

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 431**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/20** (2006.01)

**B32B 5/12** (2006.01)

**B64C 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2011 PCT/US2011/054206**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.04.2012 WO2012047751**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2011 E 11770283 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016 EP 2625026**

54 Título: **Rigidizadores de material compuesto para vehículos aeroespaciales**

30 Prioridad:

**04.10.2010 US 897742**

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

**11.07.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KISMARTON, MAX U.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 623 431 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

Rigidizadores de material compuesto para vehículos aeroespaciales

Antecedentes

5 Los largueros realizan varias funciones en una aeronave. Estas funciones incluyen transferir cargas de flexión en paneles de revestimiento, y rigidizar los paneles de revestimiento de modo que los paneles no se pandeen bajo carga.

10 Los largueros y paneles de revestimiento pueden componerse de materiales compuestos de fibra tales como plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP). Se va a usar CFRP en lugar de metal, especialmente en aplicaciones en las que se desean un peso relativamente bajo y una alta resistencia mecánica. El CFRP proporciona una mejora significativa en la resistencia específica y la rigidez con respecto a las aleaciones metálicas convencionales. Mejor resistencia específica y rigidez se traduce en ahorros de peso, lo que se traduce en ahorros de combustible y menores costes operativos.

15 Un larguero de material compuesto se fabrica a partir de múltiples capas de fibras de refuerzo. Hay un criterio para la definición de diseño para la fabricación de un material laminado compuesto que especifica la orientación de capas individuales que usa cuatro ejes tradicionales: 0/+45/-45/90 grados, donde 0 grados está alineado normalmente con una dirección de carga primaria. Este criterio también se aplica a probetas de prueba, y a la resistencia de material laminado compuesto resultante admisible y a métodos de análisis de optimización de resistencia de la industria.

20 Algunas capas tienen fibras de refuerzo orientadas a 0 grados con respecto al eje de carga primaria del larguero. Estas fibras transfieren cargas uniaxiales. Otras capas tienen fibras de refuerzo orientadas a  $\pm 45$  grados y 90 grados para transferir cargas de cizalladura, transversales y de apoyo. Cada capa añade peso a un larguero. También se conoce que un alto % de capas totales en una única dirección de carga primaria puede hacer que se debilite un larguero en una dirección de carga no primaria, produciendo tal debilitamiento por ejemplo grietas o rajaduras tempranas en la dirección de carga primaria de larguero. Ese efecto limita la capacidad para aumentar la rigidez de larguero sin añadir capas.

25 Sería deseable aumentar la resistencia específica y la rigidez de largueros de material compuesto.

Sumario

30 Según una realización en el presente documento, un vehículo aeroespacial incluye una pluralidad de rigidizadores de material compuesto. Cada rigidizador de la pluralidad tiene un apilamiento de capas de fibras de refuerzo. Al menos algunas de las capas en el apilamiento tienen fibras de refuerzo orientadas a una orientación no tradicional  $\pm\alpha$  con respecto a un eje de carga primaria, donde  $\alpha$  es de entre 2 y 12 grados. Al menos algunas de las capas en el apilamiento tienen fibras de refuerzo orientadas a una orientación no tradicional  $\pm\beta$  con respecto al eje de carga primaria, donde  $\beta$  es de entre 50 y 85 grados.

35 Según otra realización en el presente documento, un artículo incluye un rigidizador de vehículo aeroespacial. El rigidizador incluye una base y un alma. Al menos uno de la base y el alma incluye un apilamiento de capas de fibras de refuerzo, al menos el 50% de las cuales están orientadas a  $\pm\alpha$  con respecto a un eje de carga primaria, donde  $\alpha$  es de entre 2 y 12 grados.

40 Según otra realización en el presente documento, un artículo incluye un rigidizador de vehículo aeroespacial. El rigidizador incluye una base y un alma. El alma incluye capas de fibras de refuerzo para proporcionar resistencia en tensión y compresión a lo largo de un eje de carga primaria. El alma también incluye capas de fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\beta$  grados con respecto al eje de carga primaria, donde  $\beta$  es de entre 50 y 85 grados. Las fibras orientadas a  $\pm\beta$  grados se desvían hacia superficies exteriores del alma para aumentar la rigidez en pandeo y carga transversal.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una ilustración de una aeronave comercial.

45 La figura 2 es una ilustración de los conjuntos de aeronave principales que incluyen largueros.

La figura 3 es una ilustración de un panel de revestimiento y un larguero.

La figura 4 es una ilustración de diferentes tipos de geometrías de larguero de aeronave.

La figura 5a es una ilustración de un apilamiento de capas de fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\alpha$  grados y  $\pm\beta$  grados.

La figura 5b es una ilustración de un apilamiento de capas de fibras de refuerzo orientadas solamente a  $\pm\alpha$  grados.

La figura 6 es una ilustración de un alma de larguero que tiene fibras  $\beta$  desviadas hacia superficies exteriores del alma.

- 5 La figura 7a es una ilustración de fibras de refuerzo orientadas a 0 grados con respecto a un eje de carga primaria de un larguero con un orificio perforado en la parte central.

La figura 7b es una ilustración de fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\alpha$  grados con respecto a un eje de carga primaria de un larguero con un orificio perforado en la parte central.

#### Descripción detallada

- 10 Se hace referencia a las figuras 1 y 2, las cuales ilustran una aeronave 100 comercial. Los conjuntos principales de la aeronave 100 incluyen un fuselaje 110, conjuntos 120 de ala y un empenaje 130. Una o más unidades 140 de propulsión se acoplan a los conjuntos 120 de ala, o al fuselaje 110 u otras partes de la aeronave 100.

- 15 Los conjuntos 110, 120 y 130 de aeronave principales incluyen paneles 210 de revestimiento y rigidizadores. La función de los rigidizadores para impedir que los conjuntos 110, 120 y 130 principales se pandeen, incluyendo transferir cargas de flexión a los paneles 210 de revestimiento, y rigidizar los paneles 210 de revestimiento de modo que los paneles 210 no se pandeen bajo carga. Los rigidizadores no se limitan a los conjuntos 110, 120 y 130 de aeronave principales ilustrados en la figura 2. Pueden usarse rigidizadores en cualquier estructura de aeronave que requiera rigidización.

