elección del tipo de compuesto que se va a usar es más bien la resistencia residual de un panel agrietado. Ahora bien, la solicitante observó que este parámetro no depende de manera sencilla de los parámetros de las chapas finas u hojas finas de base.

Todas las aleaciones de aluminio sin tratamiento térmico de tipo Al-Mg con una proporción de magnesio comprendida entre el 4 y el 6 % y que presentan un límite elástico, una resistencia a la rotura y una tenacidad suficientes, pueden ser convenientes para la realización de la invención. Más particularmente, para la fabricación de hojas compuestas laminadas destinadas a usarse como elemento estructural en construcción aeronáutica, se usan chapas que presentan las siguientes características mecánicas estáticas: límite elástico de por lo menos 240 MPa y preferentemente de por lo menos 260 Mpa, resistencia a la rotura de por lo menos 260 MPa y preferentemente de por lo menos 275 MPa. Además de las correspondientes características mecánicas estáticas, las correspondientes chapas presentan una tenacidad caracterizada por un factor de intensidad de tensiones aparente K_{Ic} , medido según la norma ASTM E 561 en un panel de 400 mm de ancho con una grieta inicial de 133 mm, de por lo menos 75 MPa \sqrt{m} . Según una realización preferente de la invención, la chapa presenta un valor de K_{Ic} de por lo menos 80 MPa \sqrt{m} y más preferentemente de por lo menos 85 MPa \sqrt{m} .

Se prefieren las aleaciones Al-Mg que presentan una proporción de magnesio comprendida entre el 4 y el 6 %, que muestran una alta resistencia mecánica y pueden fabricarse de modo que tengan una resistencia a la corrosión satisfactoria. Estas chapas tienen una proporción de manganeso comprendida entre el 0,2 y el 1 %.

A modo de ejemplo, la solicitante obtuvo paneles según la invención que usan chapas de aleación 5186 H12 con un límite elástico de por lo menos 250 MPa, que tienen una resistencia residual y una tensión límite comparables a las de los paneles que usan chapas de aleación 2024 T3. Ventajosamente, se pueden usar aleaciones de tipo 5xxx aún más resistentes o más endurecidas en frío, tales como H16, H18, H19. Pueden usarse chapas menos endurecidas en frío (H14 como máximo) cuando las chapas más endurecidas en frío no presentan una tenacidad intrínseca suficiente. Se prefieren chapas que tienen a la vez una tenacidad y una resistencia a la rotura suficientes. A tal efecto, se puede ajustar la composición química y / o el grado de conformación en frío de las chapas. La solicitante observó que es preferible optimizar las características mecánicas estáticas y dinámicas de la chapa de base jugando con su composición química y microestructura y no por conformación en frío. A modo de ejemplo, la adición de escandio o hafnio permite aumentar el límite elástico de las chapas por encima de los 300 MPa; así, el límite elástico de las chapas puede alcanzar los 330 Mpa, de manera preferente los 350 MPa e incluso más, sin degradar su tenacidad intrínseca. Según una realización preferente de la invención, se usan entre el 0,1 y el 0,3 % y preferentemente el 0,2 % aproximadamente de escandio, o entre el 0,2 y el 0,4 % y preferentemente el 0,3 % aproximadamente de hafnio, sabiendo que estos dos elementos pueden sustituirse mutuamente, habida cuenta de la mayor eficacia del escandio con respecto al hafnio. Se pueden usar también otros elementos que forman dispersoides endurecedores, tales como Zr, Cr, La, Ti, Ce, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Y, Yb. Es preferible que la concentración de cada uno de los correspondientes elementos no sobrepase el 0,5 % y que la concentración total de los correspondientes elementos no sobrepase el 2 %. Así, es posible obtener productos que tienen propiedades mecánicas comparables a las del producto estándar, es decir hojas compuestas laminadas de tipo Glare que integran chapas finas de 2024 T3, sin recurrir a chapas finas de endurecimiento estructural y / o chapas finas plaqueadas.

La solicitante obtuvo buenos resultados con chapas finas de aleaciones 5186, 5182, 5083, 5086, 5383, 5456. Son particularmente preferentes los productos obtenidos con chapas finas 5186 H14, H16 y H28; preferentemente, estas chapas presentan un valor de K_{Ic} de por lo menos 80 MPa \sqrt{m} y preferentemente de por lo menos 85 MPa \sqrt{m} . La solicitante también obtuvo buenos resultados con chapas finas de aleación 5383 en estado H116 (K_{Ic} superior a los 85 MPa \sqrt{m}). A modo de comparación, el valor de K_{Ic} de una chapa de aleación 2024 es del orden de 85 a 90 MPa \sqrt{m} .

