

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 024 284**

51 Int. Cl.:

B29C 70/34 (2006.01)
B29D 99/00 (2010.01)
B29C 70/20 (2006.01)
G06F 30/20 (2010.01)
B32B 7/03 (2009.01)
B29L 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2017** E 17163124 (5)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2025** EP 3263320

54 Título: **Reducción de arrugas en laminados compuestos conformados**

30 Prioridad:

28.06.2016 US 201615194986

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

04.06.2025

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.00%)
929 Long Bridge Drive
Arlington, VA 22202, US**

72 Inventor/es:

BLOM-SCHIEBER, ADRIANA WILLEMPJE

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 3 024 284 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

Reducción de arrugas en laminados compuestos conformados

5 Información de antecedentes

1. Campo de la invención:

10 La presente divulgación se refiere en general a la fabricación de laminados compuestos contorneados, especialmente los que tienen relaciones de aspecto altas, y trata más particularmente de un método para reducir las arrugas de un laminado durante el conformado a un contorno deseado.

2. Antecedentes de la invención:

15 En un proceso de producción de partes laminadas compuestas alargadas con geometrías contorneadas, las capas preimpregnadas unidireccionales se colocan, a mano o con un equipo de colocación automatizado, para formar una pila laminada plana. En una primera operación de conformado, un par de troqueles emparejados punzonan la pila plana para formar una parte recta con la forma de sección transversal deseada. En una operación de conformado secundaria, la parte se forma sobre una herramienta de conformado contorneada que imparte un contorno deseado a la parte a lo largo de su longitud. Como resultado de estas dos operaciones de conformado, la parte presenta contornos a lo largo de dos ejes.

25 Los laminados tradicionales suelen utilizar una combinación de capas de 0°, 45° y 90°. Cuando se utilizan estos laminados tradicionales en el proceso descrito anteriormente para producir partes laminadas compuestas contorneadas que tienen relaciones de aspecto elevadas, tales como larguerillos y largueros utilizados en vehículos aeroespaciales, pueden producirse arrugas en las capas debido a que algunas de las fibras de refuerzo de las capas tienen orientaciones de 0°. Las fibras de las capas 0° se deforman al ser sometidas a una carga de compresión a lo largo de toda la parte durante la operación de conformado secundario. El problema de las arrugas en las capas puede ser más pronunciado cuando la parte tiene un gran número de capas y/o contiene juntas o rampas de capas agresivas a lo largo de su longitud. Las arrugas en las capas son indeseables. En algunas aplicaciones, las partes pueden reelaborarse para reducir o eliminar las arrugas de las capas, pero la reelaboración aumenta los costes de mano de obra y puede reducir la tasa de producción. Una solución al problema de las arrugas consiste en cortar las capas de 0° en segmentos, pero esto puede disminuir la capacidad de carga. La menor capacidad de carga puede compensarse añadiendo capas adicionales a la parte, pero este enfoque del problema aumenta los costes de material y el peso de la parte.

35 El documento US 2013/0330503 A1, de acuerdo con su resumen, se refiere a un laminado compuesto que tiene un eje primario de carga y comprende una pluralidad de capas de resina, cada una de ellas reforzada con fibras unidireccionales. El laminado incluye capas transversales con orientaciones de fibra optimizadas para resistir las cargas de flexión y torsión a lo largo del eje primario de carga.

45 El documento US 2010/0121625 A1, de acuerdo con su resumen, se refiere a un método de diseño de un laminado compuesto, que comprende una pluralidad de zonas, cada una de las cuales comprende una pluralidad de capas compuestas, y cada capa de cada zona tiene un ángulo de orientación respectivo. Se determina una secuencia de apilamiento global para el laminado, en donde la secuencia de apilamiento global comprende una secuencia de elementos de secuencia de apilamiento. Se determina un grosor de laminado local para cada zona. A continuación, se determina una secuencia de apilamiento local para cada zona extrayendo una subsecuencia de elementos de la secuencia de apilamiento global. La secuencia global de apilamiento y los grosores locales de las láminas se determinan conjuntamente en un proceso de optimización en el que se asignan múltiples variables de selección de subcapas a cada elemento de la secuencia de apilamiento, en donde cada variable de selección de subcapas representa la densidad o el grosor de subcapas para un respectivo ángulo de orientación de las capas candidato. Se determinan valores óptimos para las variables de selección de subcapas y los grosores locales de los laminados. Se asigna una sola de las variables de selección de subcapas a cada elemento de la secuencia de apilamiento, forzando así una elección distinta del ángulo de orientación global de las capas para cada elemento de la secuencia de apilamiento.

60 El documento US 7 943 076 B1, de acuerdo con su resumen, se refiere a un elemento compuesto curvado que se coloca sobre una herramienta que tiene una primera y una segunda superficies curvadas que poseen radios de curvatura diferentes. Una pluralidad de segmentos de capa de fibra compuesta se disponen en relación sustancialmente de lado a lado en un grupo. Los segmentos de la capa se forman como un grupo sobre la primera superficie curvada de la herramienta y, a continuación, el grupo se forma desde la primera superficie curvada de la herramienta sobre la segunda superficie curvada de la herramienta.

65 El documento US 2011/0045232 A1, de acuerdo con su resumen, se refiere a un vehículo aeroespacial que incluye una pluralidad de rigidizadores compuestos. Cada rigidizador de la pluralidad tiene una pila de capas de fibras de refuerzo. Al menos algunas de las capas de la pila tienen fibras de refuerzo orientadas a ±a con respecto a un eje

de carga primario, en donde α está entre 2 y 12 grados. Al menos algunas de las capas de la pila tienen fibras de refuerzo orientadas a $\pm\beta$ con respecto al eje de carga primario, en donde β está entre 50 y 85 grados.

Breve descripción de la invención

5 De acuerdo con la reivindicación 1, se proporciona un método para fabricar una parte laminada compuesta contorneada que tenga una alta relación de aspecto, un eje principal de carga y una pluralidad de zonas a lo largo de su longitud que tengan respectivamente rigideces deseadas, que comprende la selección de un conjunto de ángulos de fibra ($+\theta_1, +\theta_2, \pm\theta_3$) para las capas de fibras de refuerzo unidireccionales, en donde ninguno de los
10 ángulos de la fibra es 0° con respecto al eje principal de carga, en donde el conjunto de ángulos de la fibra incluye tres orientaciones de la fibra en ángulos desfasados ($+\theta_1, +\theta_2, \pm\theta_3$) con respecto al eje principal de carga de $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, en donde $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq 90$, en donde $\theta_2 - \theta_1 \leq 45^\circ$, y $\theta_3 - \theta_2 \leq 45^\circ$; determinar, para cada uno de los ángulos de fibra ($+\theta_1, +\theta_2, \pm\theta_3$), un número de capas en cada una de las zonas necesario para proporcionar un conjunto deseado de propiedades de laminado en el plano en la zona); determinar una forma y una secuencia de apilamiento de las capas, en donde algunas de las capas son continuas y otras discontinuas a lo largo del eje principal de
15 carga, y en donde los ángulos desfasados ($+\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) incluyen pares equilibrados de ángulos + y -; colocar las capas en una pila plana utilizando la secuencia de apilamiento; y formar la pila plana con la forma de la parte laminada compuesta contorneada.