Tal como se describe en el presente documento, un larguero 220 es un tipo de rigidizador.

- 20 Los largueros 220 en el fuselaje 110 están sometidos principalmente a tensión y compresión uniaxiales y pandeo fuera del plano. Los largueros 220 de fuselaje también están sometidos a cargas secundarias incluyendo cargas de cizalladura y de apoyo.

- 25 Cada conjunto 120 de ala incluye largueros 220 superiores e inferiores. Los largueros 220 superiores están sometidos principalmente a compresión uniaxial, mientras que los largueros 220 inferiores están sometidos principalmente a tensión uniaxial (la carga primaria se invierte algunas veces). Los largueros 220 superiores e inferiores también están sometidos a cargas secundarias incluyendo cargas de cizalladura, de apoyo y transversales.

El empenaje 130 incluye estabilizadores horizontales y verticales. Los largueros 220 en los estabilizadores están sometidos a las mismas cargas primarias y secundarias que los conjuntos 120 de ala.

- 30 Un larguero 220 bajo compresión tenderá a torcerse, abarquillarse y pandearse. El larguero 220 proporciona resistencia frente a la compresión y la tensión y estabilidad frente a la torsión, el abarquillamiento y el pandeo.

- 35 Se hace referencia ahora a la figura 3, la cual ilustra una realización de un larguero 220 sujeto a un panel 210 de revestimiento. El larguero 220 de la figura 3 tiene una geometría de viga en I. Un larguero 220 de este tipo incluye un alma 14 entre los cordones 16 y 18 primero y segundo. El alma 14 tiene una profundidad D que proporciona una resistencia deseada a una carga aplicada.

Los cordones 16 y 18 primero y segundo son generalmente elementos planos. El primer cordón 16, que se denominará cabecero 16, tiene una anchura  $W_1$ . El segundo cordón 18, se denominará base 18, tiene una anchura  $W_2$ .

- 40 El alma 14, el cabecero 16 y la base 18 se extienden en una dirección X a lo largo de un eje X (que es normal a la hoja de dibujo). El eje X es el eje de carga primaria. El alma, el cabecero 16 y la base 18 pueden tener anchuras constantes a lo largo de la dirección X, o pueden variar de manera continua o incluso de manera no continua a lo largo de la dirección X.

- 45 La figura 3 también muestra un sistema de coordenadas para cada uno del alma 14 ( $X-Y_w-Z_w$ ), el cabecero 16 ( $X-Y_c-Z_c$ ) y la base 18 ( $X-Y_b-Z_b$ ). Estos sistemas de coordenadas pueden corresponder a una viga en I formada por canales en C adosados (*back-to-back*). Tal como se comentó anteriormente, se miden las orientaciones de todas las fibras de refuerzo con respecto a la dirección X.

Un larguero 220 no se limita en el presente documento a la geometría de viga en I ilustrada en la figura 3. Otras geometrías utilizables incluyen, pero no se limitan a, vigas en Z, aspás, canales en C y vigas en forma de sombrero. Los largueros que tienen estas geometrías incluyen todos al menos un alma y una base. Se ilustran ejemplos de las geometrías 410, 420 y 430 de viga en forma de sombrero, en Z y canal en C en la figura 4.

- 5 El panel 210 de revestimiento, que tiene un grosor  $T_1$ , se acopla a la base 18. En algunas realizaciones, la base 18 puede unirse de manera adhesiva al panel 210 de revestimiento. En otras realizaciones, la base 18 puede curarse conjuntamente con el panel 210 de revestimiento.

10 En la realización mostrada en la figura 3, la base 18 se fija al panel 210 de revestimiento mediante elementos 22 de sujeción. Los elementos 22 de sujeción se extienden a través de aberturas en el panel 210 de revestimiento y la base 18. Los elementos 22 de sujeción se enganchan mediante tuercas 24 para conferir una fuerza de compresión predeterminada al panel 210 de revestimiento y la base 18. Los elementos 22 de sujeción pueden usarse en lugar de, o además de, la unión adhesiva.

15 Los elementos de sujeción para fijar los largueros 220 a los paneles 210 de revestimiento no se limitan a pernos 22 y tuercas 24. Otros elementos de sujeción incluyen, pero no se limitan a, grapas, pasadores en Z, remaches, elementos de sujeción de engarce y púas. Mientras que elementos de sujeción tales como pernos 22 se extienden totalmente a través de una base de larguero y un panel 210 de revestimiento, elementos de sujeción tales como grapas, pasadores en Z y lengüetas pueden extenderse parcialmente en los paneles de revestimiento. Elementos de sujeción tales como grapas, pasadores en Z y púas pueden ser solidarios con las bases de larguero.

20 Otro ejemplo de un elemento de sujeción es el cosido. Pueden coserse entre sí capas de fibras. Las puntadas pueden enhebrarse a través de aberturas en un material laminado de capas de material compuesto secas. Se infunde entonces resina en la estructura, y se cura la estructura.

25 El panel 210 de revestimiento incluye un apilamiento de capas de fibras de refuerzo incluidas en una matriz. Diferentes capas pueden tener fibras orientadas a 0, +45, -45 y 90. Algunas realizaciones pueden tener un material laminado casi isotrópico, mediante lo cual se usan cantidades y porcentajes iguales de capas de 0, +45, -45, y 90 grados. En otras realizaciones, las diferentes capas podrían incluir fibras de refuerzo orientadas a 10, -55, +100 y -35 grados, o algunos otros ángulos o combinaciones. Las fibras de refuerzo en los paneles 210 de revestimiento pueden ser fibras de carbono que tienen un módulo intermedio de 40 MSI. La rigidez de capa del panel 210 de revestimiento (es decir, la rigidez de las fibras de carbono más resina) puede tener un módulo de 22-25 MSI. La rigidez de apilamiento a lo largo de 0 grados puede ser de 10-12 MSI.

