

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 452 827**

51 Int. Cl.:

**B32B 3/18** (2006.01)

**E04C 2/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2008 E 08161510 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014 EP 2025504**

54 Título: **Estructura de material compuesto que tiene un núcleo reforzado y procedimiento de fabricación de la misma**

30 Prioridad:

**31.07.2007 US 831066**

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

**02.04.2014**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**CHAKRABARTI, BUDDHADEV**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 452 827 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

Estructura de material compuesto que tiene un núcleo reforzado y procedimiento de fabricación de la misma

## 5 Campo técnico

La presente descripción se refiere, en general, a estructuras de material compuesto y se ocupa, más particularmente, de un sándwich de material compuesto que tiene un núcleo reforzado y un procedimiento de fabricación del sándwich de material compuesto.

## 10 Antecedentes

Las construcciones de sándwich de materiales compuestos pueden ser fortalecidas mediante la colocación de un refuerzo estructural en el interior de un núcleo que está unido entre dos láminas exteriores. El refuerzo del núcleo puede incluir elementos estructurales que definen rutas de carga para transferir las cargas de tracción, de compresión y de cizallamiento entre las láminas exteriores. El rendimiento del sándwich de material compuesto depende en parte del tipo de refuerzo de núcleo y la calidad de los enlaces entre el núcleo y las láminas exteriores. Los materiales comunes usados en el núcleo pueden incluir espuma plástica rígida y de tipo panal de abeja. Aunque los núcleos de tipo panal de abeja exhiben una buena eficacia estructural, pueden ser sometidos a una mayor carga de núcleo-a-lámina exterior en algunas aplicaciones, tales como vuelos espaciales de larga duración, donde puede desarrollarse una presión diferencial entre el núcleo y el entorno circundante.

20 Los núcleos de espuma rígida de celdas cerradas, no reforzados, pueden exhibir una menor eficiencia estructural cuando son sometidos a humedad y altas temperaturas o temperaturas extremadamente bajas en el espacio.

25 Los problemas asociados con las construcciones de sándwich descritas anteriormente han sido resueltos parcialmente mediante la introducción de los llamados núcleos estructurales X-COR, que comprenden una espuma de polimetacrilimida (PMI) de celdas cerradas, de peso ligero, reforzada, con pasadores de fibra de carbono/epoxi pultrusionados, de pequeño diámetro, dispuestos en una red de celosía tetragonal. Los pasadores de X-COR se extienden más allá del núcleo de espuma y están incrustados en las láminas exteriores. Una variación de X-COR se describe en la patente US No. 6.291.049 emitida 18 de Septiembre de 2001, en la que los extremos de los pasadores se doblan para extenderse completamente planos contra las láminas exteriores a las que está unido el núcleo.

30 Las redes en celosía indicadas anteriormente, que emplean los pasadores de fibra de carbono/epoxi pueden no proporcionar un rendimiento adecuado en algunas aplicaciones aeroespaciales. En consecuencia, existe una necesidad de una estructura de material compuesto que tenga un núcleo reforzado que sea adecuada para aplicaciones aeroespaciales exigentes en las que se requiere una fuerza de unión superior entre las láminas exteriores y el núcleo. Las realizaciones de la descripción están destinadas a satisfacer esta necesidad.

## SUMARIO

40 Las realizaciones de la descripción proporcionan una construcción de sándwich de material compuesto en la que se consigue una fuerza de unión lámina exterior-a-núcleo mejorada asegurando al mismo tiempo el mantenimiento de la integridad estructural del núcleo. La construcción y la selección de los materiales usados en la construcción del sándwich hacen que sea adecuado para aplicaciones aeroespaciales, incluyendo misiones espaciales de larga duración en las que pueden surgir presiones diferenciales entre el núcleo y el entorno circundante. La fuerza de unión mejorada proporcionada por las realizaciones descritas puede ser mantenida en un amplio intervalo de condiciones de temperatura y de humedad.

50 Según una realización, un sándwich de material compuesto comprende láminas exteriores primera y segunda de polímero reforzado con fibra y un núcleo reforzado entre las láminas exteriores primera y segunda. El núcleo incluye una pluralidad de pasadores dispuestos en grupos formando una celosía, y una espuma de soporte que rodea los pasadores. Los pasadores están insertados en la espuma para soportar la celosía y ayudar a la resistencia estructural del núcleo. Cada uno de los pasadores incluye partes medias, que se extienden entre las láminas exteriores primera y segunda, y partes distales, que se extienden respectivamente generalmente paralelas con y unidas a las láminas exteriores. Los pasadores en cada grupo se cruzan en un nodo contiguo a una de las láminas exteriores. Los pasadores y las láminas exteriores pueden comprender resina reforzada con fibra de carbono, tal como epoxi, de manera que el coeficiente de expansión térmica de la celosía del núcleo sea sustancialmente igual al de las láminas exteriores. Las partes distales de los pasadores en cada grupo se extienden hacia fuera desde el nodo, y los nodos pueden estar separados de manera sustancialmente equidistante unos con respecto a los otros. Los grupos de pasadores incluyen al menos tres pasadores que están inclinados con relación a los planos de las láminas exteriores. El soporte puede incluir una espuma de celdas cerradas, de baja densidad, rígida, tal como una polimetacrilimida, que tiene un coeficiente de expansión térmica que coincide, generalmente, con el de las láminas exteriores. El núcleo reforzado que comprende la espuma de soporte y una estructura de celosía con barras

pultrusionadas de grafito/epoxi pueden tener una densidad de entre aproximadamente 110,5 y 192,2 kg/m<sup>3</sup> (6,9 y 12 libras por pie cúbico), y el núcleo puede tener un espesor de entre 1,27 cm y 2,54 cm (media pulgada y una pulgada), donde los nodos tienen una separación entre los mismos de entre 4,27 y 4,85 mm (0,168 y 0,191 pulgadas).

5 Según otra realización, una estructura de material compuesto de polímero reforzado comprende: un par de láminas exteriores de polímero reforzado con fibra, y un núcleo reforzado entre las láminas exteriores. El núcleo reforzado puede incluir una pluralidad de pasadores estructurales dispuestos en grupos entre sí, en el que los pasadores en cada uno de los grupos hacen un contacto de intersección entre sí y están separados alrededor de un eje central que se extiende en una dirección generalmente normal a las láminas exteriores. Los pasadores en cada uno de los grupos pueden estar dispuestos simétricamente alrededor del eje central y pueden incluir partes distales que se extienden sustancialmente en paralelo con y unidas a las láminas exteriores.

10 Según una realización del procedimiento, un sándwich de material compuesto reforzado puede ser fabricado mediante las etapas que comprenden: fabricar un núcleo mediante formando una capa de espuma de soporte y formando grupos de pasadores estructurales que se cruzan en la espuma de soporte insertando los pasadores en la espuma de soporte; doblar los extremos de los pasadores, y unir los extremos doblados de los pasadores a un par de láminas exteriores reforzadas con fibra. Los pasadores son insertados en la espuma para soportar la celosía y añadir resistencia estructural al núcleo. El grupo de pasadores puede ser formado mediante la inserción de los pasadores en la capa de espuma a lo largo de trayectorias que casi se cruzan. El procedimiento puede incluir además las etapas de: pultrusionar una longitud de material compuesto de epoxi de grafito; curar parcialmente la longitud del material epoxi de grafito; y formar los pasadores cortando la longitud del material de epoxi de grafito.

15 Según una realización adicional, se describe un sándwich de material compuesto que comprende:

25 láminas exteriores primera y segunda de polímero reforzado con fibra; y

un núcleo reforzado entre las láminas exteriores primera y segunda, en el que el núcleo reforzado incluye

- 30 (i) una pluralidad de pasadores dispuestos en grupos formando una celosía, en el que cada uno de los pasadores incluye partes medias, que se extienden entre las láminas exteriores primera y segunda, y partes distales, respectivamente, que se extienden generalmente en paralelo con y unidas a las láminas exteriores primera y segunda, en el que los pasadores en cada grupo se cruzan en un nodo contiguo a una de las láminas exteriores primera y segunda, y
- 35 (ii) un soporte que rodea los pasadores.

Según una realización adicional, en el sándwich de material compuesto, los pasadores en cada uno de los grupos están inclinados aproximadamente 30 grados con respecto a los planos de las láminas exteriores.

40 Preferiblemente, la espuma rígida incluye una polimetacrilimida.

En el sándwich de material compuesto, el soporte puede tener una espuma de celdas cerradas, y el núcleo puede tener una densidad de entre aproximadamente 110,5 y 192,2 kg/m<sup>3</sup> (6,9 y 12 libras por pie cúbico).

45 Además, en el sándwich de material compuesto, el núcleo tiene preferiblemente un espesor de entre aproximadamente 12,7 y 25,4 mm (½ pulgada y 1 pulgada).

Además, en el sándwich de material compuesto, los nodos pueden estar separados entre sí por una distancia de entre aproximadamente 4,27 y 4,85 mm (0,168 y 0,191 pulgadas).

50 Se describe también una estructura de aeronave que incorpora el sándwich de material compuesto.

Según una realización adicional de la invención, se describe una estructura de material compuesto de polímero reforzado que comprende:

- 55 un par de láminas exteriores de polímero reforzado con fibras, y, un núcleo reforzado entre las láminas exteriores, en el que el núcleo reforzado incluye una pluralidad de pasadores estructurales dispuestos en grupos de los mismos, en el que los pasadores en cada uno de los grupos se cruzan sustancialmente entre sí y están separados alrededor de un eje central que se extiende en una dirección generalmente normal a las láminas exteriores.
- 60

En la estructura de material compuesto de polímero reforzado, los pasadores en cada uno de los grupos pueden

estar dispuestos simétricamente alrededor del eje central.