20 De acuerdo con la reivindicación 7, se proporciona un rigidizador laminado compuesto contorneado a lo largo de un eje principal de carga, que comprende una pluralidad de capas laminadas de fibras de refuerzo unidireccionales mantenidas en una matriz plástica, en donde todas las capas tienen orientaciones de fibra en ángulos desfasados ($+\theta_1, +\theta_2, \pm\theta_3$) con respecto al eje principal de carga, en donde las capas tienen tres orientaciones de fibra con respecto al eje principal de carga de $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, y $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq 90$, en donde $\theta_2 - \theta_1 \leq 45^\circ$, y $\theta_3 - \theta_2 \leq 45^\circ$, en
25 donde el rigidizador laminado compuesto carece de capas de 0° , en donde algunas de las capas son continuas y otras capas son discontinuas a lo largo del eje principal de carga, y en donde los ángulos desfasados ($+\theta_1, +\theta_2, \pm\theta_3$) incluyen pares equilibrados de ángulos + y -.

30 Una de las ventajas del método de fabricación es la eliminación de las capas con orientaciones de fibra de 0° , que tienen tendencia a arrugarse cuando se conforman con una geometría contorneada.

Otra ventaja del método de fabricación es que las capas que tienen orientaciones de fibra destinadas principalmente a proporcionar resistencia y rigidez a lo largo del eje longitudinal de la parte son más cortas en longitud, en comparación con las fibras de 0° que se extienden por toda la longitud del laminado, y permiten una mayor deformación axial antes de estar sujetas a pandeo. La reducción de la longitud de estas fibras reduce la cantidad de fricción entre las capas, permitiendo que se produzca un deslizamiento transversal entre ellas, lo que a su vez reduce la compresión de las fibras con mayor tendencia a doblarse.

35 Otra ventaja del método de fabricación es que se pueden producir partes laminadas compuestas con geometrías contorneadas y relaciones de aspecto altas en las que las capas que tienen orientaciones de fibra que proporcionan resistencia y rigidez a lo largo del eje longitudinal de la parte están orientadas de tal manera que pasan de un estado de compresión a un estado neutro y luego a un estado de tracción durante el conformado, lo que permite que estas capas se relajen en lugar de doblarse.

40 Otra ventaja de las realizaciones es que se puede fabricar una parte laminada de material compuesto muy contorneada, tal como un rigidizador contorneado, que proporcione una rigidez adecuada a lo largo de un eje principal de carga sin necesidad de capas que tengan una orientación de 0° y sin aumentar el peso de la parte.

45 Las características, funciones y ventajas pueden lograrse de forma independiente en varias realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en otras realizaciones en las que se pueden observar más detalles con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

55 Las características novedosas que se creen características de las realizaciones ilustrativas se establecen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ilustrativas, así como un modo de uso preferido, otros objetivos y ventajas de los mismos, se entenderán mejor haciendo referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ilustrativa de la presente divulgación cuando se lea junto con los dibujos adjuntos, en donde:

60 La Figura 1 es una ilustración de una vista en perspectiva de un rigidizador laminado compuesto contorneado.

La Figura 2 es una ilustración de una vista en perspectiva de una pila plana de capas compuestas utilizada para formar el rigidizador mostrado en la Figura 1.

La Figura 3 es una ilustración de la zona designada como "FIG. 3" en la Figura 2.

La Figura 4 es una ilustración de una vista en despiece de un conjunto de troqueles utilizado para estampar la pila plana de la Figura 2 en un rigidizador recto con una forma de sección transversal deseada.

65 La Figura 5 es una ilustración similar a la Figura 4 pero que muestra la pila plana que ha sido estampada con la forma transversal deseada.

La Figura 6 es una ilustración de una vista en extremo de una herramienta de curado en la que se ha colocado el rigidizador conformado y estampado como preparación para conformarlo con un contorno deseado.

La Figura 7 es una ilustración de una vista lateral de la herramienta de curado mostrada en la Figura 6, que ilustra mejor las superficies contorneadas de la herramienta sobre las que se forman los rigidizadores rectos con el contorno deseado.

La Figura 8 es una ilustración de una vista en despiece de varias de las capas de la pila mostrada en la Figura 2.

La Figura 9 es una ilustración de una vista fragmentaria en perspectiva del rigidizador de la Figura 1, que muestra la orientación de una sola fibra de una de las capas fuera de ángulo. La Figura 9 es una ilustración que muestra el pandeo exagerado de la fibra fuera de ángulo y el deslizamiento entre las capas.

La Figura 9A es una ilustración de una vista en perspectiva de dos capas adyacentes del rigidizador de la Figura 9, en la que también se muestra el pandeo exagerado de la fibra fuera de ángulo y el deslizamiento entre las capas.

La Figura 10 es una ilustración similar a la Figura 9 pero que muestra una vista en planta del rigidizador.

La Figura 11A y la Figura 11B son ilustraciones de tablas comparativas que muestran secuencias de apilamiento de capas que dan como resultado propiedades de rigidez en el plano sustancialmente equivalentes, respectivamente para dos partes laminadas.

La Figura 12 es una ilustración de una vista en perspectiva de un rigidizador laminado compuesto contorneado que tiene propiedades de rigidez adaptadas dentro de zonas a lo largo de la longitud del rigidizador.

La Figura 13 es una ilustración de una vista lateral de una de las bridas del rigidizador mostrado en la Figura 13, vista en la dirección designada como "FIG. 13" en la Figura 12.

La Figura 14 es una ilustración de una vista en perspectiva en despiece de una pila de capas y una secuencia de apilado que incluye capas parciales y completas.

La Figura 15 es una ilustración de una tabla que muestra la secuencia de colocación de la pila de capas mostrada en la Figura 14.

La Figura 16 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método de preparación de un diseño existente de una parte laminada compuesta contorneada con arrugas reducidas.

La Figura 17 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método de preparación de un diseño nuevo de una parte laminada compuesta contorneada con arrugas reducidas.

La Figura 18 es una ilustración de un diagrama de flujo de la metodología de producción y servicio de aeronaves.