Según la invención, pueden fabricarse también complejos laminados de aluminio y fibras de vidrio en los que una de las chapas externas, o ambas chapas externas, son de aleación sin tratamiento térmico, mientras que las otras chapas son de aleaciones con tratamiento térmico; tal complejo puede comprender por ejemplo una chapa exterior de aleación 5186 H14, las otras chapas siendo de 2024 T3 clásica. Se sustituye así una chapa plaqueada con tratamiento térmico por una chapa no plaqueada sin tratamiento térmico que presenta características mecánicas sensiblemente parecidas.

Según otra realización ventajosa de la invención, se usan chapas de aleación 5182 o 5186 laminadas en frío, típicamente en estado H111 o H24, con un espesor típico comprendido entre 0,2 y 0,4 mm.

Las hojas compuestas laminadas según la invención comprenden N chapas de aleación de aluminio que alternan con N-1 capas de polímero; N siendo por lo menos igual a 2, pero un valor de 3 o 4 es preferente a un valor de 2. Pueden fabricarse según los procedimientos conocidos por el especialista. Preferentemente, se usa un polímero termoendurecible, un polímero de tipo epoxi por ejemplo. El espesor de las chapas en las hojas compuestas laminadas según la invención es ventajosamente inferior a 1 mm y, preferentemente, está comprendido entre 0,2 y 0,6 mm. En ciertos casos, puede ser inferior a 0,2 mm e incluso inferior a 0,1 mm.

Los productos según la invención pueden usarse como elemento estructural y en construcción aeronáutica en particular. Una aplicación preferente es como elemento estructural de aeronave, y más particularmente para elementos estructurales para los que el diseñador tolera la presencia de grietas de cierto tamaño máximo en

situación de servicio. Una aplicación particularmente preferente es como panel de revestimiento de la parte superior del fuselaje (llamada "upper shell" en inglés) de un avión. Otra aplicación es como elemento de puerta de aeronave. Los productos según la invención tienen numerosas ventajas. El precio de las chapas de aleación sin tratamiento térmico es muy significativamente inferior al de las chapas de aleaciones con tratamiento térmico. La mayor resistencia a la corrosión de las chapas de aleación 5xxx, con respecto a las chapas de 2024, permite simplificar o incluso suprimir el tratamiento superficial anticorrosivo de las caras externas, siendo suficiente un revestimiento superficial (pintura por ejemplo) menos espeso y más ligero. Esto permite fabricar elementos estructurales más ligeros, menos caros y mediante procedimientos menos contaminantes.

10 **Ejemplo**

Se preparan hojas compuestas laminadas de tipo Glare que integran cuatro chapas finas idénticas de 0,5 mm de espesor y tres capas de fibra de vidrio y de adhesivo epoxi (capas "prepreg"), todas de 0,25 mm de espesor. Cada una de las tres capas prepreg contiene fibras superpuestas orientadas a 0 ° y 90 °. La anchura de los paneles es de 800 mm, la longitud de 1200 mm.

Las chapas finas se limpian cuidadosamente para quitar partículas metálicas o no metálicas. El compuesto se prepara según una técnica conocida. El recocido del compuesto se efectúa en una autoclave con un ciclo térmico definido por los puntos

- (t₁ = 0 min / T₁ = 20 °C / P1 = 1000 Mbar),
- (t₂ = 10 min / T₂ = 20 °C / P2 = 6000 Mbar),
- (t₃ = 55 min / T₃ = 120 °C / P3 = 6000 Mbar),
- (t₄ = 145 min / T₄ = 120 °C / P4 = 6000 Mbar),
- (t₅ = 161 min / T₅ = 40 °C / P5 = 6000 Mbar),
- (t₆ = 165 min / T₆ = 20 °C / P6 = 1000 Mbar).

Se preparan así hojas compuestas laminadas con chapas no plaqueadas de distintas aleaciones y estados metalúrgicos: 5186 H12, 2024 T3, 2024A T3, 2024A T39. Las características mecánicas estáticas de estas chapas de base se determinan según la norma EN 10002-1.

Se determinan las características mecánicas estáticas de las hojas compuestas laminadas, según el proceso descrito en la norma ASTM D 3039-76, en la dirección paralela a la dirección de laminado de las chapas y en la dirección perpendicular a la dirección de laminado de las chapas. El principio de las probetas se muestra en la figura 1. Los parámetros obtenidos son: límite elástico R_{p0,2} y resistencia a la rotura R_m. Se efectúa un ensayo de resistencia residual de un panel agrietado según la norma ASTM E-561; el análisis de estas medidas se hace según lo que enseña el libro de T. J. de Vries, "Blunt and sharp notch behaviour of Glare laminates", Delft University Press 2001, páginas 59 a 68. Este libro informa asimismo sobre la forma precisa de la probeta.