Según una realización adicional, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado, cada uno de los pasadores incluye partes distales que se extienden sustancialmente paralelas con y unidas a las láminas exteriores.

5 Además, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado, cada grupo de pasadores puede incluir al menos tres de los pasadores.

10 Según una realización adicional en la estructura de material compuesto de polímero reforzado, los pasadores y las láminas exteriores están formados en fibras de grafito soportadas en un aglutinante epoxi.

15 Además, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado, el núcleo puede tener un coeficiente de expansión térmica que coincide generalmente con el coeficiente de expansión térmica de cada una de las láminas exteriores.

Según una realización adicional, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado cada uno de los pasadores está inclinado un ángulo de aproximadamente 30 grados con relación a los planos de las láminas exteriores.

20 Según una realización adicional, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado

25 cada una de las láminas exteriores primera y segunda incluye capas laminadas de resina reforzada con fibras de carbono, y los pasadores incluyen partes distales que se extienden sustancialmente paralelas a las láminas exteriores y unidas entre las capas.

Según una realización adicional, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado

30 cada uno de los pasadores incluye partes medias que se extienden de manera generalmente transversal a las láminas exteriores, y partes distales que se extienden de manera generalmente paralela a las láminas exteriores, y los pasadores en cada uno de los grupos se cruzan entre sí en una unión general entre las partes media y distal de los pasadores.

35 Además, en la estructura de material compuesto de polímero reforzado, los pasadores en cada uno de los grupos pueden incluir partes distales dispuestas simétricamente alrededor del eje central y que se extienden desde el mismo.

40 En la estructura de material compuesto de polímero reforzado, el núcleo tiene preferiblemente una densidad comprendida generalmente entre 110,5 y 192,2 kg/m<sup>3</sup> (6,9 y 12 libras por pie cúbico).

En la estructura de material compuesto de polímero reforzado, preferiblemente el espesor del núcleo está comprendido generalmente entre 12,7 y 25,4 mm (½ y 1 pulgadas).

45 En la estructura de material compuesto de polímero reforzado, preferiblemente cada uno de los pasadores incluye epoxi reforzado con fibra de grafito y tiene un diámetro comprendido entre aproximadamente 0,508 y 0,711 mm (0,020 y 0,028 pulgadas).

50 En la estructura de material compuesto de polímero reforzado, preferiblemente los ejes centrales de los grupos contiguos de los pasadores están separados entre sí entre aproximadamente 4,29 y 4,85 mm (0,169 y 0,191 pulgadas).

En la estructura de material compuesto de polímero reforzado, preferiblemente el núcleo incluye una espuma de polimetacrilimida que rodea los pasadores.

55 Se describe también un subconjunto de aeronave que incorpora la estructura de material compuesto de polímero reforzado.

60 Otras características, beneficios y ventajas de las realizaciones descritas serán evidentes a partir de la descripción siguiente de las realizaciones, cuando se consideran junto con los dibujos adjuntos y las reivindicaciones adjuntas.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS ILUSTRACIONES**

La Figura 1 es una ilustración en sección transversal de un sándwich de material compuesto que tiene un núcleo reforzado según una realización.

5 La Figura 2 es una ilustración isométrica de la celosía de refuerzo que forma parte del núcleo mostrado en la Figura 1.

La Figura 3 es una ilustración en planta de la celosía observada en la dirección 3-3 mostrada en la Figura 2.

La Figura 4 es una ilustración en sección transversal ampliada del sándwich de material compuesto mostrado en la Figura 1.

10 La Figura 5 es una ilustración isométrica de un grupo de pasadores usado en el núcleo ilustrado en la Figura 2.

La Figura 6 es una vista en la dirección 6-6 mostrada en la Figura 5.

La Figura 7 es una vista en la dirección 7-7 mostrada en la Figura 6.

La Figura 8 es una vista en la dirección 8-8 mostrada en la Figura 6.

15 La Figura 9 es una ilustración similar a la Figura 6 pero muestra una forma alternativa de un grupo de pasadores que emplea tres pasadores.

La Figura 10 es una ilustración en sección que muestra el extremo distal de un pasador unido a una lámina exterior en la construcción de sándwich mostrada en la Figura 1.

20 La Figura 11 es una ilustración similar a la Figura 10 pero que muestra el extremo distal de un pasador unido entre capas contiguas de la lámina exterior.

La Figura 12 es un gráfico que ilustra la mejora en la resistencia a la cizalladura de una construcción de sándwich que emplea el núcleo reforzado, en comparación con un núcleo de espuma no reforzado.

La Figura 13 es un gráfico que muestra los resultados de ensayos de flexión de tres puntos usados para determinar la resistencia al cizallamiento de las construcciones de sándwich, que incluyen las realizaciones descritas.

25 La Figura 14 es una clave para ser usada en la interpretación del gráfico mostrado en la Figura 13.

La Figura 15 es una tabla que muestra los valores para los parámetros clave que caracterizan las realizaciones descritas.

30 Las Figuras 16-23 son gráficos que muestran los resultados de los ensayos realizados sobre diversas realizaciones de la construcción de sándwich, comparados con construcciones de tipo sándwich que emplean un núcleo de espuma no reforzado.

La Figura 24 es una ilustración en sección que muestra una etapa intermedia en un procedimiento de fabricación en la que los pasadores son insertados en un núcleo de espuma, en el que el extremo distal del pasador mostrado sobresale desde el núcleo antes de que el pasador sea pelado.

35 La Figura 25 muestra otra etapa en el procedimiento de fabricación, en la que una platina calentada pliega y pela los extremos distales del pasador.

La Figura 26 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de fabricación del sándwich de material compuesto.

La Figura 27 es un diagrama de flujo de la metodología de producción y de servicio de una aeronave.

40 La Figura 28 es un diagrama de bloques de una aeronave.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA**

Con referencia, en primer lugar, a las Figuras 1-9, una construcción de sándwich de material compuesto indicada generalmente por el número 30 comprende, en términos generales, un núcleo 32 reforzado laminado en múltiples capas entre y unido a un par de láminas 34, 36 exteriores. Cada una de las láminas 34, 36 exteriores puede comprender múltiples capas 38 de resina de polímero reforzado con fibras, tales como fibras de grafito en paño u otra forma, soportado en un aglutinante epoxi.

50 El núcleo 32 puede comprender, en términos generales, una celosía 33 de refuerzo soportada en un soporte que puede comprender una capa 46 de peso ligero, de baja densidad, de espuma. La capa 46 de espuma puede comprender, sin limitación, una espuma rígida, de celdas cerradas, polimetacrilimida (PMI) conocida por el nombre comercial ROHACELL®. ROHACELL® está disponible comercialmente en diferentes densidades y espesores, y tiene un coeficiente de expansión térmica lineal relativamente bajo. La capa 46 de espuma funciona para mantener la celosía 33 en su lugar durante la fabricación del núcleo 32 y también puede añadir un cierto grado de resistencia estructural al núcleo 32.

55 La celosía 33 de refuerzo puede comprender una matriz de pasadores 40 estructurales que están dispuestos en grupos 42 que pueden estar separados regularmente unos de otros, tal como se ve mejor en la Figura 3, usando pasos "x" e "y" pre-seleccionados. En una realización, los pasos "x" e "y" son iguales, lo que resulta en un paso cuadrado que alinea los grupos 42 a lo largo de los ejes 44 diagonales.

60 Tal como se ve mejor en las Figuras 5-8, los pasadores 40 están dispuestos simétricamente alrededor de un eje 50 central en cada grupo 42, y están separados de manera sustancialmente circunferencial y homogénea unos de los

otros. Cada uno de los pasadores 40 incluye partes 40a medias que están inclinadas con respecto a los planos de las láminas 34, 36 exteriores, y partes 40b, 40c distales que se extienden sustancialmente paralelas a las láminas 34, 36 exteriores. Las partes 40a medias de los pasadores 40 están inclinadas un ángulo  $\phi$  con respecto a la vertical (Figura 4) que, en una realización, puede ser de aproximadamente 30 grados; otros ángulos son posibles. Los pasadores 40 en cada grupo 42 están dispuestos de manera que las partes 40a medias se cruzan entre sí y están anidados alrededor de un nodo 52 que está alineado con el eje 50 central. Aunque pueden emplearse cuatro pasadores 40, otra realización 42a mostrada en la Figura 9 emplea tres pasadores 40 separados circunferencialmente de manera homogénea alrededor del nodo 52.

Tal como se ve mejor en la Figura 4, en una realización, las partes 40b, 40c distales se extienden en paralelo y están unidas a la cara interior de las láminas 34, 36 exteriores respectivamente. Tal como se muestra en la Figura 10, la longitud "L" de la parte 40b, 40c distal dependerá de la aplicación particular, sin embargo, en una realización, la longitud "L" puede ser de aproximadamente 4 a 6 veces el diámetro del pasador 40. Tal como se describirá más adelante, más detalladamente, la longitud "L" puede venir determinada por el procedimiento usado para fabricar el núcleo 32

En una realización, los pasadores 40 pueden estar formados de grafito pultrusionado soportado en un aglutinante epoxi. Cuando las láminas 34, 36 exteriores son unidas al núcleo 32, el aglutinante epoxi en los extremos 40b, 40c distales de los pasadores 40 se funden con el aglutinante epoxi 48 que migra desde una capa 34a de la lámina exterior contigua (Figura 10), de manera que los extremos de los pasadores 40 se unen a y forman una parte de las láminas 34, 36 exteriores. De manera alternativa, los extremos 40b, 40c distales (véase, por ejemplo, 40c en la Figura 11) pueden ser unidos entre capas 34a, 34b contiguas de las láminas 34, 36 exteriores, bloqueando de esta manera los extremos de los pasadores 40 en el interior de las láminas 34, 36 exteriores. Un adhesivo de película seca es colocado entre el núcleo 32 y las láminas 34 y 36 exteriores para mejorar la unión de los extremos 40b, 40c distales con las láminas 34, 36 exteriores. Los aglutinantes epoxídicos en los pasadores 40, el adhesivo de película seca y las láminas 34, 36 exteriores deben ser elegidos por su compatibilidad, de manera que se fundan durante el procedimiento de curado a la misma temperatura de curado. La cantidad y el tipo de película seca pueden afectar significativamente a la resistencia de la estructura acabada.