30 El larguero 220 incluye múltiples capas de fibras de refuerzo incluidas en una matriz. Las fibras de refuerzo y la matriz no se limitan a ninguna composición particular. Los ejemplos para las fibras incluyen, pero no se limitan a, fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras de aramida, fibras de boro y fibras de titanio. Los ejemplos de la matriz incluyen, pero no se limitan a, plástico y metal. Como primer ejemplo, se incluyen fibras de carbono en una matriz de plástico. Como segundo ejemplo, se incluyen fibras de carbono en una matriz de titanio. En algunas realizaciones, las fibras de carbono pueden tener un módulo intermedio de 40 MSI, y la rigidez de capa puede ser de 22-25 MSI.

Se hace referencia ahora a la figura 5a, la cual ilustra un apilamiento 500 de capas 500a-500d de un alma 14, una base 16 o un cabecero de un larguero 220. El apilamiento 500 ilustrado en la figura 5a incluye capas 500a y 500b primera y segunda que tienen fibras orientadas a  $+\alpha$  grados y  $-\alpha$  grados con respecto al eje X. Estas fibras orientadas a  $\pm\alpha$  proporcionan resistencia en tensión y compresión a lo largo del eje X.

40 La disposición de capas incluye además capas 500c y 500d tercera y cuarta que tienen fibras orientadas a  $+\beta$  grados y  $-\beta$  grados, en la que  $\beta$  es de entre 50 y 85 grados (por ejemplo,  $\pm 50$ ,  $\pm 60$ ,  $\pm 70$ ,  $\pm 80$ ). En algunas realizaciones, el intervalo para  $\beta$  será más estrecho, entre 50 y 75 grados. Las fibras orientadas a  $\pm\beta$  grados incrementan la resistencia a la cizalladura, transversal y la capacidad de carga. Por ejemplo, pueden añadirse fibras orientadas a  $\pm\beta$  grados para incrementar la capacidad de carga en áreas en las que se usan elementos de sujeción para realizar una unión de sujeción o reparar una unión. Puesto que son necesarias unas pocas capas  $\pm\beta$  para lograr la misma resistencia transversal y capacidad de carga (es decir, en relación con fibras orientadas a 90 grados, +45 grados y -45 grados), la estructura resultante es más utilizable, adaptable, eficiente y ligera.

45 La orientación selectiva de fibras permite que se ajuste cualquiera de seis características: resistencia en cizalladura, rigidez en cizalladura, resistencia transversal, rigidez transversal, capacidad de carga y rigidez de apoyo. Si se desea mayor resistencia en cizalladura, se seleccionará una  $\beta$  que se aproxime a 50 grados. Si se desea mayor resistencia transversal, se seleccionará una  $\beta$  que se aproxime a 85 grados. Si se desea mayor capacidad de carga, se seleccionará una  $\beta$  que se aproxime a 65-70 grados.

De las fibras orientadas a  $\pm\alpha$  y  $\pm\beta$  totales, solamente es necesario que el 20-30% de las fibras a  $\pm\beta$  totales alcancen

niveles de capacidad de carga similares a materiales laminados duros a 0/+45/-45/90 grados tradicionales. En un material laminado duro, el porcentaje de capas a cero grados es de entre el 40 y el 100%.

5 En algunas realizaciones, pueden intercalarse capas de las fibras orientadas a  $\pm\beta$  grados con capas de las fibras orientadas a  $\pm\alpha$  grados. Considérese un ejemplo de capas unidireccionales que se intercalan. Las capas pueden tener el siguiente orden:  $+\alpha$  / $\alpha$ /+ $\beta$  /+ $\alpha$  /- $\alpha$ /- $\beta$ /+ $\alpha$  /- $\alpha$ .... Las capas intercaladas pueden usarse en el alma 14, el cabecero 16 y 18. Sin embargo, en otras realizaciones, las capas de fibras  $\beta$  en el alma 14 se desvían hacia las superficies exteriores del alma.

10 Se hace referencia a la figura 6, que ilustra un alma 14 que tiene capas de fibras  $\beta$  desviadas alejándose del plano 14a medio y desviadas hacia las superficies 14b exteriores. Es decir, la densidad de capas de fibras  $\beta$  aumenta hacia las superficies 14b exteriores en la dirección  $Z_w$ . Por ejemplo, capas de fibras  $\alpha$  forman un núcleo del alma 14, y capas de fibras  $\beta$  forman las superficies 14b exteriores del alma 14. El desvío de las capas de fibras  $\beta$  hacia las superficies 14b exteriores aumenta la rigidez al pandeo y la flexión transversal.

15 Aunque la figura 5a ilustra solamente cuatro capas 500a-500d de fibras de refuerzo, un larguero 220 no está así limitado. Pueden proporcionarse capas adicionales de fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\alpha$  grados para aumentar la resistencia en tensión y compresión a lo largo del eje L. Pueden proporcionarse capas adicionales de fibras de refuerzo orientadas a otros ángulos (denominados más adelante  $\pm\beta$ ) para aumentar al menos una de la rigidez y/o resistencia a la cizalladura, transversal y la capacidad de carga.

20 Pueden agruparse diferentes disposiciones entre sí. Por ejemplo, un larguero puede incluir una pluralidad de grupos de fibras. Las capas en cada grupo corresponden a una disposición de fibras en diferentes orientaciones. Los grupos pueden emplearse en cualquier combinación deseada y pueden repetirse a cualquier grado deseado.

Preferiblemente, al menos el 50% de las capas en el apilamiento tendrán fibras orientadas a  $\pm\alpha$  grados. Sin embargo, en algunas realizaciones de largueros, el 100% de las fibras se orientarán a  $\pm\alpha$  grados.

La figura 5b ilustra una realización de un larguero que tiene capas de fibras orientadas solamente a  $\pm\alpha$  con respecto al eje X. En la figura 5b, se ilustra un apilamiento 500 que tiene cuatro capas 550a-550d.