La Figura 19 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada de la invención

En primer lugar, con referencia a la Figura 1 se muestra una parte laminada compuesta 30 contorneada a lo largo de su longitud L y con un radio de curvatura R. En el ejemplo ilustrado, la parte 30 es un larguero 30, también denominado en la presente como rigidizador 30, utilizado para transmitir cargas en una estructura, tal como el fuselaje de una aeronave; sin embargo, los principios de las realizaciones divulgadas pueden utilizarse en la fabricación de un amplio rango de otros tipos de partes compuestas contorneadas, especialmente rigidizadores estructurales, con diversas formas de sección transversal. Tal como se utilizan en la presente "contorno" y "contorneado" se emplean cada uno en su sentido más amplio, e incluyen, pero no se limitan a, curvaturas en cualquier porción, o a lo largo de toda la longitud de la parte 30. "Contorno" y "contorneado" también incluyen curvaturas u otras características geométricas que tengan un radio de curvatura constante o cambiante, así como cambios locales en la geometría, tales como, sin limitación, los saltos. El rigidizador 30 tiene una sección en forma de sombrero 32 definida por una tapa 36 y un par de nervios 38. Los nervios 38 conectan la tapa 36 con un par de bridas 34 que se extienden hacia el exterior. El rigidizador 30 tiene una longitud L significativamente mayor que su anchura W, por lo que presenta una relación de aspecto alta.

El rigidizador 30 tiene un eje mayor de carga 40, que en el ejemplo ilustrado, está alineado con el eje X en el sistema de coordenadas mostrado en 54. El rigidizador 30 posee así un doble contorno. El primer contorno se encuentra a lo largo del rigidizador 30 en el plano XZ, y el segundo contorno definido por la sección en forma de sombrero 32 se encuentra en el plano YZ. Aunque se ilustra un larguero en forma de sombrero 30, los principios de las realizaciones divulgadas también son aplicables a otros tipos de rigidizadores, incluyendo, pero sin limitarse a, los rigidizadores que tienen otras formas de sección transversal, tal como una forma de Z, una forma de C, una forma de sombrero redondeado o una aspa (una forma de I), etc. Los principios de las realizaciones divulgadas son igualmente aplicables a otros tipos de miembros estructurales laminados compuestos, tales como largueros y vigas de piso, que están contorneados en uno o más planos y/o tienen formas de sección transversal que varían a lo largo de la longitud del miembro.

A continuación, haciendo referencia a las Figura 2 y 3, el rigidizador 30 mostrado en la Figura 1 se fabrica formando una pila plana 42 de capas compuestas 44 con una forma de sección transversal y un contorno longitudinal deseados. Las capas 44 comprenden cada una fibras unidireccionales 48 mantenidas en una matriz plástica adecuada 50. Las fibras 48 pueden ser de cualquier material adecuado para la aplicación, incluyendo, entre otros, carbono, vidrio, aramidas, cerámica o cualquier combinación de los mismos. La matriz plástica 50 puede ser un material termoestable o termoplástico, o un sistema de material híbrido que incluya tanto un material termoestable como un material termoplástico. En el ejemplo ilustrado, las capas preimpregnadas se colocan para formar la pila 42, sin embargo, los principios de las realizaciones también son aplicables a la colocación de una pila de fibras secas que posteriormente se infunden con la matriz plástica 50.

La capa 44 mostrada en la Figura 2 es una capa completa y continua, sin embargo, la pila plana 42 puede incluir capas parciales o discontinuas (no mostradas). Las fibras 48 de cada una de las capas 44 están orientadas en varios ángulos θ con respecto al eje mayor de carga 40, como se comentará más adelante con más detalle. En el ejemplo ilustrado, las capas 44 que componen la pila plana 42 están equilibradas. En una pila 42 con pares equilibrados de ángulos de fibra, las capas 44 están dispuestas en pares de orientaciones angulares positivas y negativas iguales. En otros ejemplos, sin embargo, las capas 44 pueden estar desequilibradas. Además, la pila plana 42 puede ser simétrica o asimétrica. En una pila simétrica 42, la secuencia de las capas a ambos lados de un plano medio 46 de la pila 42 son imágenes especulares entre sí. Como se verá más adelante, todas las capas 44 están orientadas en ángulos desfasados θ con respecto al eje mayor de carga 40, por lo que ninguna de las fibras 48 tiene orientaciones de fibra de 0° .

A continuación, se prestan atención a las Figura 4 y 5, que ilustran un conjunto de troqueles 56 utilizado para estampar la pila plana 42 en un rigidizador recto 30a que tiene una forma de sección transversal deseada, que en el ejemplo ilustrado es una forma de sombrero. El conjunto de troqueles 56 comprende troqueles macho y hembra coincidentes 58, 60 respectivamente, que se colocan en una prensa (no mostrada) u otra máquina que fuerza a los troqueles 58, 60 a unirse. El troquel macho 58 incluye un punzón 64 y un par de bridas de troquel 66. El troquel hembra 60 incluye una cavidad de troquel 62 que tiene una forma de sección transversal que coincide con la del punzón 64. Como preparación para la operación de conformado, la pila plana 42 se coloca sobre las superficies superiores 60a del troquel hembra 60. A continuación, como se muestra en la Figura 5, el conjunto de troqueles 56 se cierra haciendo que el punzón 64 fuerce una porción de la pila plana 42 hacia el interior de la cavidad del troqueles 62, mientras que las bridas del troqueles 66 comprimen otras porciones de la pila 42 contra las superficies superiores 60a del troquel hembra 60.

Las Figuras 6 y 7 ilustran una herramienta de curado 65 que se utiliza para formar el rigidizador recto 30a con un contorno deseado a lo largo de su longitud, y mantener la forma del rigidizador 30 completamente formado durante el curado. La herramienta de curado 65 está provista de superficies de herramienta contorneadas 69 que coinciden con la forma del rigidizador contorneado 30 mostrado en la Figura 1. Como preparación para la conformación del contorno, el rigidizador recto 30a se coloca en la herramienta de curado 65, y el montaje del rigidizador 30a y la herramienta de curado 65 se embolsa al vacío (no se muestra) y se introduce en un autoclave (no se muestra). La combinación de calor y presión P aplicada al rigidizador 30a en el autoclave, lo forma hacia abajo sobre las superficies contorneadas de la herramienta 69 y cura el rigidizador 30.