Tal como se describirá más adelante, la selección de los valores de ciertos parámetros que caracterizan el núcleo 32, incluyendo la celosía 33, proporciona una construcción 30 de sándwich particularmente duradera y fiable que puede ser escalada fácilmente para cumplir los requisitos de diversas aplicaciones. Los parámetros de interés particular en la construcción de la estructura 30 de sándwich incluyen: el tipo de espuma 46 de soporte, el diámetro de los pasadores 40, el ángulo  $\phi$  de orientación de los pasadores 40 (desde la vertical), la separación de los pasadores entre sí, la altura ("L") expuesta de los pasadores 40, el número de pasadores en cada grupo 42 de pasadores y el tipo particular de material usado para fabricar los pasadores 40.

La Figura 12 ilustra las propiedades estructurales superiores de dos realizaciones con respecto a una construcción de sándwich que emplea un núcleo no reforzado. Las curvas 60 y 64 representan la resistencia a la cizalladura como una función de la temperatura para una construcción 30 de sándwich que emplea un núcleo reforzado según las realizaciones descritas usando densidades de espuma de 192,2 y 110,5 kg/m<sup>3</sup> (12 y 6,9 libras por pie cúbico), respectivamente. En contraste, las curvas representadas por 62 y 66 muestran la resistencia a la cizalladura para un núcleo de 12,7 milímetros (½ pulgada) usando una espuma ROHACELL no reforzada de 192,2 y 110,5 kg/m<sup>3</sup> (12 y 6,9 libras por pie cúbico), respectivamente. Tal como es evidente a partir de los resultados de los ensayos mostrados en la Figura 12, las realizaciones de la descripción que emplean el núcleo 32 reforzado exhiben una resistencia a la cizalladura superior en comparación con los núcleos no reforzados de la misma densidad.

Con referencia a las Figuras 13 y 14, se realizaron una serie de ensayos que se usaron para identificar los parámetros de la estructura 30 de sándwich que podría ser usada para proporcionar propiedades estructurales sustancialmente mejoradas para la estructura 30 de sándwich, asegurando al mismo tiempo una fuerza de unión adecuada y evitando el agrietamiento del núcleo u otro deterioro del núcleo 32. Una clave para interpretar las curvas de resultado de los ensayos en la Figura 13 se muestra en la Figura 14. Por ejemplo, se fabricó una construcción en sándwich usando valores para varios parámetros que proporcionaron los resultados de ensayo representados por la curva "A" en la Figura 13. La realización particular representada por la curva "A" incluye un núcleo 32 que tiene una densidad de 193,5 kg/m<sup>3</sup> (12,08 libras por pie cúbico), 12,7 mm (½ ") de espesor, pasadores 40 que tienen un diámetro de 0,51 mm (0,020 pulgadas) inclinados 35 grados con respecto a la vertical, una altura expuesta ("L") de 2,03 mm (0,080 pulgadas) y una densidad de pasador de 141 kg/m<sup>3</sup> (8,8 libras por pie cúbico). Usando los resultados de ensayo mostrados en la Figura 13, se han desarrollado los valores para un grupo de parámetros para diversas aplicaciones, tal como se muestra en la Figura 15. Estos parámetros incluyen la densidad 68 de núcleo, el espesor 70 del núcleo, el diámetro 72 de los pasadores, el ángulo 74 de los pasadores con respecto a la vertical, la separación (paso) entre pasadores, la longitud 78 expuesta de los pasadores, el número de pasadores por nodo y el tipo de soporte 82 de espuma. La densidad deseada de la espuma está

comprendida entre 110,5 y 192,2 kg/m<sup>3</sup> (6,9 y 12 libras por pie cúbico). El espesor del núcleo está comprendido entre 12,7 y 25,4 mm (½ a 1 pulgada), mientras que el diámetro del pasador está comprendido entre 0,51 y 0,71 mm (0,02 y 0,028 pulgadas). El ángulo preferido de los pasadores es de aproximadamente 30 grados y la separación de paso cuadrado entre los nodos 52 está comprendido entre 4,27 y 4,85 mm (0,168 y 0,191 pulgadas). La altura ("L") expuesta es de aproximadamente 1,40 mm (0,055 pulgadas). Se emplearon cuatro pasadores por nodo y la espuma de soporte era una PMI, tal como una ROHACELL de tipo 51WF.

Usando los valores para los parámetros mostrados en la Figura 15, se realizaron una serie de ensayos sobre muestras de sándwich; los resultados de los mismos se muestran en las Figuras 16-23. La Figura 16 muestra los resultados de los ensayos realizados sobre diversas construcciones 30 de sándwich que tienen un núcleo 32 de 12,7 mm (½ ") usando un ensayo de resistencia a la cizalladura de flexión de tres puntos según la norma ASTM C-393. La norma ASTM C-393 es un procedimiento de ensayo normalizado usado para determinar la propiedades de cizallamiento del núcleo de construcciones de sándwich planas sometidas a flexión de manera que los momentos aplicados producen una curvatura de los planos orientados hacia el sándwich. Los gráficos 86 representan los resultados de ensayo para tres realizaciones del núcleo 32 reforzado con celosía con una densidad de 110,5 kg/m<sup>3</sup> (6,9 libras por pie cúbico), mientras que el gráfico 84 representa los resultados del ensayo usando un núcleo no reforzado que comprende espuma ROHACELL. Los resultados de ensayo se proporcionan en términos de resistencia promedio a la cizalladura en 4,88 kg/m<sup>2</sup> (libras por pulgada cuadrada) como una función de la temperatura.

Las muestras representadas por los resultados de ensayo mostrados en la Figura 16 se sometieron también a ensayos de resistencia a la compresión en la dirección plana según la norma ASTM C365, resultando en los resultados de ensayo mostrados en la Figura 17. Los resultados de ensayo en la Figura 17 se proporcionan en términos de resistencia a la compresión de 4,88 kg/m<sup>2</sup> (libras por pulgada cuadrada) como una función de la temperatura. Las Figuras 18 y 19 muestran resultados de ensayo similares a las Figuras 16 y 17, pero para las muestras de ensayo que emplean densidades de 192,2 kg/m<sup>3</sup> (12 libras por pie cúbico).

Las Figuras 20 y 21 proporcionan resultados de ensayo comparativos para las muestras que tienen núcleos 32 de 19,05 mm (¾ ") de espesor y densidades de 110.5 kg/m<sup>3</sup> (6,9 libras por pie cúbico). De manera similar, las Figuras 22 y 23 proporcionan resultados de ensayo para muestras que tienen núcleos de 19,05 mm (¾ ") de espesor y densidades de 192.2 kg/m<sup>3</sup> (12 libras por pie cúbico).

Tal como es evidente a partir de los resultados de los ensayos representados por los gráficos mostrados en las Figuras 16-23, las muestras de ensayo que emplean valores de los parámetros incluidos en los intervalos enumerados en la Figura 15 exhiben una resistencia a la cizalladura y a la compresión sustancialmente superior en comparación con construcciones de tipo sándwich con núcleo no reforzado.

Ahora, con referencia simultáneamente a las Figuras 24-26, un procedimiento de fabricación de un sándwich 30 de material compuesto comienza en la etapa 88 con la colocación de las láminas 34, 36 exteriores usando un material preimpregnado que puede comprender tela de grafito u otras formas de fibra de grafito impregnadas con una resina de polímero, tal como epoxi. En otras realizaciones, las láminas 34, 36 exteriores pueden ser fabricadas mediante la infusión de resina en una preforma de tejido seco o tejido pegado. A continuación, en la etapa 90, las láminas 34, 36 exteriores son compactadas. A continuación, en la etapa 92, un adhesivo de película seca es aplicado a las láminas 34, 36 exteriores y las láminas son compactadas de nuevo.

Por otra parte, el núcleo 32 es preparado siguiendo las etapas 96-112. Comenzando en la etapa 96, el material de pasador es desarrollado mediante pultrusión de grafito/epoxi, lo que comprende tirar de las finas fibras de carbono a través de una matriz y un baño de resina. El material del pasador es curado parcialmente y es recogido en un carrete en la etapa 98. En la etapa 100, los pasadores 40 de grafito/epoxi son insertados en una capa de espuma 46 de PMI en un patrón reticular tridimensional. El procedimiento de inserción del pasador puede ser realizado usando un equipo comercial (no mostrado) que incluye, sin limitación, un cabezal de herramienta automatizada operado por un ordenador programado. El cabezal de inserción inserta el material del pasador desde cualquier ángulo deseado con respecto a la vertical y, después de la inserción, una longitud fija es cortada automáticamente y la profundidad de inserción es ajustada de manera que una altura "L" expuesta deseada es expuesta en las superficies superior e inferior de la capa 46 de espuma. Los pasadores 40 son insertados a lo largo de trayectorias que están indexadas alrededor del eje 50 central. La Figura 24 muestra uno de los pasadores 40 que acaba de ser insertado en la capa 46 de espuma, con la parte 40c distal que se extiende por encima de la superficie superior de la capa 46 de espuma que corresponde a una altura "L" expuesta.