25 En los apilamientos 500 y 550, las fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\alpha$  grados proporcionan resistencia en tensión y compresión a lo largo del eje X. Las fibras de refuerzo orientadas a 0 grados con respecto al eje X proporcionarán una resistencia máxima a lo largo del eje X. las fibras de refuerzo orientadas a un ángulo  $\alpha$  de entre 2 y 12 grados con respecto al eje X no proporcionarán una resistencia máxima, pero suprimirán o retrasarán la separación de capas cuando el larguero 220 se carga de manera uniaxial a lo largo del eje X (por ejemplo, cuando el larguero se pone en compresión uniaxial).

30 Las aberturas de elemento de sujeción pueden ser perpendiculares a las capas y extenderse a través de las capas que compone la base 18. Las fibras orientadas a  $\alpha$  de entre 2 y 12 grados pueden suprimir o retrasar la separación de capas que se produciría si no por estas aberturas que se extienden a través de la base 18. La separación de una capa se suprimirá o retrasará en un factor de 10 a 100 veces en relación con un material laminado que tiene una mayoría de fibras orientadas a  $\alpha = 0$  grados. El incremento de la resistencia a la separación en de 1 a 3 órdenes de magnitud hacen que tales materiales laminados sean mucho más prácticos.

35 Se hace referencia ahora a las figuras 7a y 7b, que ilustran cómo se suprime o retrasa la separación de capas. La figura 7a ilustra una única capa 710 que tiene seis fibras 712 a 717 incluidas en una matriz 720. Las fibras 712 a 717 están orientadas a 0 grados con respecto al eje X. Las fibras 714 y 715 se cortan perforando un orificio 730. Cuando se aplica una carga de tensión T a lo largo del eje X, las fibras 712, 713, 716 y 717 sin cortar soportan la carga y se estiran. Las fibras 714 y 715 cortadas no soportan la carga, no se estiran, y se cizallan alejándose de la matriz 720. Esto debilita a su vez la resina entre una fibra 714 cortada y una fibra 713 sin cortar. Se forma una grieta 740 fina (representada por la línea discontinua) en la matriz 720 entre las fibras 714 y 713 cortada y sin cortar. Esta grieta 740 puede propagarse a lo largo de toda la longitud de la capa 710. La grieta 740 puede producirse si una estructura tiene una capa, cinco capas, decenas de capas, o más. La grieta 740 degrada gravemente la resistencia del larguero.

40 La figura 7b ilustra una capa 750 de fibras 752a a 756a orientadas a  $-\alpha$  grados con respecto al eje X, y fibras 752b a 756b orientadas a  $+\alpha$  grados con respecto al eje X, donde  $\alpha$  es de entre 2 y 12 grados. La capa 750 puede incluir una única capa que tiene fibras 752a a 756a y 752b a 756b o dos capas unidireccionales (una capa unidireccional que tiene fibras 752a a 756a y otra capa unidireccional que tiene fibras 752b a 756b). Si las fibras 754a, 756a, 754b y 756b se cortan mediante un orificio 770, se formará una pequeña grieta 780 en la capa 750. Sin embargo, la grieta 780 no crecerá de manera descontrolada. En cambio, el crecimiento de la grieta 780 se ralentizará y se detendrá de inmediato, mediante lo cual se mantendrá la resistencia del larguero. Además, debido a la orientación de fibras de  $\alpha$

de entre 2 y 12 grados, será necesario una carga cada vez mayor para propagar la grieta 780 (se ha mostrado que las fibras en ángulo hacen que difunda la energía en el extremo de grieta). Por tanto, se suprime o retrasa la separación de capas.

5 Un ángulo  $\alpha$  en el intervalo de 2 a 8 grados proporciona una buena combinación de resistencia y supresión de separación. Para ángulos inferiores a 2 grados, la separación de capas aumenta rápidamente. Para ángulos  $\alpha$  que superan los 8 grados, la resistencia axial disminuye rápidamente. Sin embargo, para algunas aplicaciones, ángulos hasta 12 grados proporcionarán una resistencia aceptable.

10 En algunas realizaciones, un ángulo  $\alpha$  en el intervalo de 3 a 5 grados proporciona una mejor combinación de resistencia y supresión/retraso de separación, y también proporciona un margen de error frente a la disminución de resistencia que puede producirse por debajo de  $\alpha = 2$  grados y por encima de  $\alpha = 8$  grados (si el control de fibra es insuficiente durante la fabricación, algunas fibras podrían orientarse a ángulos menores de 2 grados o mayores de 8 grados). Se ha encontrado que un ángulo  $\alpha$  de 3 grados proporciona una combinación incluso mejor, ya que proporciona de un 1 a un 2% más resistencia en compresión.

15 Las fibras pueden estar equilibradas o desequilibradas ligeramente. Como ejemplo de fibras equilibradas, un larguero tiene N capas de fibras a  $+\alpha$  intercaladas con N capas de fibras a  $-\alpha$ . Como ejemplo de fibras desequilibradas ligeramente, un larguero puede tener N capas de fibras a  $+\alpha$  intercaladas con N-1 capas de fibras a  $-\alpha$  grados.

20 En algunas realizaciones, todas las capas pueden tener el mismo valor de  $+\alpha$  y el mismo valor de  $-\alpha$ . En otras realizaciones, las capas pueden tener diferentes valores de  $\alpha$ . Por ejemplo, pueden laminarse capas de fibras de refuerzo que tienen orientaciones de  $\alpha = 3$  grados y  $\alpha = 5$  grados.

En algunas realizaciones, una capa puede tener fibras a diferentes ángulos. Por ejemplo, una capa puede incluir fibras orientadas a ángulos de -3 grados, +7 grados, -7 grados y +2 grados. En algunas realizaciones, una capa puede tener fibras orientadas a ángulos de tanto  $+\alpha$  como de  $-\alpha$  grados.

25 El valor óptimo de  $\alpha$  será habitualmente función de varios factores. Estos factores incluyen, pero no se limitan a, la fibra, la matriz, la fuerza de unión interfacial entre una fibra y la matriz, la densidad de fibra, la longitud de fibra, etc. Estos factores también incluyen la capacidad para controlar la orientación de fibras.