Cabe señalar aquí que, aunque en la realización ilustrada se ha descrito un proceso de dos etapas para formar la parte 30, pueden emplearse otros procesos, incluyendo uno de una sola etapa, en el que todos los contornos, tanto longitudinales como transversales, se formen en una sola operación de conformado. Por ejemplo, cuando la matriz plástica es un termoplástico, la pila plana puede calentarse a la temperatura de conformado y estamparse hasta darle la forma final en una prensa de consolidación. Además, aunque el curado térmico puede utilizarse cuando la matriz plástica es un material termoestable, pueden emplearse otros métodos de curado, dependiendo del sistema de material concreto que se utilice, incluyendo, pero sin limitarse a, el curado de la parte termoestable conformada 30 a temperatura ambiente.

La Figura 8 ilustra varias capas unidireccionales 44a-44e del rigidizador 30 que comprende un laminado equilibrado que carece de capas 0° . Las capas 44a-44e tienen ángulos de fibra relativos al eje mayor de carga 40, de $\pm\theta_1$, $\pm\theta_2$ y $\pm\theta_3$, en donde

$$0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq 90^\circ,$$

$$\theta_2 - \theta_1 \leq 45^\circ,$$

y

$$\theta_3 - \theta_2 \leq 45^\circ.$$

Las capas 44a-44e se denominan capas "fuera de ángulo" porque las fibras 48 de estas capas forman ángulos con respecto al eje mayor de la carga 40. $+\theta_1$ está dentro de los rangos de aproximadamente $+5^\circ$ hasta aproximadamente $+30^\circ$, y $-\theta_1$ está dentro de los rangos de aproximadamente -5° hasta aproximadamente -30° . Las fibras 48 con orientaciones de $\pm\theta_1$ proporcionan al rigidizador laminado 30 una rigidez axial o longitudinal primaria, mientras que las fibras 48 con orientaciones de $\pm\theta_2$ proporcionan al laminado una rigidez axial menor y cierto grado de rigidez transversal. Tal como se utiliza en la presente, "rigidez axial primaria" significa que las fibras 48 de la lámina 44 proporcionan principalmente a la parte 30 rigidez longitudinal o axial, en lugar de rigidez transversal. En el ejemplo ilustrado, las capas que tienen una orientación de 90° ($\theta_3 = 90^\circ$) proporcionan al rigidizador 30 rigidez transversal.

A continuación, se prestan atención a las Figuras 9 y 10, que ilustran la orientación fuera de ángulo de una de las

5 fibras 48 que proporcionan al rigidizador 30 una rigidez axial primaria. La fibra 48 puede formar parte de la capa 44 mostrada en la Figura 8 que tiene una orientación de fibra fuera de ángulo de $+\theta_1$. Como se muestra en la Figura 10, la fibra 48 tiene una longitud L' inferior a la longitud L (Figura 1) del rigidizador 30 y, por lo tanto, es más corta en longitud que las fibras de una capa 0° (no mostrada) de un laminado convencional que, de otro modo, se extendería por toda la longitud L del rigidizador 30. A continuación, haciendo referencia también a la Figura 9A, el pandeo 49 de la fibra 48 durante la conformación del rigidizador recto 30a a un contorno longitudinal es función de la deformación longitudinal ϵ_x en la fibra 48, de la longitud L' sobre la que se aplica la deformación ϵ_x y de las condiciones de contorno que afectan a la fibra 48. La tendencia de la fibra 48 a doblarse 49 puede reducirse al reducir la deformación longitudinal ϵ_x en la fibra 48. Reducir la longitud L' de la fibra 48, permitir que las capas y, por lo tanto, la fibra 48, se deslicen 55 en el plano y colocar la fibra 48 en cizallamiento 53 debido a la torsión en el plano durante el conformado, contribuyen a reducir la deformación longitudinal ϵ_x en la fibra 48 y, por lo tanto, el potencial de pandeo 49.

15 Como se mencionará más adelante, es menos probable que las capas fuera de ángulo 44 se arruguen que las capas de 0° cuando el rigidizador recto 30a (Figura 7) se forma según el contorno longitudinal deseado. El uso de capas fuera de ángulo 44 reduce las arrugas de las capas por varias razones. En primer lugar, las capas fuera de ángulo 44 reducen la longitud L sobre la que se comprimen las fibras individuales 48 57 (Figuras 9 y 9A) durante el conformado, y convierten una porción de la elasticidad (ϵ_x) en deformación por cizallamiento 53 (Figura 9A). En segundo lugar, se permite que las capas fuera de ángulo 44 se relajen 59 hasta cierto punto durante el conformado porque las fibras 48 que tienen ángulos de orientación de $\pm\theta_1$ que proporcionan la rigidez axial primaria pasan de un estado de compresión 57 en las tapas 36 a un estado neutro 61 en los nervios 38, y después a un estado de tracción 63 en las bridas 34. Esta relajación 59 de una porción de la longitud L de las fibras 48 reduce su tendencia a doblarse 49 durante el proceso de conformación. En tercer lugar, debido a que las fibras fuera de ángulo 48 son más cortas en longitud L (que las fibras 0°), se produce cierto grado de deslizamiento transversal 55 entre las capas 44 (Figura 9A) durante el conformado, y este deslizamiento de las capas da como resultado una reducción de la compresión 57 de las fibras 48. En cuarto lugar, debido a la menor carga sobre las fibras 48 en las capas fuera de ángulo 44, la deformación ϵ_{fibra} en las fibras fuera de ángulo 48 se reduce según $\epsilon_{fibra} = \epsilon_x \cdot \cos^2(\theta)$, en donde θ es la orientación angular de la fibra 48 con respecto al eje mayor de carga 40, y ϵ_x es la deformación de una capa 44 en la dirección longitudinal 40 (Figura 1).

30 Utilizando capas 44 con combinaciones seleccionadas de orientaciones fuera de ángulo, y secuencias de capas preseleccionadas, se puede producir una parte laminada 30 sin necesidad de capas de 0° que proporcione esencialmente la misma rigidez y rendimiento que un laminado equivalente de peso comparable que dependa de capas de 0° para la rigidez axial. Por lo tanto, un diseño de rigidizador existente que utilice capas de 0° puede rediseñarse utilizando capas fuera de ángulo 44 para reducir las arrugas de las capas sin sacrificar la rigidez del laminado ni aumentar el peso de la parte 30.

40 A continuación, se hace referencia a las Figuras 11A y 11B, que muestran respectivamente dos posibles secuencias de estratificación 68, 70 para una parte laminada contorneada, en donde se muestran los ángulos de orientación de las capas 74 para cada una de las capas 44 de la secuencia de estratificación. La Figura 11A muestra la secuenciación de una parte laminada de 26 capas utilizando una combinación tradicional de capas de 0°, $\pm 45^\circ$ y 90° . La Figura 11B muestra una secuencia rediseñada de la misma parte laminada de 26 capas con el mismo grosor de laminado que evita el uso de capas de 0° para reducir las arrugas de las capas durante el conformado. La secuencia de capas mostrada en la Figura 11B utiliza una combinación de capas de $\pm 20^\circ$, $\pm 29^\circ$, $\pm 64^\circ$ y 90° , y da como resultado una parte laminada contorneada que presenta una rigidez equivalente a la parte laminada producida utilizando la secuencia de capas mostrada en la Figura 11A, y sin aumentar el peso de la parte.