A continuación, en la etapa 102, las partes 40b, 40c distales son peladas y dobladas en un procedimiento mostrado en la Figura 25, en el que una platina 47 de prensa caliente se mueve hacia abajo en contacto con las partes 40c distales, doblando las fibras y fundiendo parcialmente el aglutinante epoxi, para hacer que las fibras se separen y se

abran, paralelas a las superficies exteriores de la capa 46 de espuma. Debido a que los pasadores 40 comprenden múltiples fibras finas y resina pultrusionada, cuando se aplica presión a las partes distales de los pasadores 40 mediante la prensa de platina caliente, las fibras en las partes distales se abren como un ventilador en lugar de doblarse como una unidad. La etapa 108 representa la finalización de la formación de la celosía 33 en el interior de la capa 46 de espuma.

La capa 46 de espuma puede ser adquirida tal como se muestra en la etapa 104 como un componente adquirido o fabricado, después de lo cual la capa 46 de espuma es tratada térmicamente en la etapa 106. El tratamiento térmico de la capa 46 de espuma puede ser un requisito opcional en algunos casos en los que la espuma puede tener una tendencia a absorber la humedad atmosférica. El tratamiento térmico de la capa 46 de espuma elimina la humedad y puede mejorar la resistencia mecánica de la capa 46 de espuma de manera que la capa 46 de espuma soporta mejor los pasadores 40 y proporciona un cierto grado de resistencia estructural al núcleo 32.

Una vez formada la celosía 33 en la capa 46 de espuma en la etapa 108, a continuación el núcleo 32 es tratado térmicamente en la etapa 110 con el fin de curar la celosía 33. El tratamiento térmico en la etapa 110 resulta en una curación completa de los pasadores 40 parcialmente curados. A continuación, el núcleo 32 preformado es secado en la etapa 112. El secado en la etapa 112 puede incluir una etapa de secado primario seguida de un ciclo de secado final y un ciclo de secado previo a la extensión. El propósito de este ciclo de secado de dos etapas es eliminar cualquier humedad restante en el núcleo 32 de la preforma, así como asegurar que la celosía 33 está completamente curada. La etapa de secado primario puede comprender sucesivamente aumentar la temperatura según un programa predefinido en el tiempo, sin embargo, la planificación exacta dependerá de la aplicación. La etapa final de secado puede implicar someter el núcleo 32 a una temperatura constante durante un período de tiempo, por ejemplo, 121,1°C (250°F) durante un período de 8 a 24 horas, en una realización.

En la etapa 94, el núcleo 32 completamente formado y curado es depositado sobre la lámina 34 superior y, a continuación, se aplican capas de adhesivo de película seca a la cara expuesta restante del núcleo 32. El adhesivo de película seca puede comprender, por ejemplo, un adhesivo de película de epoxi que cura a 350 grados F, conocido comercialmente como adhesivo de película FM300 disponible en Cytec. Tras la compactación en la etapa 114, la segunda lámina 36 superior es aplicada a la cara restante expuesta del núcleo 32, tal como se muestra en la etapa 116. Por último, la estructura 30 de sándwich es compactada y curada en la etapa 118.

Las realizaciones de la descripción pueden encontrar uso en una diversidad de aplicaciones potenciales, particularmente en la industria del transporte, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales y de automoción. De esta manera, con referencia ahora a las Figuras 27 y 28, las realizaciones de la descripción pueden ser usadas en el contexto de un procedimiento 120 de fabricación y de servicio de aeronaves, tal como se muestra en la Figura 27 y una aeronave 136 tal como se muestra en la Figura 28. Las aplicaciones en aeronaves de las realizaciones descritas pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, elementos reforzados con materiales compuestos tales como revestimientos de fuselaje, revestimientos de alas, superficies de control, escotillas, paneles de suelo, paneles de puertas, paneles de acceso y empenajes, por nombrar unos pocos. Durante la pre-producción, el procedimiento 120 ejemplar puede incluir las especificaciones y el diseño 122 de la aeronave 136 y la adquisición 124 del material. Durante la producción, se lleva a cabo la fabricación 126 de componentes y sub-conjuntos y la integración 128 del sistema de la aeronave 136. A continuación, la aeronave 136 puede pasar las certificaciones y puede ser suministrada 130 con el fin de ser puesta en servicio 132. Mientras está sirviendo a un cliente, la aeronave 136 es planificada para el mantenimiento y el servicio 134 (que también pueden incluir la modificación, la reconfiguración, la remodelación, etc.).

El procedimiento preferido de la invención es muy adecuado para la formación de elementos reforzados con materiales compuestos termoplásticos en el bastidor de soporte de un fuselaje de aeronave. Los posibles ejemplos de elementos de refuerzo con materiales compuestos termoplásticos incluyen, pero no se limitan a, revestimientos de fuselaje, revestimientos de alas, superficies de control, paneles de puertas y paneles de acceso. Los elementos de refuerzo incluyen, pero no se limitan a, vigas de quilla, vigas de suelo y vigas de cubierta. Solo para propósitos ilustrativos, la invención se describirá inicialmente con referencia a la formación de una viga 20 de suelo de material compuesto termoplástico para su uso en un fuselaje de una aeronave comercial. Sin embargo, aunque se muestra una sección en I, más adelante se describirán otras geometrías de elementos de refuerzo, tales como una sección en Z, sección en U, sección en T, etc., incluyendo las que tienen curvatura a lo largo de su longitud.

Cada uno de los procesos del procedimiento 120 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, una tercera parte y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los propósitos de la presente descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas del sistema principal; una tercera parte puede incluir, sin limitaciones, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una línea aérea, empresa de arrendamiento financiero, entidad militar, organización de servicio, etc.

5 Tal como se muestra en Figura 28, la aeronave 136 producida mediante el procedimiento 120 ejemplar puede incluir un armazón 138 con una pluralidad de sistemas 142 y un interior 140. Los ejemplos de sistemas 142 de alto nivel incluyen uno o más de entre un sistema 148 de propulsión, un sistema 144 eléctrico, un sistema 150 hidráulico y un sistema 146 ambiental. Pueden incluirse cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la invención pueden ser aplicados a otras industrias, tales como la industria automovilística.

10 El aparato materializado en la presente memoria puede ser empleado durante uno cualquiera o más de las etapas del procedimiento 120 de producción y de servicio. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos que corresponden al procedimiento 126 de producción pueden ser elaborados o fabricados de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 136 está en servicio. También, pueden utilizarse una o más realizaciones del aparato durante las etapas 126 y 128 de producción, por ejemplo, acelerando sustancialmente el montaje de una aeronave 136 o reduciendo el costo de la misma. De manera similar, pueden  
15 utilizarse una o más realizaciones del aparato mientras la aeronave 136 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para el mantenimiento y el servicio 134.

REIVINDICACIONES

1. Un sándwich de material compuesto, que comprende:

5 láminas (34, 36) exteriores primera y segunda, de polímero reforzado con fibras; y un núcleo (32) reforzado entre las láminas (34, 36) exteriores primera y segunda, en el que el núcleo (32) reforzado incluye

10 (i) una pluralidad de pasadores (40) dispuestos en grupos (42) que forman una celosía (33), en el que cada uno de los pasadores (40) incluye partes (40a) medias, que se extienden entre las láminas (34, 36) exteriores primera y segunda, y partes (40b, c) distales, respectivamente, que se extienden generalmente paralelas con y unidas a las láminas (34, 36) exteriores primera y segunda, en el que los pasadores (40) en cada grupo (42) se cruzan en un nodo (52) contiguo a una de la láminas (34, 36) exteriores primera y segunda, y

15 (ii) un soporte que rodea los pasadores (40), caracterizado por que el soporte es una espuma (46) de soporte, que está dispuesta para soportar la celosía (33) y añadir resistencia estructural al núcleo (32).

2. Sándwich de material compuesto según la reivindicación 1, **caracterizado por que**

20 cada uno de los pasadores (40) incluye resina reforzada con fibra de carbono, y cada una de las láminas (34, 36) exteriores primera y segunda incluye capas (38) laminadas de resina reforzada con fibra de carbono.

3. Sándwich de material compuesto según la reivindicación 1 o 2, en el que las partes (40b, c) distales de los pasadores (40) en cada uno de los grupos (42) se extienden hacia fuera desde el nodo (52) formado por los pasadores (40) en el conjunto.

4. Sándwich de material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los nodos (52) están separados de manera sustancialmente equidistante, unos respecto a los otros.

5. Sándwich de material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de los grupos (42) incluye al menos tres de los pasadores (40).

6. Sándwich de material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el soporte incluye espuma (46) rígida.

7. Sándwich de material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los pasadores (40) en cada uno de los grupos (42) están separados radialmente de manera sustancialmente equidistante entre sí alrededor del nodo (52) formado por el conjunto.

8. Sándwich de material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el núcleo (32) tiene un coeficiente de expansión térmica que coincide generalmente con el coeficiente de expansión térmica de las láminas (34, 36) exteriores primera y segunda.

9. Un procedimiento de fabricación de un sándwich de material compuesto reforzado, que comprende las etapas de:

(A) fabricar un núcleo (32)

50 (i) formando una capa (46) de espuma, y (ii) formando grupos (42) de pasadores (40) estructurales que se cruzan en la espuma (46) de soporte, insertando los pasadores (40) en la espuma (46) de soporte;

(B) doblar los extremos de los pasadores (40); y

55 (C) unir el núcleo (32) a un par de láminas (34, 36) exteriores reforzadas con fibras, uniendo los extremos doblados de los pasadores (40) a las láminas (34, 36) exteriores.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la etapa (A) (ii) incluye insertar los pasadores (40) en la capa (46) de espuma a lo largo de trayectorias de intersección.