Esta optimización se llevaba a cabo tradicionalmente con límites sobre el % máximo de capas uniaxiales en la dirección de carga primaria normalmente del 50-60% para impedir la separación de capas.

30 Este nuevo método que usa orientación de capas distinta de cero hace posible la supresión de la separación de capas intrínseca con una pequeña reducción de la rigidez máxima, pero sin limitar adicionalmente el equilibrio entre resistencia a la cizalladura y la axial. Esto permite que capas de cizalladura reducida hasta sean materiales laminados uniaxiales al 100% útiles. Se requieren pruebas para definir los límites permisibles únicos que han de aplicarse a cualquier análisis de optimización específico.

35 Se han descrito anteriormente rigidizadores de material compuesto en relación con una aeronave. Sin embargo, los rigidizadores de material compuesto no están limitados así en el presente documento. Los rigidizadores de material compuesto en el presente documento pueden proporcionar rigidez a estructuras de helicópteros, naves espaciales y otros vehículos aeroespaciales. Los rigidizadores de material compuesto en el presente documento no se limitan ni siquiera a vehículos aeroespaciales. Pueden usarse en cualquier estructura ligera que requiera rigidización.

40 Otras realizaciones que podrían definirse usando el método descrito incluyen sin limitación, aquellas en las que las fibras de refuerzo para proporcionar resistencia en tensión y compresión están orientadas a  $\pm\alpha$  con respecto al eje de carga primaria, donde  $\alpha$  es de entre 2 y 12 grados, o entre 2 y 8 grados, o entre 3 y 5 grados

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Vehículo aeroespacial que comprende una pluralidad de rigidizadores de material compuesto, teniendo cada rigidizador de la pluralidad un apilamiento de capas de fibras de refuerzo; teniendo al menos alguna de las capas en el apilamiento fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\alpha$  con respecto a un eje de carga primaria, en el que  $\alpha$  es de entre 2 y 12 grados; teniendo al menos algunas de las capas fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\beta$  con respecto al eje de carga primaria, en el que  $\beta$  es de entre 50 y 85 grados, en el que los rigidizadores incluyen almas, y en el que las fibras orientadas a  $\pm\beta$  se desvían hacia superficies exteriores de las almas para aumentar la rigidez en pandeo y flexión transversal, en el que las fibras  $\beta$  están dispuestas en capas desviadas alejándose de un plano (14a) medio hacia las superficies (14b) exteriores del alma (14).
- 10 2. Vehículo según la reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de paneles (210) de revestimiento rigidizados por los rigidizadores, en el que los rigidizadores incluyen bases sujetas a los paneles (210) de revestimiento mediante elementos de sujeción, mediante lo cual las fibras orientadas a  $\pm\alpha$  suprimen o retrasan la separación de capas en las bases.
3. Vehículo según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que  $\alpha$  es de entre 2 y 8 grados.
- 15 4. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que  $\alpha$  es de entre 3 y 5 grados.
5. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que las fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\alpha$  constituyen al menos el 50% del número total de fibras en cada rigidizador.
6. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que los paneles (210) de revestimiento y los rigidizadores incluyen fibras de carbono en una matriz polimérica.
- 20 7. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el vehículo incluye a fuselaje (110), conjuntos (120) de ala y empenaje (130); y en el que se incluye la pluralidad de rigidizadores en al menos uno del fuselaje, los conjuntos de ala y el empenaje.
8. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1-7 en el que todas las fibras en el apilamiento consisten en las fibras orientadas a  $\pm\alpha$  y  $\pm\beta$ ; y en el que el 20-30% de las fibras totales están orientadas a  $\pm\beta$  para alcanzar niveles de capacidad de carga similares a materiales laminados duros a 0/+45/-45/90 tradicionales.
- 25 9. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada rigidizador incluye un alma (14) entre un primer cordón (16) y un segundo cordón o base (18) y que comprende además aberturas de sujeción dispuestas en perpendicular a las capas, aberturas que se extienden a través de las capas que componen la base (18).
- 30 10. Rigidizador de vehículo aeroespacial que incluye una base y un alma, alma que incluye capas de fibras de refuerzo para proporcionar resistencia en tensión y compresión a lo largo de un eje de carga primaria, incluyendo también el alma capas de fibras de refuerzo orientadas a  $\pm\beta$  grados con respecto al eje de carga primaria, en el que  $\beta$  es de entre 50 y 85 grados, y en el que las fibras orientadas a  $\pm\beta$  grados se desvían hacia superficies exteriores del alma para aumentar la rigidez en pandeo y carga transversal, en el que las capas de fibras  $\beta$  están desviadas alejándose de un plano (14a) medio hacia las superficies (14b) exteriores del alma (14).