50 En algunas aplicaciones, una parte laminada compuesta contorneada 30 puede tener diferentes requisitos de rigidez en distintas zonas de la parte. Por ejemplo, haciendo referencia ahora a las Figuras 12 y 13, el rigidizador compuesto contorneado 30 puede tener diferentes requisitos de rigidez en distintas zonas 72 a lo largo de su longitud. Se pueden conseguir diferentes propiedades de rigidez en las distintas zonas 72 variando las orientaciones de las capas, y/o variando el número de capas de una orientación determinada en cada una de las zonas 72. Por ejemplo, en referencia a la Figura 13, el rigidizador 30 puede tener un grosor T_3 en la zona 6 que sea mayor que el grosor T_2 de la zona 5 pero menor que el grosor T_1 de la zona 4. Las rampas de capas 76 se utilizan para la transición entre zonas tienen diferentes grosores T.

60 A continuación, haciendo referencia también a las Figuras 14 y 15, una parte laminada 30 que tenga diferentes grosores a lo largo de su longitud para proporcionar zonas individuales de propiedades de rigidez a medida puede conseguirse colocando una combinación de capas completas 44' y capas parciales 44" (Figura 14) de orientaciones de fibra seleccionadas en una secuencia predeterminada. La Figura 15 ilustra la secuencia de estratificación para producir diferentes rigideces en cada una de las zonas 1-10. En este ejemplo, la parte laminada 30 tiene diferentes grosores de capa T (Figura 13) en varias de las zonas 1-10 en función de si una capa completa 44' o una capa parcial 44" (Figura 14) se estira (ϵ_x) sobre esa zona. La parte laminada 30 representada por la secuencia de capas mostrada en las Figuras 14 y 15 incluye una combinación de capas completas y parciales con orientaciones angulares de $\pm 20^\circ$, $\pm 54^\circ$ y capas transversales de 90° . En este ejemplo, las capas de $\pm 20^\circ$ fuera de ángulo proporcionan la rigidez axial primaria.

La Figura 16 ilustra a grandes rasgos los pasos generales de un método para producir una parte laminada compuesta contorneada 30 que tiene arrugas reducidas y presenta diferentes rigideces a lo largo de su longitud. En este ejemplo, el método se utiliza para producir un diseño de parte existente que utiliza capas de 0° con un nuevo diseño de parte que evita el uso de capas de 0°. Como se verá más adelante, las formas de las capas se seleccionan y optimizan sólo después de determinar las orientaciones de las capas (ángulos de las fibras) y el número de capas por ángulo para cada zona 72 que tenga unos requisitos de rigidez particulares.

Comenzando en 84, se selecciona una parte 30 existente que se va a sustituir y que tiene especificaciones de parte que deben cumplirse, incluyendo, pero sin limitarse a, diferentes propiedades de rigidez a lo largo de su longitud. En 86, se extrae información del diseño de la parte existente, tal como, sin limitación, el número de capas por orientación en cada zona, las propiedades del material y las dimensiones de la zona. En 88, se determinan los valores de grosor de las capas continuas t_i^j para varias combinaciones de ángulos de las capas que coincidan con la rigidez y el grosor del laminado de la parte existente. La determinación realizada en 88 incluye seleccionar el número de nuevas orientaciones de fibra θ utilizadas para la parte 30a, lo que incluye limitar el laminado a tres orientaciones de fibra $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, entre 90° y 0°, en donde $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq 90$. Limitar el número de orientaciones de fibra a un número relativamente pequeño, tal como tres orientaciones de fibra $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, permite investigar un espacio de diseño completo iterando sobre todas las combinaciones posibles de $\theta_1, \theta_2, \theta_3$. En la práctica, las orientaciones de las fibras se limitan a números enteros entre 0 y 90°.

A partir de la teoría clásica de la laminación (CLT), las propiedades de rigidez de un laminado pueden expresarse como una función de un conjunto de parámetros de rigidez interrelacionados. Suponiendo un laminado equilibrado, hay dos ecuaciones que definen los parámetros de laminado y una ecuación para el grosor total del laminado. La selección de un conjunto de tres ángulos de fibra da lugar, por lo tanto, a las tres ecuaciones siguientes por zona de estratificación 72, con los tres grosores de capa como incógnitas, en donde los ángulos de fibra son los mismos para todas las zonas:

$$V_1^j = \frac{1}{N^j t_{ply}} \sum_{i=1}^3 (t_i^j \cos 2\theta_i)$$

$$V_3^j = \frac{1}{N^j t_{ply}} \sum_{i=1}^3 (t_i^j \cos 4\theta_i)$$

$$N^j t_{ply} = \sum_{i=1}^3 t_i^j$$

en donde t_i^j = grosor de la capa continua para el ángulo θ_i en la zona j ,
 t_{capa} = grosor real de la capa de material
 θ = ángulo de la fibra (orientación de la capa) V^j = parámetros de laminación en el plano del diseño original del laminado en la zona j
 N^j = el número total de capas en la zona j

Los conjuntos de ecuaciones anteriores para cada zona son independientes de las ecuaciones para las otras zonas. Sólo se seleccionan las soluciones con valores de grosor positivos para todas las capas en todas las zonas. Sólo se seleccionan las combinaciones de tres ángulos de fibra que dan como resultado las propiedades deseadas del laminado. En este punto del proceso, todas estas combinaciones dan como resultado la misma rigidez, pero no se pueden hacer todas, por una cuestión práctica, porque los grosores no suelen corresponder a un número entero. Algunas combinaciones de los ángulos de las fibras pueden eliminarse en función de ciertas reglas de diseño de laminados compuestos. Sólo se tienen en cuenta las combinaciones de ángulos de fibra que cumplan las siguientes restricciones:

$$\theta_2 - \theta_1 \geq 45$$

$$\theta_3 - \theta_2 \geq 45$$

A partir de la descripción anterior, puede entenderse que el proceso de determinación de los valores de grosor de la capa continua en el paso 88 comprende la selección, de entre múltiples combinaciones posibles de ángulos de fibra, de un conjunto de ángulos de fibra y la determinación, para cada una de las zonas, del grosor del laminado dentro de esa zona que proporcionará las propiedades de rigidez deseadas.