60 11. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, que comprende además las etapas de:

(D) pultrusionar una longitud de material (38) compuesto de epoxi grafito;

(E) curar parcialmente la longitud del material (38) de epoxi grafito, y,  
(F) formar los pasadores (40) cortando la longitud del material (38) de epoxi grafito.

- 5 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la etapa (A) (ii) incluye:  
insertar los pasadores (40) en la capa (46) de espuma,  
pelar los extremos de los pasadores (40).
- 10 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende además la etapa de:  
(D) curar los pasadores (40) estructurales una vez completada la etapa (A).
- 15 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, que incluye además la etapa de:  
(D) compactar y curar las láminas (34, 36) exteriores y el núcleo (40) una vez completada la etapa (C).
15. Un subconjunto de una aeronave fabricado mediante el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14.

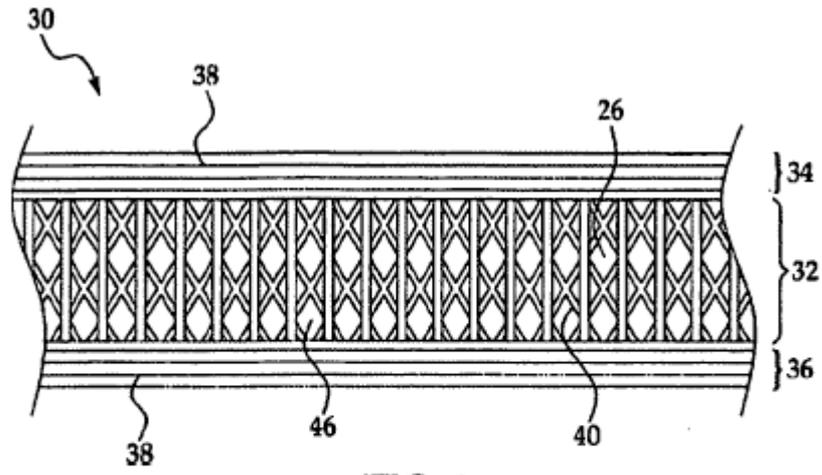


FIG. 1

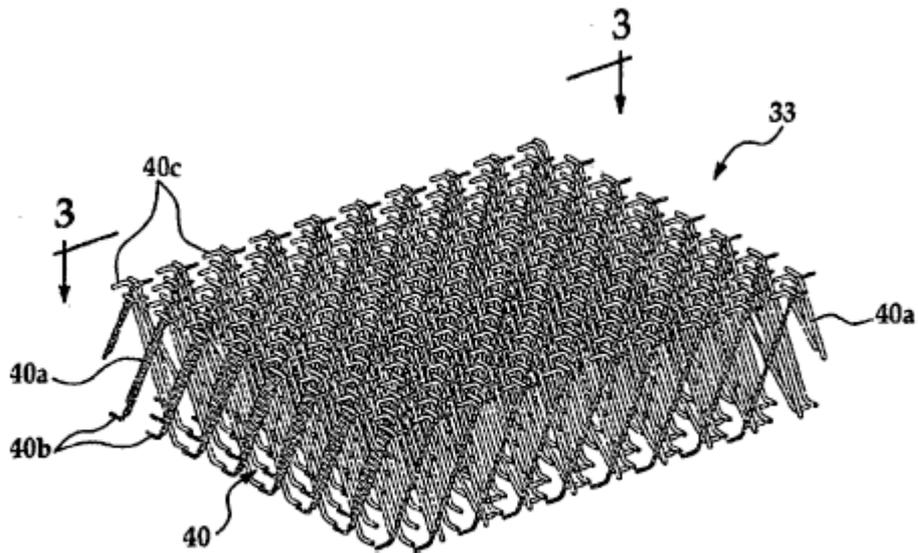
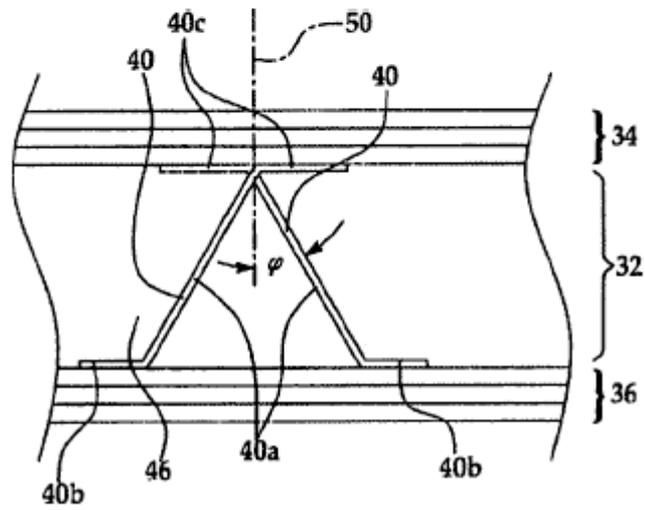
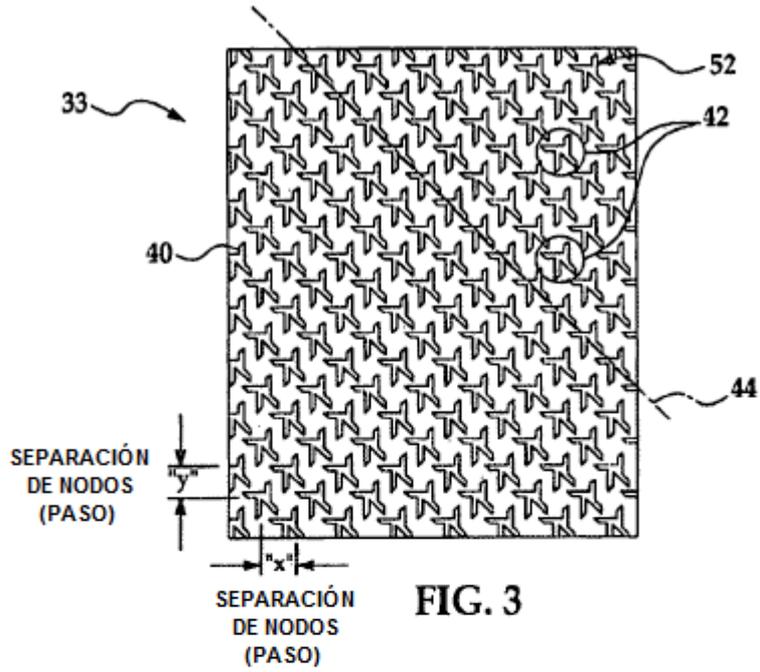