35

FIG. 1

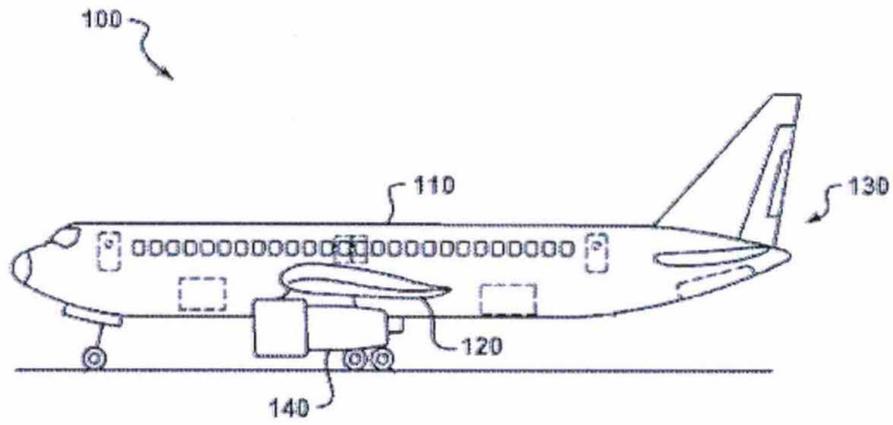


FIG. 2

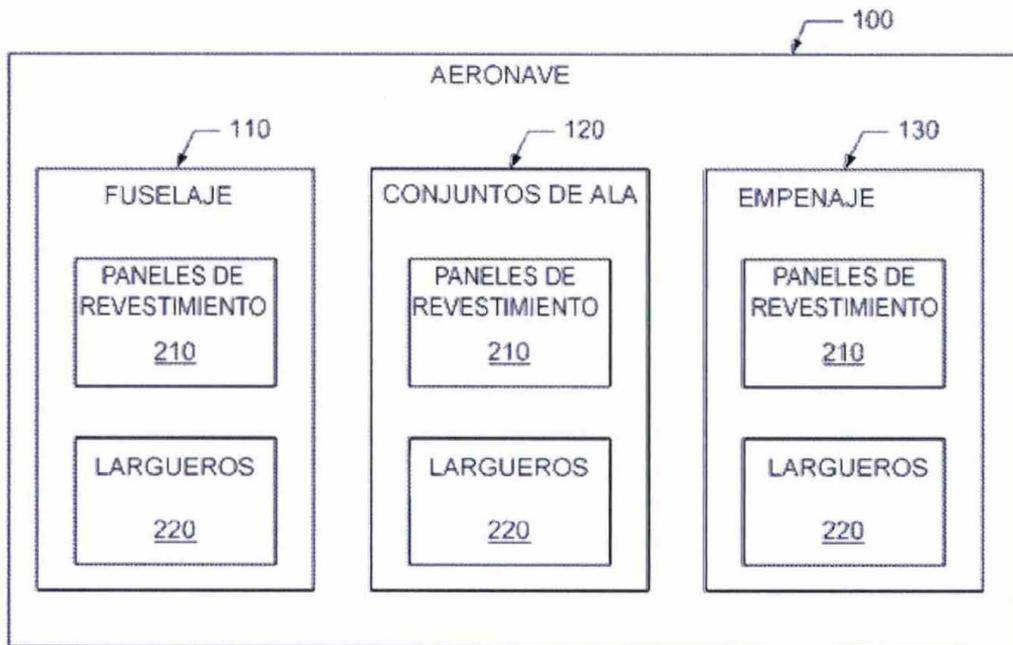
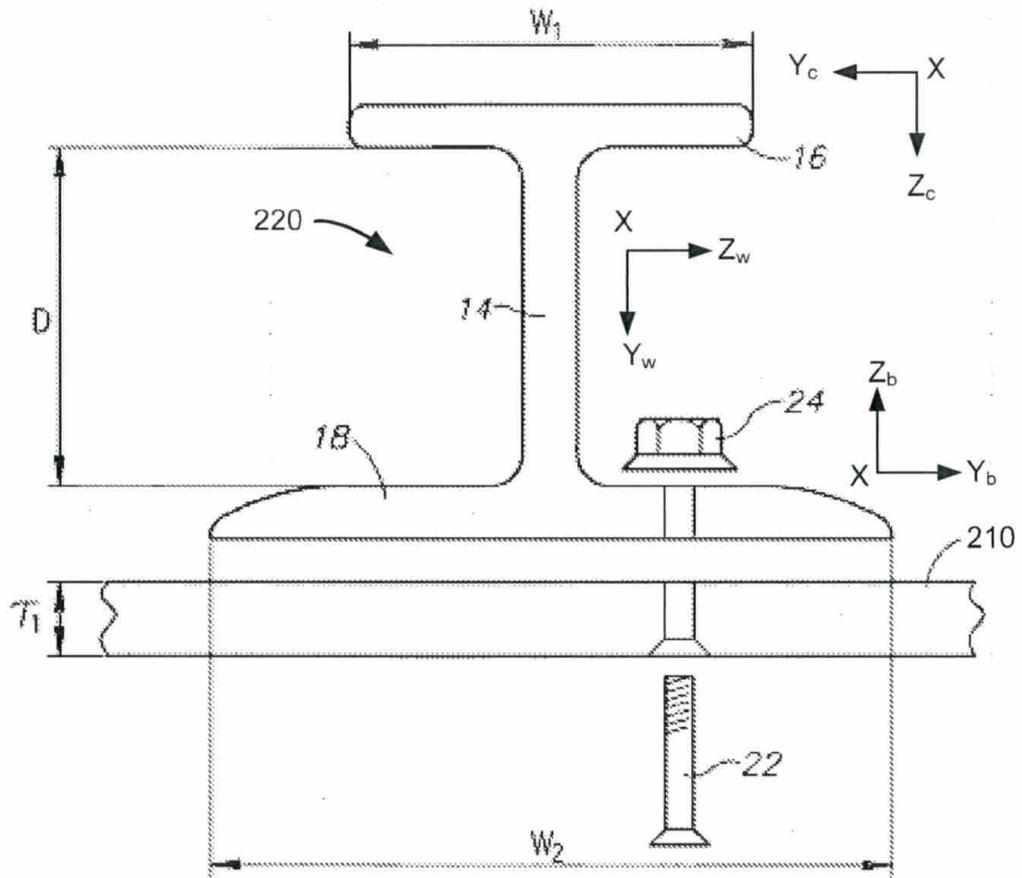
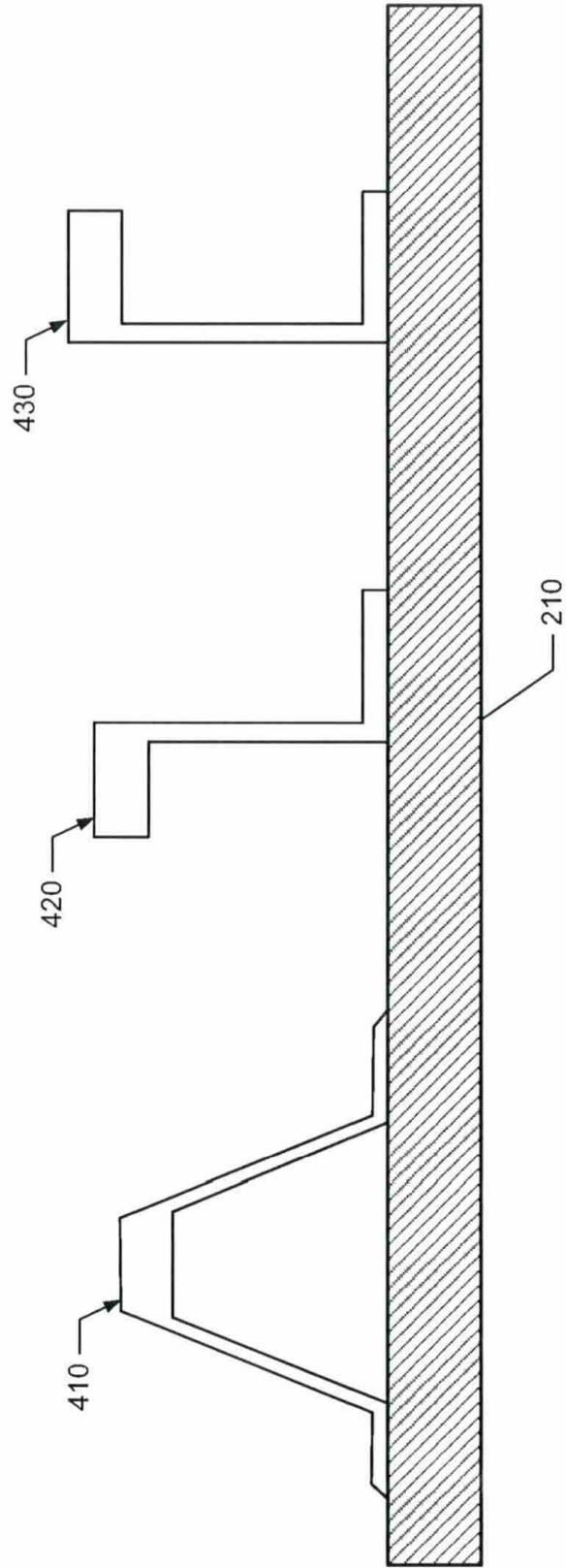