Una vez obtenida una solución continua de grosor en 88, la solución continua se reduce a una solución con un valor distinto o número entero de capas 44 que, basándose en el conjunto de ángulos de fibra seleccionados entre

las posibles combinaciones de ángulos, proporcione la rigidez deseada dentro de una zona. En el paso 90, los valores de grosor de las capas T se refinan realizando una optimización entera distinta del grosor de las capas. El proceso de optimización entera del grosor discreto de las capas es un problema de optimización entera mixta cuyo objetivo es minimizar la diferencia entre los parámetros de laminación resultantes y los óptimos. El proceso que se lleva a cabo en el paso 90 comprende el cálculo del número de capas 44 con grosores de capa distintos para las capas de todas las zonas 72, garantizando así el equilibrio y un recuento de capas distinto de cero. Completar los pasos 88 y 90 da como resultado múltiples combinaciones posibles de conjuntos de ángulos de fibra y grosores de capa que pueden proporcionar las rigideces deseadas en cada zona. Estas posibles combinaciones se refinan y filtran posteriormente para optimizar las propiedades de laminación de cada una de las zonas.

Por lo tanto, en 92, se filtran los resultados de la optimización entera del grosor de las capas realizada en el paso 90. El filtrado de los resultados a 92 determina el número entero de capas que optimizará las propiedades deseadas del laminado en el plano, y da lugar a múltiples soluciones posibles. Este filtrado de los resultados del paso 90, es decir, el proceso de optimización implica filtrar una serie de posibles soluciones optimizadas en función de una desviación permitida de las propiedades efectivas del laminado con respecto a un conjunto deseado de propiedades del laminado, y da como resultado múltiples combinaciones candidatas de ángulo de fibra y número de capas para cada uno de los ángulos en cada una de las zonas de estratificación 1-10 (Figura 12) de la parte 30a. Este proceso de filtrado da como resultado la selección de un diseño de laminado que reduzca mejor las arrugas, se ajuste a la rigidez dada del laminado y minimice el número de secuencias de capas.

Los pasos 88, 90 y 92 dan como resultado múltiples combinaciones de ángulos de fibra candidatos y recuentos de capas para cada uno de estos ángulos para cada una de las zonas de estratificación. En 94, se genera la información de estratificación, que puede incluir la determinación de las formas de las capas y una secuencia de apilamiento que se ajusten a un conjunto deseado de reglas de secuencia de apilamiento y de fabricabilidad. Las reglas de secuencia de apilamiento evitan modos de laminado no deseados. La secuencia de apilamiento se elige, al menos en parte para conseguir propiedades de rigidez a la flexión sustancialmente homogéneas en el laminado. Cuando se requieren especies de capas, se prefieren los empalmes creados de forma natural, que pueden lograrse sobreponiendo los extremos de las capas de longitud media. El uso de empalmes naturales mejora la eficacia de la estratificación al evitar la necesidad de capas cortas para reforzar los empalmes entre capas largas, manteniendo al mismo tiempo la integridad estructural. Además, al determinar las formas de las capas, éstas deben ser continuas siempre que sea posible para maximizar las cargas de transferencia de una zona a otra, así como para optimizar la eficacia de estratificación. En 96, la pila plana de capas 44 se coloca basándose en la información de estratificación generada en 94. A continuación, en 98, la pila plana 42 se forma, como mediante conformado por estampado, en una parte recta 30 que tenga una forma de sección transversal deseada, como en forma de sombrero u otra forma. En 100, la parte laminada 30a se conforma entonces con un contorno deseado a lo largo de su eje principal de carga. Por último, en 102 se cura la parte laminada 30a completamente formada.

A continuación, se prestan atención a la Figura 17, que ilustra a grandes rasgos los pasos de un método de producción de una parte laminada compuesta 30 de un diseño nuevo, en lugar de uno ya existente. El proceso para producir una parte laminada 30 de nuevo diseño con arrugas reducidas es similar al descrito anteriormente con referencia a la Figura 16, pero sin necesidad de igualar la rigidez de una parte existente. En pocas palabras, se determina cuántas capas de cada orientación seleccionada son necesarias para satisfacer las especificaciones de la nueva parte, y a continuación se optimizan las formas de las capas y la secuencia de apilamiento.

Por lo tanto, refiriéndonos en particular a la Figura 17, en 104 se selecciona una nueva parte y en 106 se eligen el material, las orientaciones de las fibras y el tamaño estructural de la parte. Al realizar el paso 106, se definen las zonas 72 de la parte 30 y se determina el número de capas por orientación en cada zona. A continuación, en el punto 108, se genera la información de estratificación, que comprende la determinación de las formas de las capas y una secuencia de apilamiento que se ajuste a un conjunto deseado de reglas de secuencia de apilamiento y de fabricabilidad. A continuación, en 110, se coloca la pila de laminado plano, tras lo cual, en 112, se conforma la pila de laminado plano en una parte recta que tenga una forma de sección transversal deseada, como mediante conformado por estampado u otros procesos descritos anteriormente. En 114, la parte laminada se forma con el contorno longitudinal deseado y, a continuación, se cura en 116. Como se ha mencionado anteriormente, los pasos 112 y 114 pueden realizarse simultáneamente cuando el conformado se lleva a cabo en una sola operación.

Las realizaciones de la divulgación pueden encontrar uso en diversas aplicaciones potenciales, particularmente en la industria del transporte, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales, marinas, automotrices y otras aplicaciones en las que puedan utilizarse miembros estructurales laminados, compuestos y contorneados. Por lo tanto, refiriéndonos ahora a las Figuras 18 y 19, las realizaciones de la divulgación pueden utilizarse en el contexto de un método de fabricación y servicio de aeronaves 118 como se muestra en la Figura 18, y una aeronave 120 como se muestra en la Figura 19. Las aplicaciones en aeronaves de las realizaciones divulgadas pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, largueros, larguerillos, vigas y miembros estructurales similares que estén contorneados a lo largo de un eje principal de carga. Durante la preproducción, el método ejemplar 118 puede incluir la especificación y el diseño 122 de la aeronave 120 y la adquisición de materiales 124. Durante la producción, se lleva a cabo la fabricación de componentes y subconjuntos 126 y la integración del sistema 128 de la aeronave 120. A partir de entonces, la aeronave 120 podrá pasar por la certificación y entrega 130 para ser puesta en servicio

132. Mientras esté en servicio por un cliente, la aeronave 120 está programada para el mantenimiento rutinario y el servicio 134, que también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación y y así sucesivamente.

5 Cada uno de los procesos del método 118 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). A los efectos de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una compañía de arrendamiento, una entidad militar, una organización de servicios, y así sucesivamente.