FIG. 2



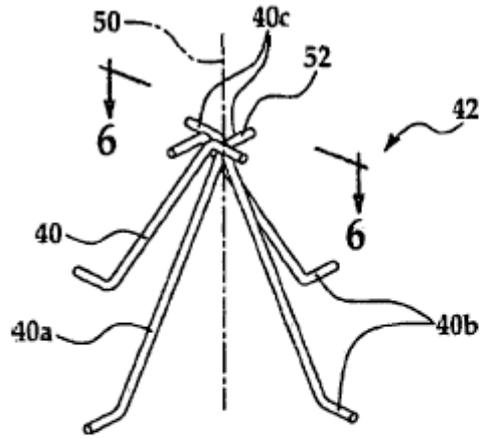


FIG. 5

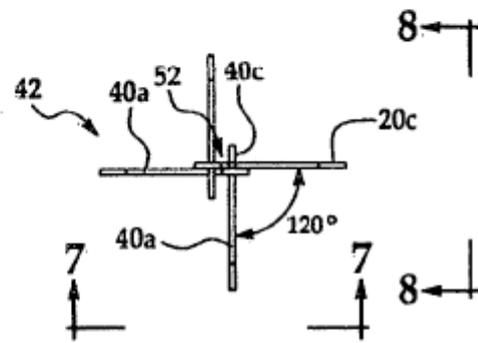


FIG. 6

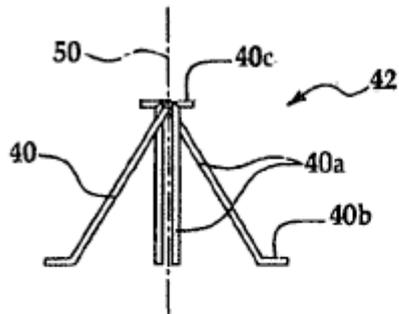


FIG. 7

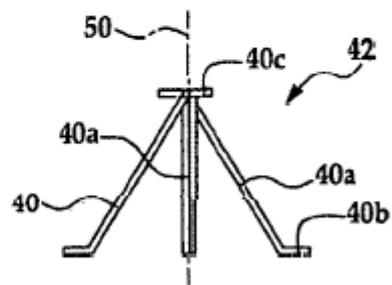
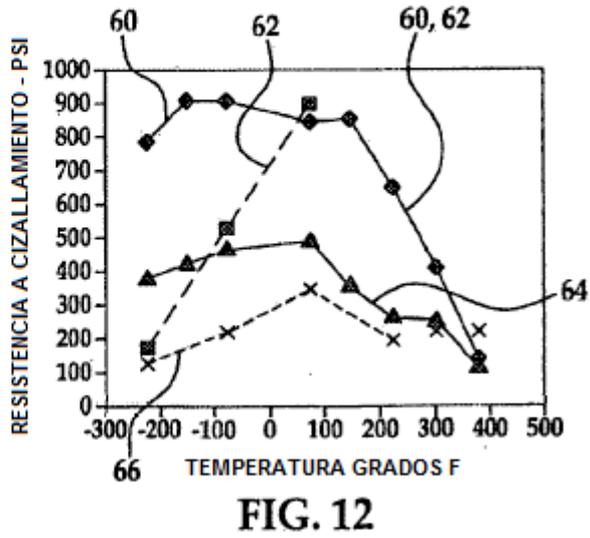
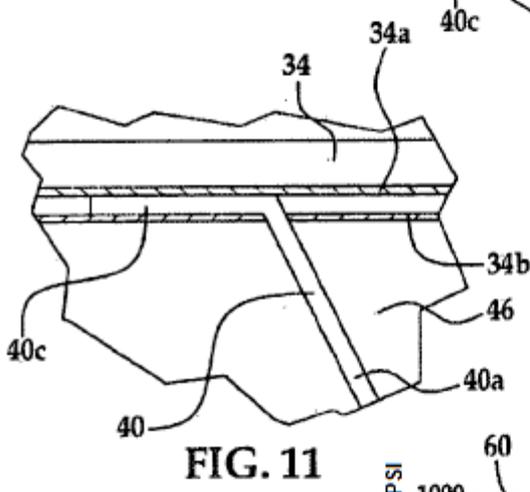
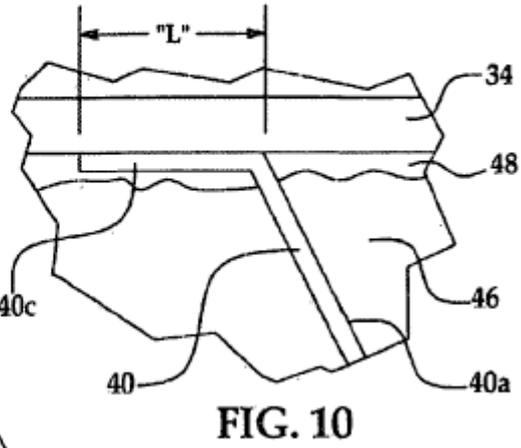
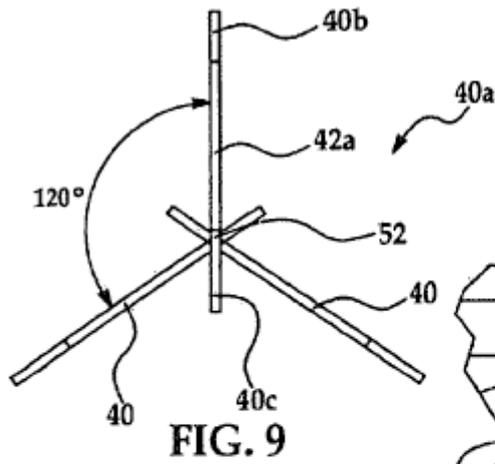


FIG. 8



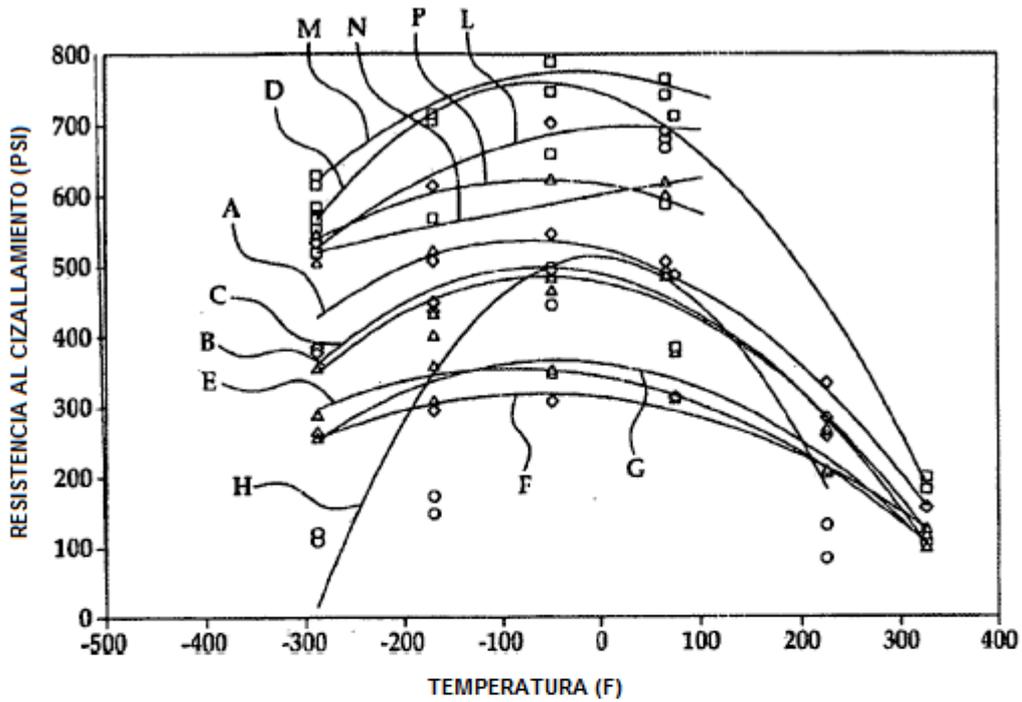


FIG. 13

- A. 193,5 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51WF, dia 0,508, ángulo 35°, densidad 8,88, altura expuesta 2,03 mm
- B. 144,48 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51WF, dia 0,508, ángulo 35°, densidad 5,82, altura expuesta 2,03 mm
- C. 191,26 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51IG, dia 0,508, ángulo 20°, densidad 8,74, altura expuesta 2,03 mm
- D. 192,22 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51IG, dia 0,508, ángulo 35°, densidad 8,80, altura expuesta 2,03 mm
- E. 193,5 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 31IG, dia 0,508, ángulo 35°, densidad 5,30, altura expuesta 2,03 mm
- F. 110,36 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 31IG, dia 0,508, ángulo 35°, densidad 4,89, altura expuesta 2,03 mm
- G. 110,53 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51IG, dia 0,508, ángulo 35°, densidad 3,7, altura expuesta 2,03 mm
- H. 1,27 cm, 200WF
- J. 1,27 cm, 110WF
- L. 192,38 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51IG, dia 0,508, ángulo 30°, densidad 8,81, altura expuesta 1,40 mm
- M. 192,38 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51WF, dia 0,508, ángulo 30°, densidad 8,81, altura expuesta 1,40 mm
- N. 192,38 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51WF, dia 0,508, ángulo 30°, densidad 8,81, altura expuesta 2,03 mm
- P. 181,65 kg/m<sup>3</sup> , 1,27 cm, 51WF, dia 0,508, ángulo 30°, densidad 8,14, altura expuesta 1,40 mm

FIG. 14

68	70	72	74	76	78	80	82
DENSIDAD DE NÚCLEO kg/cm <sup>3</sup>	ESPESOR (CM)	DIÁMETRO DE PASADOR (CM) +/- 0,000381	ÁNGULO DE PASADOR (RESPECTO A VERTICAL)	SEPARACIÓN DE PASADORES (PASO CUADRADO)	ALTURA EXPUESTA (CM)	PASADORES POR NODO	ESPUMA BASE ROHACELL
110,5	1,27	0,0508	30°	0,048514	0,055	4	51WF
110,5	1,905	0,0508	30°	0,047498	0,055	4	51WF
110,5	2,54	0,0508	30°	0,04699	0,055	4	51WF
192,2	1,27	0,07112	30°	0,043942	0,055	4	51WF
192,2	1,905	0,07112	30°	0,04318	0,055	4	51WF
192,2	2,54	0,07112	30°	0,042672	0,055	4	51WF

FIG. 15

GRÁFICOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN ENSAYOS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS X-COR 1,27 CM - TIPO 1