FIG. 3



**FIG. 4**



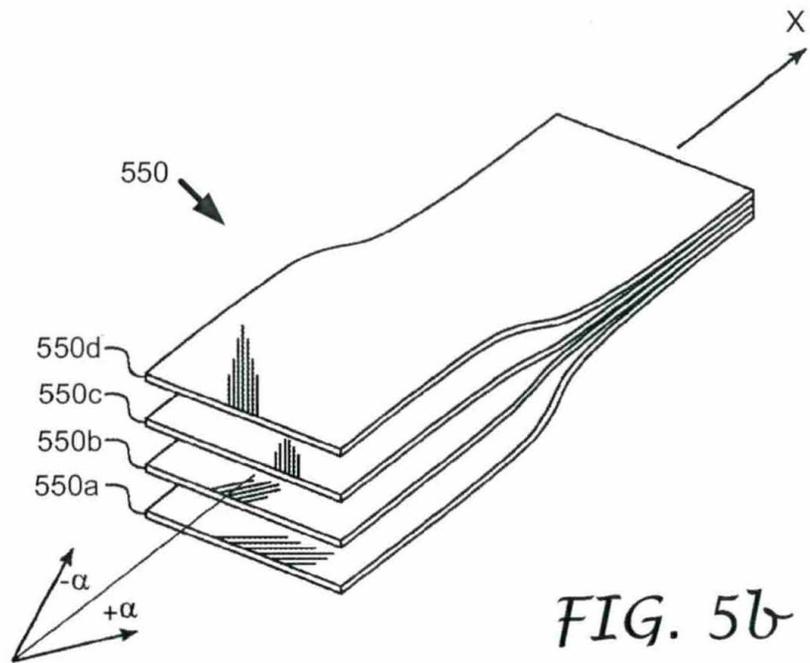
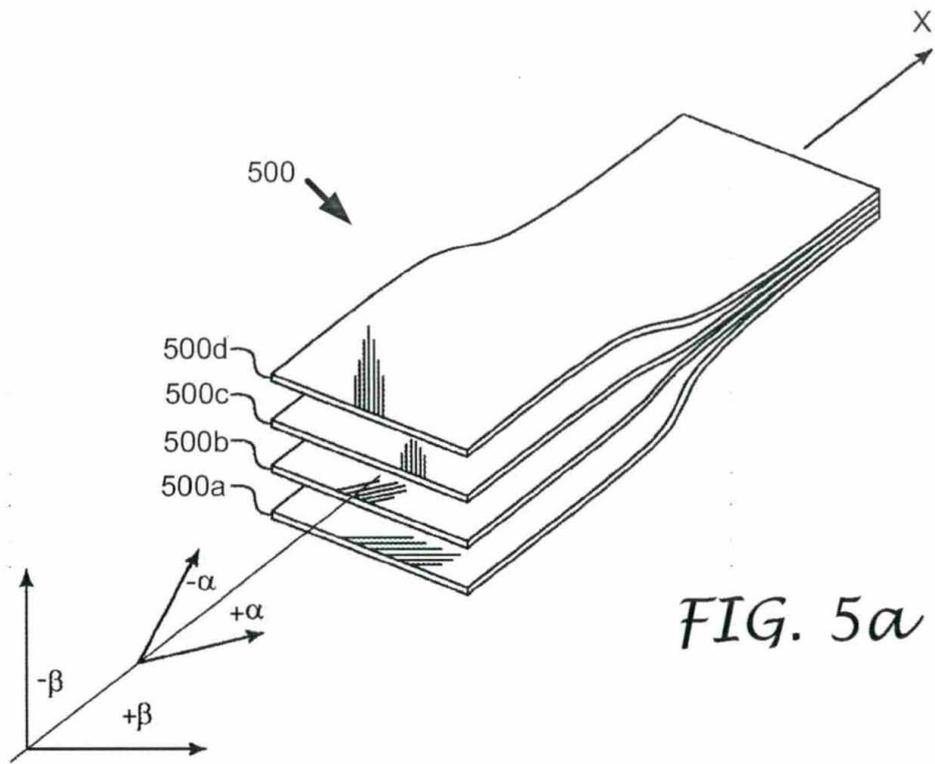