10 Como se muestra en la Figura 19, la aeronave 120 producida por el método ejemplar 118 puede incluir un fuselaje 136 con una pluralidad de sistemas 138 y un interior 1406. El fuselaje 136 puede incluir largueros, larguerillos, vigas y miembros estructurales similares 142 que tengan uno o más contornos. Ejemplos de sistemas de alto nivel 138 incluyen uno o más de un sistema de propulsión 144, un sistema eléctrico 146, un sistema hidráulico 148 y un sistema ambiental 150. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación pueden aplicarse a otras industrias, tales como las industrias marítima y automotriz.

20 En la presente, se pueden emplear sistemas y métodos durante una o más de las etapas del método de producción y servicio 118. Por ejemplo, los componentes o subensambles correspondiente al proceso de producción 126 pueden fabricarse o manufacturarse de una manera similar a los componentes o subensambles producidos mientras la aeronave 120 está en servicio. Asimismo, una o más realizaciones de aparato, realizaciones de método o una combinación de las mismas pueden utilizarse durante las etapas de producción 126 y 128, por ejemplo, acelerando sustancialmente el montaje o reduciendo el coste de una aeronave 120. Del mismo modo, una o más de las realizaciones del aparato, las realizaciones del método o una combinación de las mismas pueden utilizarse mientras la estructura de la aeronave 120 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para el mantenimiento y el servicio 134.

30 Como se usa en la presente, la frase "al menos uno de", cuando se usa con una lista de elementos, significa que se pueden usar diferentes combinaciones de uno o más de los elementos enumerados y sólo uno de cada uno de los elementos de la lista puede ser necesario. Por ejemplo, "al menos uno del elemento A, el elemento B y el elemento C" puede incluir, sin limitación, el elemento A, el elemento A y el elemento B o el elemento B. Este ejemplo también puede incluir el elemento A, el elemento B y el elemento C o el elemento B y el elemento C. El elemento puede ser un objeto, una cosa o una categoría en particular. En otras palabras, "al menos uno de" significa que se puede usar cualquier combinación de elementos y número de elementos de la lista, pero no todos los elementos de la lista son necesarios.

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar una parte laminada compuesta contorneada (30) que tenga una relación de aspecto alta, un eje principal de carga (40) y una pluralidad de zonas (72) a lo largo de su longitud (L) que tengan respectivamente las rigideces deseadas, que comprende:
 5 seleccionar un conjunto de ángulos de fibra ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) para las capas (44) de fibras unidireccionales de refuerzo (48), en donde ninguno de los ángulos de fibra es 0° con respecto al eje mayor de carga (40), en donde el conjunto de ángulos de las fibras incluye tres orientaciones de las fibras en ángulos desfasados ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) con respecto al eje principal de carga de $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, en donde $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq 90^\circ$, en donde $\theta_2 - \theta_1 \leq 45^\circ$, y $\theta_3 - \theta_2 \leq 45^\circ$;
 10 determinar, para cada uno de los ángulos de fibra ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$), un número de capas (44) en cada una de las zonas (72) necesario para proporcionar un conjunto deseado de propiedades de laminado en el plano en la zona (72);
 determinar una forma y una secuencia de apilamiento de las capas (44), en donde algunas de las capas (44) son continuas y otras capas son discontinuas a lo largo del eje mayor de carga (40), y en donde los ángulos desfasados ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) incluyen pares equilibrados de ángulos + y -;
 15 colocar las capas (44) en una pila plana (42) utilizando la secuencia de apilamiento; y
 formar la pila plana (42) con la forma de la parte laminada compuesta contorneada (30).
2. El método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque:
 20 determinar los ángulos de las fibras ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) incluye seleccionar una pluralidad de combinaciones posibles de ángulos de las fibras, y
 determinar un número de capas (44) en cada una de las zonas (72) necesario para proporcionar un conjunto deseado de propiedades de laminado en el plano en la zona (72) se lleva a cabo para cada una de las combinaciones posibles de ángulos ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$).
- 25 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde: la determinación de los ángulos de las fibras ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) incluye la eliminación de algunas de las posibles combinaciones de ángulos de las fibras utilizando un conjunto de reglas de diseño de laminados compuestos.
- 30 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde θ_1 se selecciona para que esté entre aproximadamente 5° y 30° .
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde: determinar el número de capas (44) en cada una de las zonas (72) incluye limitar el número de capas (44) a un valor distinto realizando una optimización entera
 35 distinta del grosor de las capas.
6. El método de la reivindicación 5, en donde la determinación del número de capas (44) en cada una de las zonas (72) incluye el filtrado de los resultados de la optimización entera del grosor distinto de las capas en función de una desviación permitida de las propiedades efectivas del laminado con respecto al conjunto deseado de propiedades del laminado en el plano.
- 40 7. Un rigidizador laminar compuesto (30) contorneado a lo largo de un eje principal de carga (40), que comprende: una pluralidad de capas laminadas (44) de fibras de refuerzo unidireccionales (48) mantenidas en una matriz plástica (50), en donde todas las capas (44) tienen orientaciones de fibra en ángulos desfasados ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) con respecto al eje principal de carga (40), en donde las capas (44) tienen tres orientaciones de fibra relativas al eje principal de carga de $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, y $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq 90^\circ$, en donde $\theta_2 - \theta_1 \leq 45^\circ$, y $\theta_3 - \theta_2 \leq 45^\circ$;
 45 en donde el rigidizador laminado compuesto (30) está desprovisto de capas de 0° ,
 en donde algunas de las capas (44) son continuas y otras discontinuas a lo largo del eje principal de carga (40), y en donde los ángulos desfasados ($\pm\theta_1, \pm\theta_2, \pm\theta_3$) incluyen pares equilibrados de ángulos + y -.
- 50 8. El rigidizador laminado compuesto (30) de la reivindicación 7, en donde θ_1 se encuentra entre aproximadamente 5° y 30° .
9. El rigidizador laminado compuesto (30) de cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, en donde la pluralidad de las capas (44) varían en número a lo largo del eje mayor de carga (40) y definen zonas (72) a lo largo del rigidizador laminado compuesto respectivamente (30) que tienen diferentes propiedades de rigidez.
- 55 10. El rigidizador laminado compuesto (30) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde el rigidizador laminado compuesto (30) es un larguerillo en forma de sombrero o un rigidizador que tiene una forma de sección transversal como una forma de Z, una forma de C, una forma de sombrero redondeado o una forma de I.
- 60 11. El rigidizador laminado compuesto (30) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde el rigidizador laminado compuesto (30) es un larguero o una viga de piso.
- 65 12. El rigidizador laminado compuesto (30) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde el rigidizador (30) tiene una sección en forma de sombrero (32) definida por una tapa (36) y un par de nervios (38).