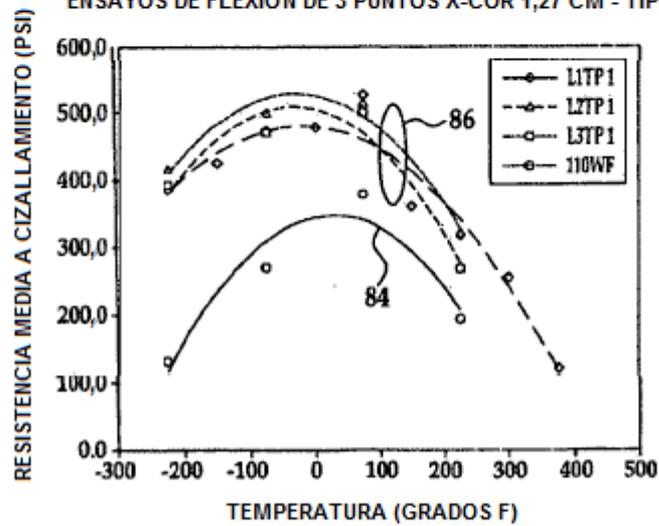
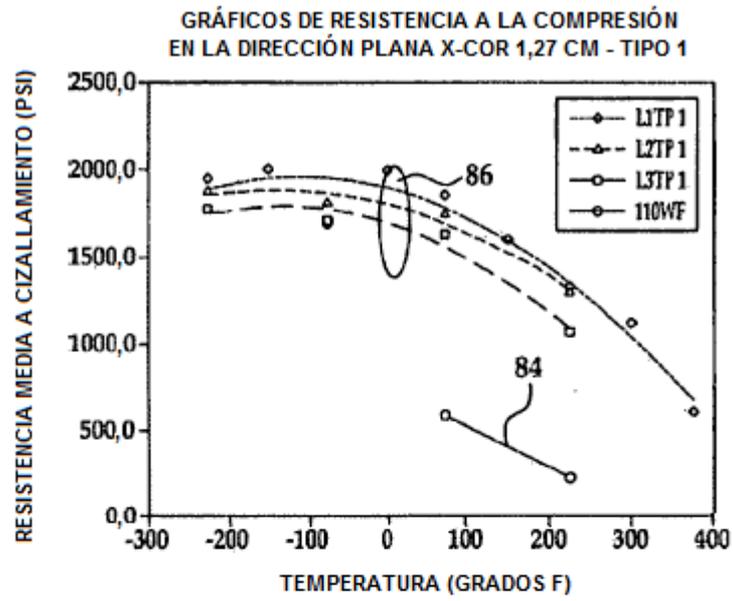
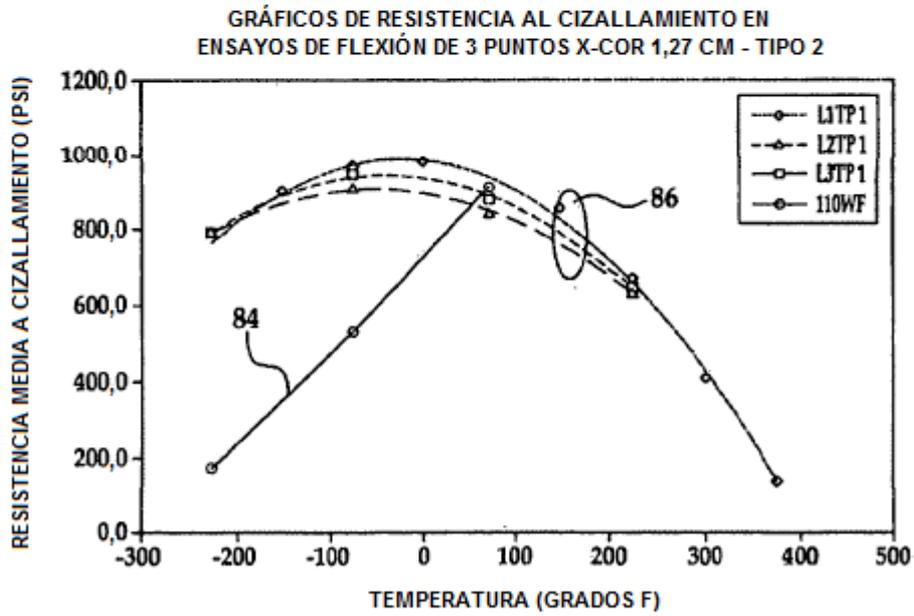


FIG. 16



**FIG. 17**



**FIG. 18**

GRÁFICOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
EN LA DIRECCIÓN PLANA X-COR 1,27 CM - TIPO 2

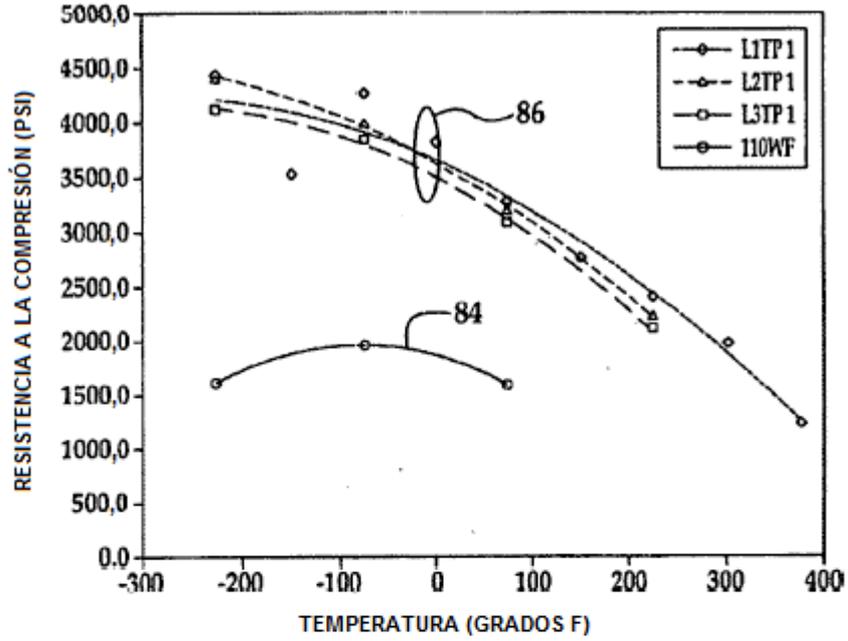


FIG. 19

GRÁFICOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN  
ENSAYOS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS X-COR 1,905 - TIPO 1

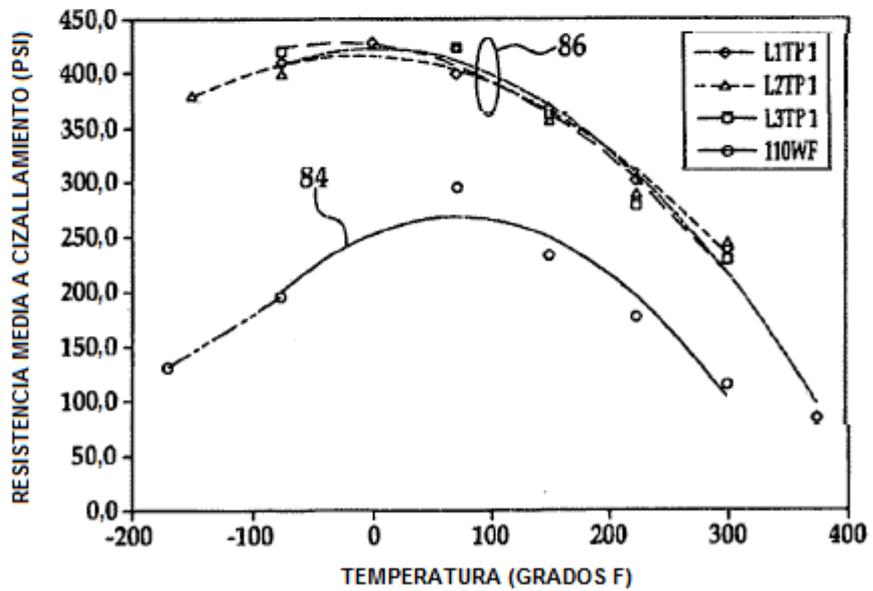


FIG. 20

GRÁFICOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LA DIRECCIÓN PLANA X-COR 1,27 CM - TIPO 1

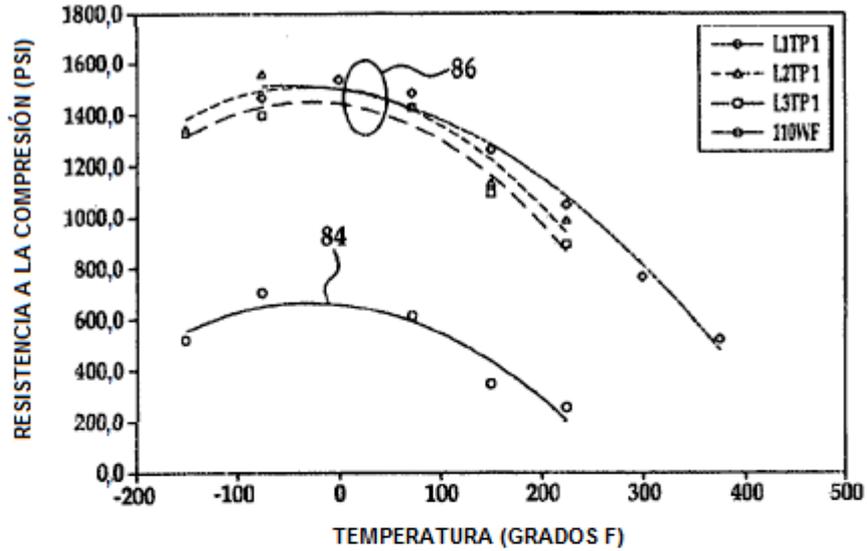


FIG. 21

GRÁFICOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN ENSAYOS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS X-COR 1,905 - TIPO 2