FIG. 6

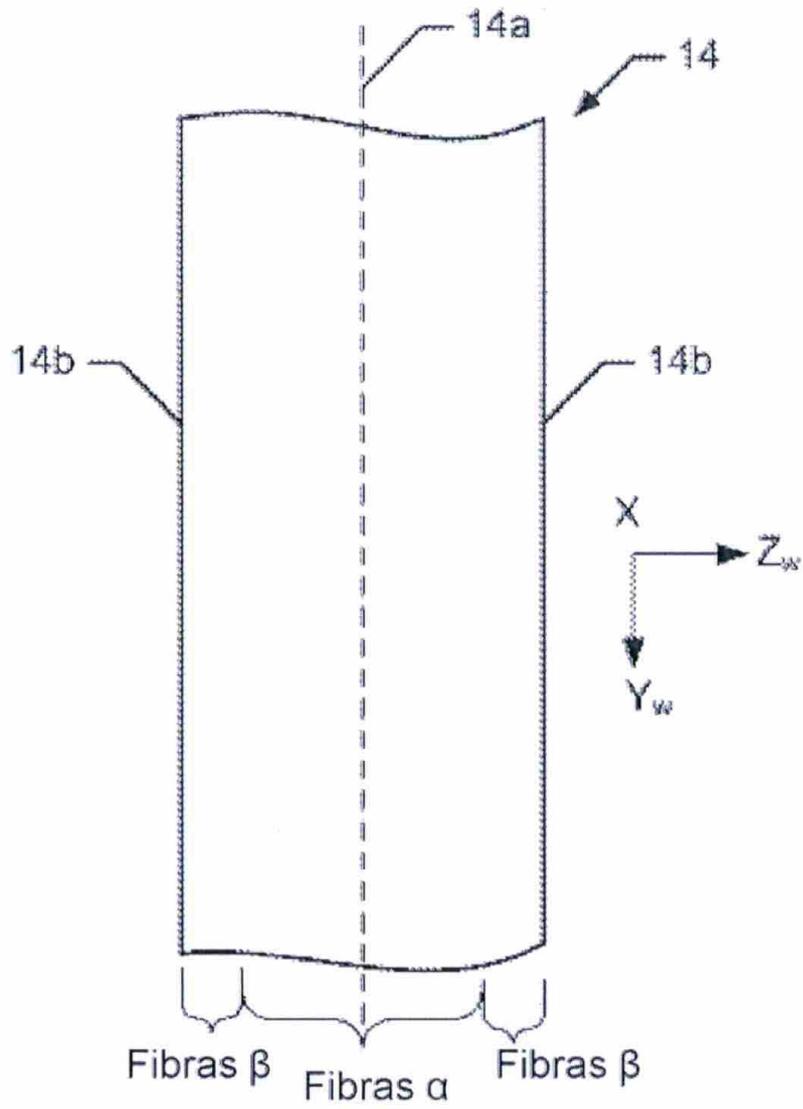


FIG. 7a

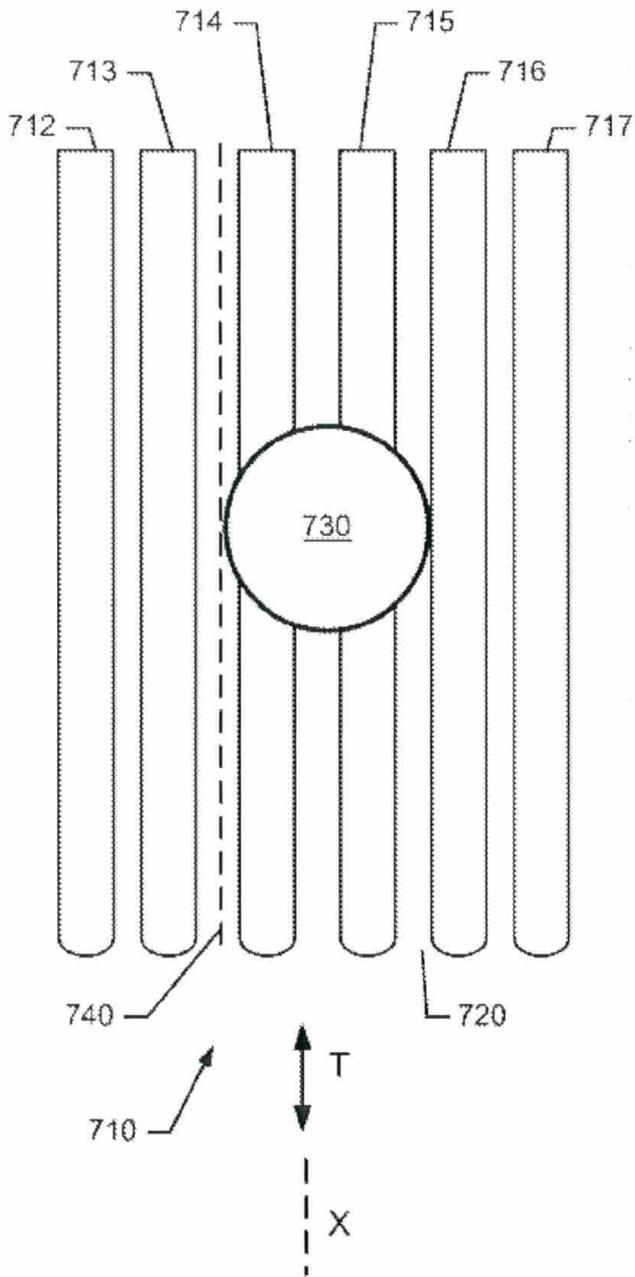


FIG. 7b