Los resultados se presentan en el cuadro 1. Las características mecánicas estáticas indicadas son los valores medios de cinco medidas.

Cuadro 1: Resultados

Referencia	Chapa de base		Hojas compuestas laminadas		
	R _{p0,2} (L) [MPa]	R _m (L) [MPa]	R _{p0,2} (L) [MPa]	R _m (L) [MPa]	Resistencia residual (L) [MPa√m]
2024 T3	369	484	307	634	195
5186 H12	250	310	227	552	172
2024A T3	360	460	288	613	219
2024A T39	390	480	312	634	218

Se observa que los paneles según la invención que usan chapas de aleación 5186 H12, tienen una resistencia residual totalmente comparable a la de los paneles que usan chapas de aleación 2024 T3: es de unos 12 % inferior para los paneles según la invención, lo que es admisible, habida cuenta de las otras ventajas técnicas y económicas de los productos según la invención.

- 5 En este ejemplo, no se pone a prueba la resistencia a la corrosión de los paneles; en efecto, no se plaquearon las chapas de aleación 2xxx para simplificar la fabricación de las hojas compuestas laminadas. El especialista sabe que la resistencia a la corrosión de un producto de aleación 2xxx, tal como la 2024, en todas las situaciones de uso como elemento estructural aeronáutico, es muy inferior a la de una aleación de la familia 5xxx, tal como la 5186 (véase por ejemplo el capítulo "Corrosion Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys" en Metal Handbook, Desk Edition, 2nd edition, páginas 499 a 505, ASM International).

REIVINDICACIONES

1. Hoja compuesta laminada de aluminio y fibras de vidrio, que comprende N chapas de aleación de aluminio que alternan con N-1 capas de polímero, N siendo por lo menos igual a 2 y la correspondiente capa de polímero conteniendo fibras de vidrio, la correspondiente hoja compuesta laminada se caracteriza por lo que por lo menos una de las correspondientes chapas es de aleación de aluminio sin tratamiento térmico de tipo Al-Mg con una proporción de magnesio, expresada en porcentaje másico, comprendida entre el 4 y el 6 % y una proporción de manganeso, expresada en porcentaje másico, comprendida entre el 0,2 y el 1 %, en la que la correspondiente chapa de aleación Al-Mg presenta un límite elástico según la norma EN 10002-1 de por lo menos 240 Mpa, una resistencia a la rotura según la norma EN 10002-1 de por lo menos 260 MPa y un factor de intensidad de tensiones aparente K_{co} , medido según la norma ASTM E 561 en un panel de 400 mm de ancho con una grieta inicial de 133 mm, de por lo menos $75 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.
2. Hoja compuesta laminada según la reivindicación 1, en la que N es por lo menos igual a tres.
3. Hoja compuesta laminada según la reivindicación 1 o 2, en la que por lo menos una de las caras externas se compone de una chapa de aleación de aluminio sin tratamiento térmico.
4. Hoja según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada por lo que la aleación de la correspondiente chapa de aleación de aluminio sin tratamiento térmico se elige en el grupo constituido por las aleaciones 5083, 5182, 5086, 5383, 5456, 5186.
5. Hoja según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada por lo que la correspondiente chapa de aleación Al-Mg es de aleación 5182 o 5186 en estado H111 o H24 y tiene un espesor comprendido entre 0,2 y 0,4 mm.
6. Hoja según la reivindicación 1, en la que la aleación Al-Mg tiene una proporción de escandio comprendida entre el 0,1 y el 0,3 % y / o una proporción de hafnio comprendida entre el 0,2 y el 0,4 %.
7. Hoja según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la aleación Al-Mg contiene elementos que forman dispersoides elegidos en el grupo constituido por Zr, Cr, La, Ti, Ce, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Y, Yb.
8. Hoja según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que la correspondiente chapa de aleación Al-Mg presenta un límite elástico de por lo menos 260 MPa y una resistencia a la rotura de por lo menos 275 MPa.
9. Hoja según la reivindicación 8, en la que la correspondiente chapa de aleación Al-Mg presenta un límite elástico de por lo menos 300 MPa y preferentemente de por lo menos 330 MPa.
10. Hoja según la reivindicación 8 o 9, en la que la correspondiente chapa presenta un factor de intensidad de tensiones aparente K_{co} , medido según la norma ASTM E 561 en un panel de 400 mm de ancho con una grieta inicial de 133 mm, de por lo menos $80 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ y preferentemente de por lo menos $85 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.
11. Uso de una hoja según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 como elemento estructural.
12. Uso según la reivindicación 11 como elemento estructural en construcción aeronáutica.
13. Uso según la reivindicación 12 como elemento de fuselaje de una aeronave.
14. Uso según la reivindicación 12 como elemento de puerta de aeronave.

FIGURA 1