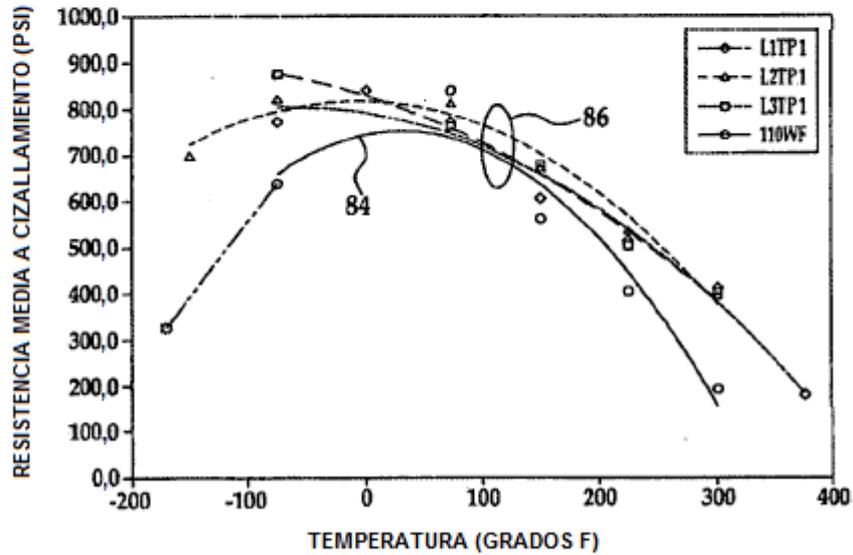
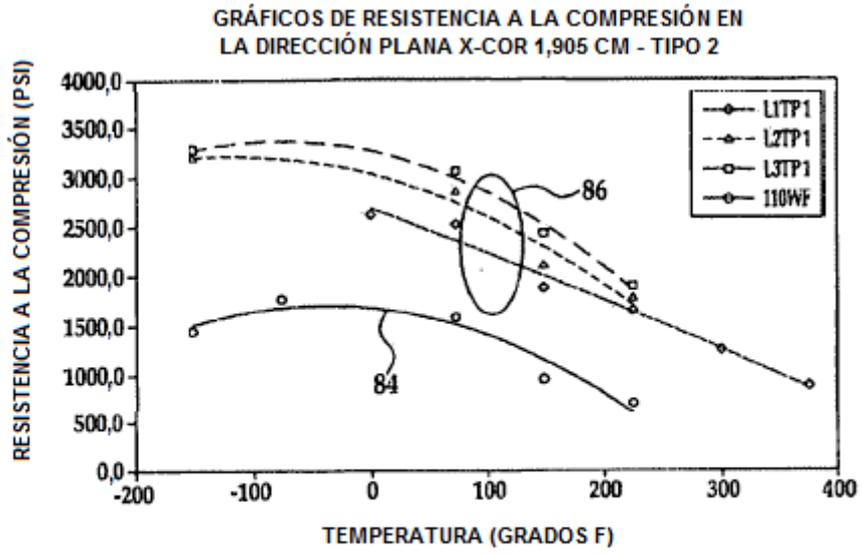
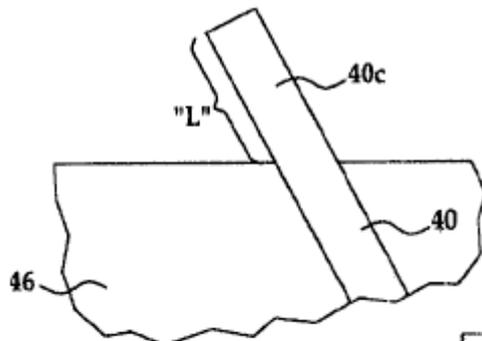


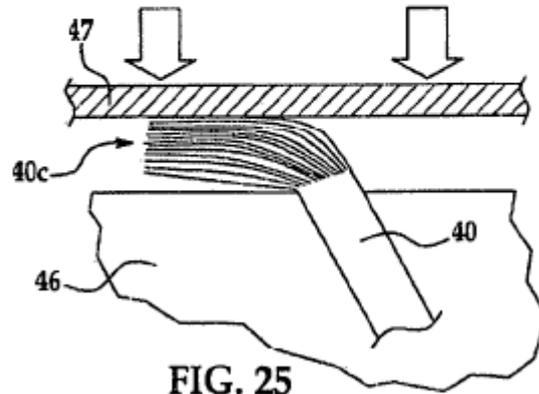
FIG. 22



**FIG. 23**



**FIG. 24**



**FIG. 25**

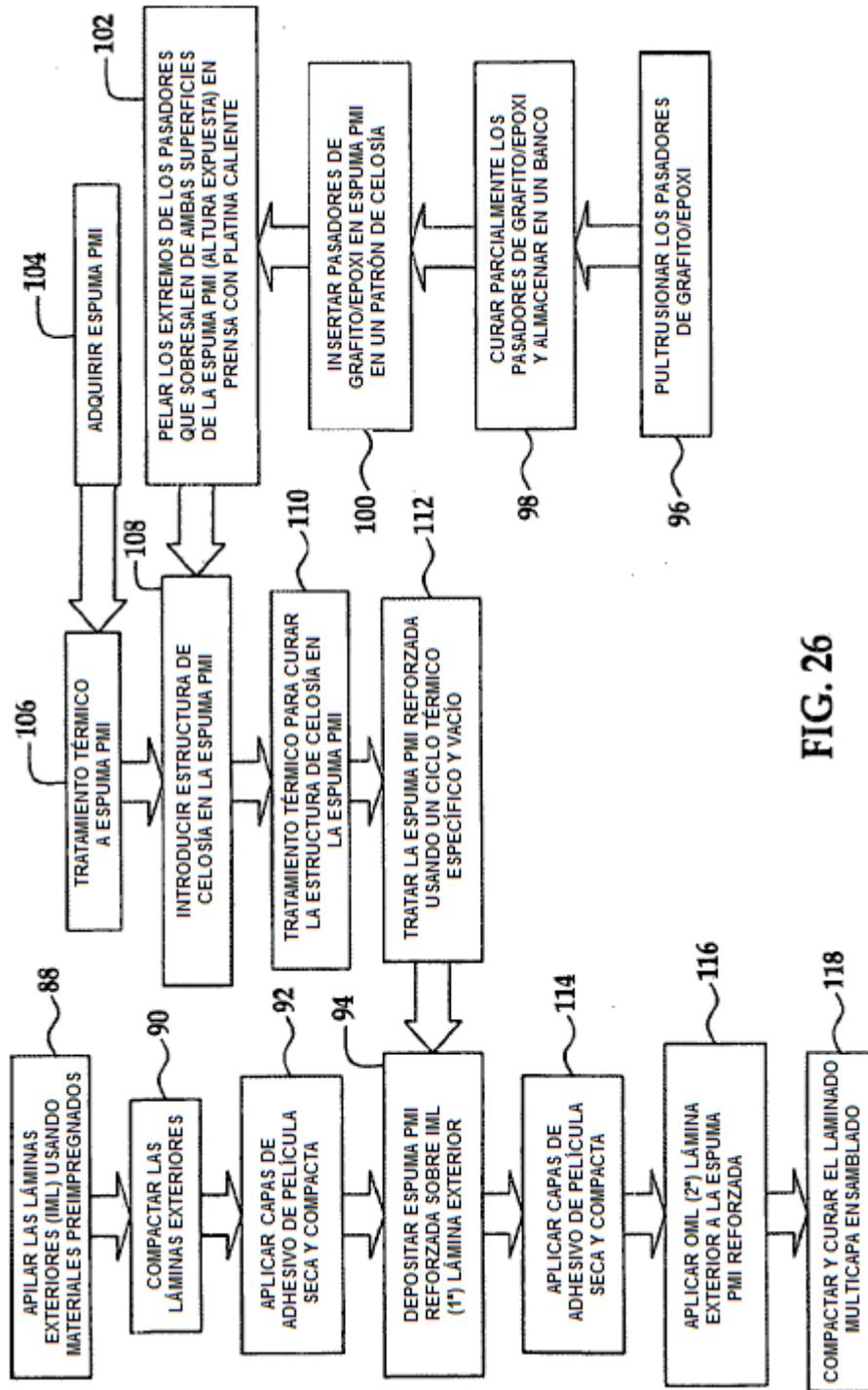


FIG. 26

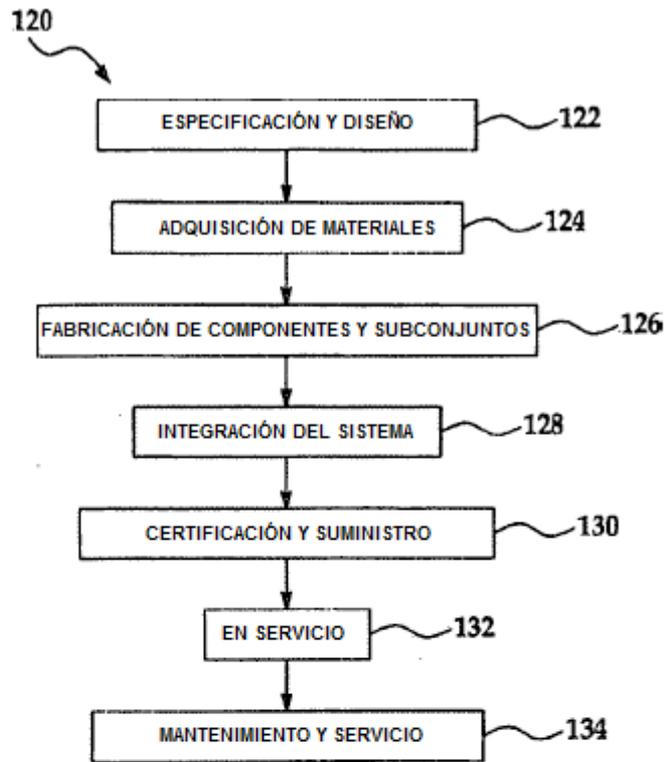


FIG. 27

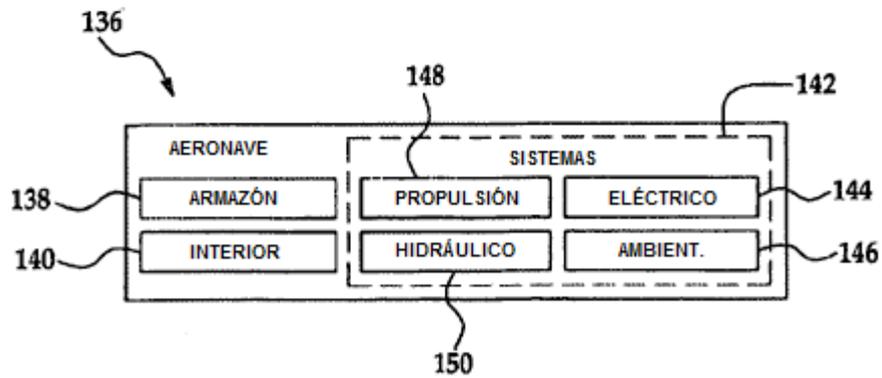


FIG. 28