13. El rigidizador laminado compuesto (30) de la reivindicación 12, en donde los nervios (38) conectan la tapa (36) con un par de bridas (34) que se extienden hacia el exterior.
- 5 14. El rigidizador laminado compuesto (30) de la reivindicación 13, en donde el rigidizador (30) tiene una longitud que es significativamente mayor que su anchura, y por lo tanto tiene una alta relación de aspecto.

DIBUJOS

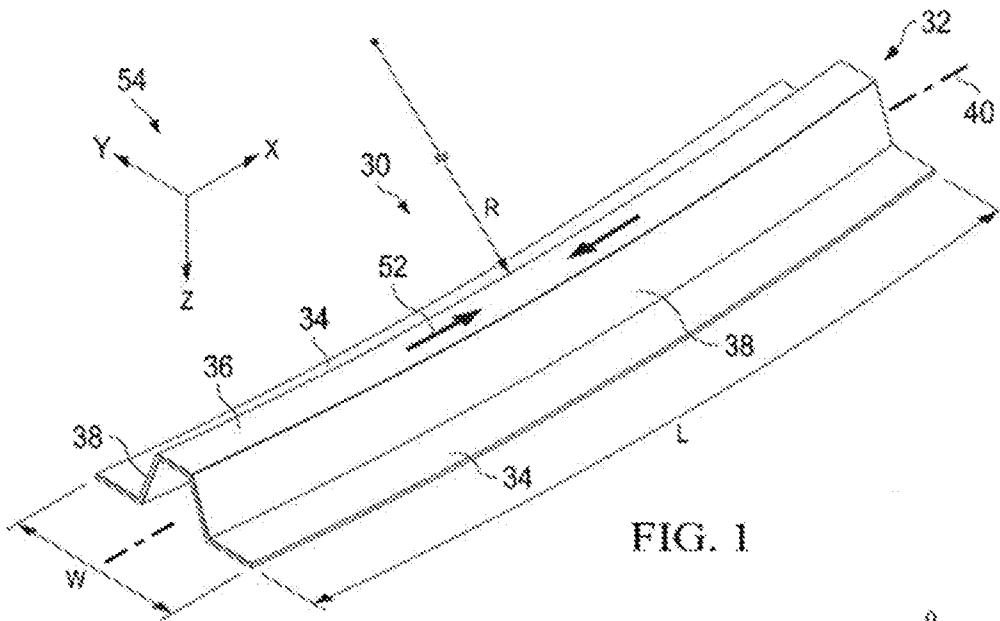


FIG. 1

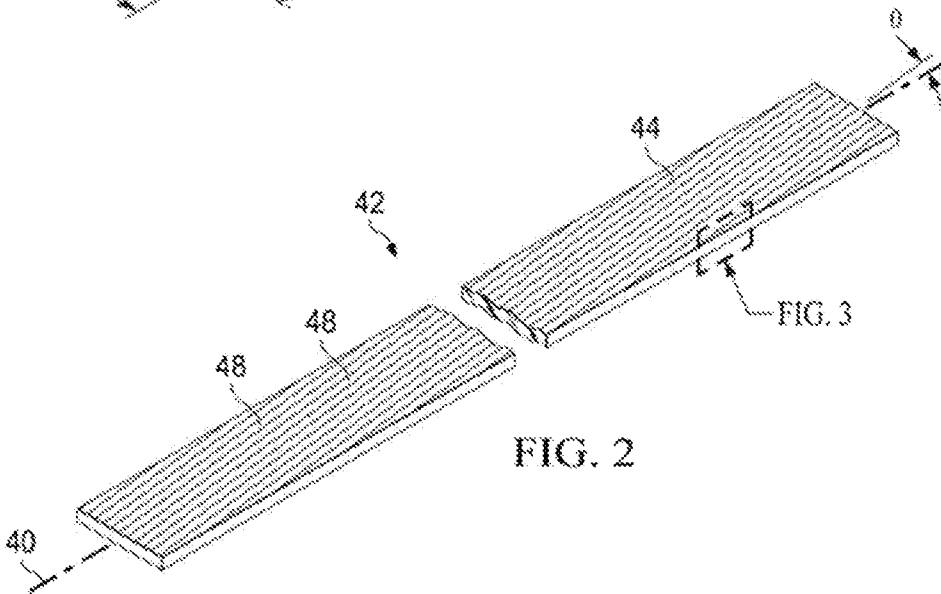


FIG. 2

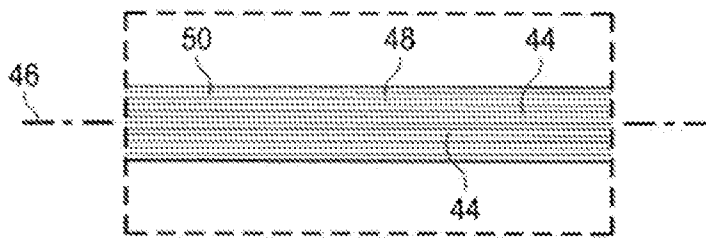
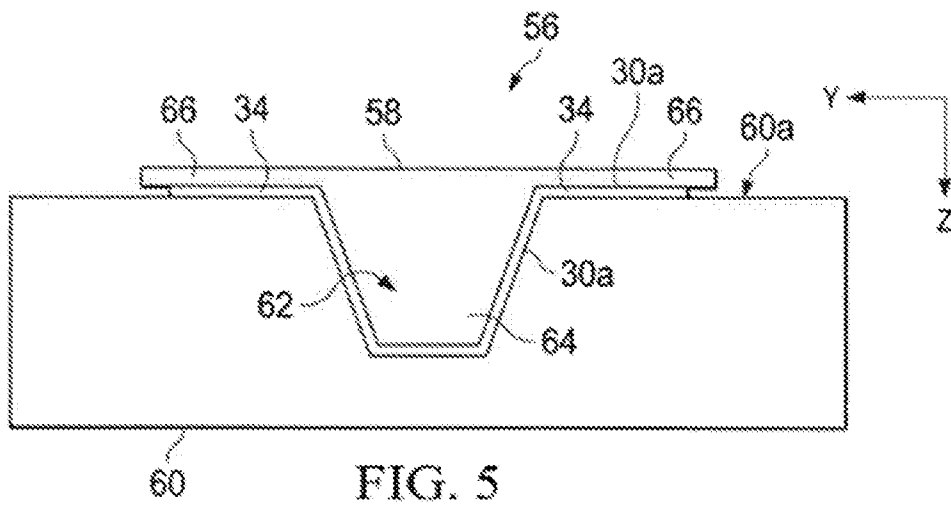
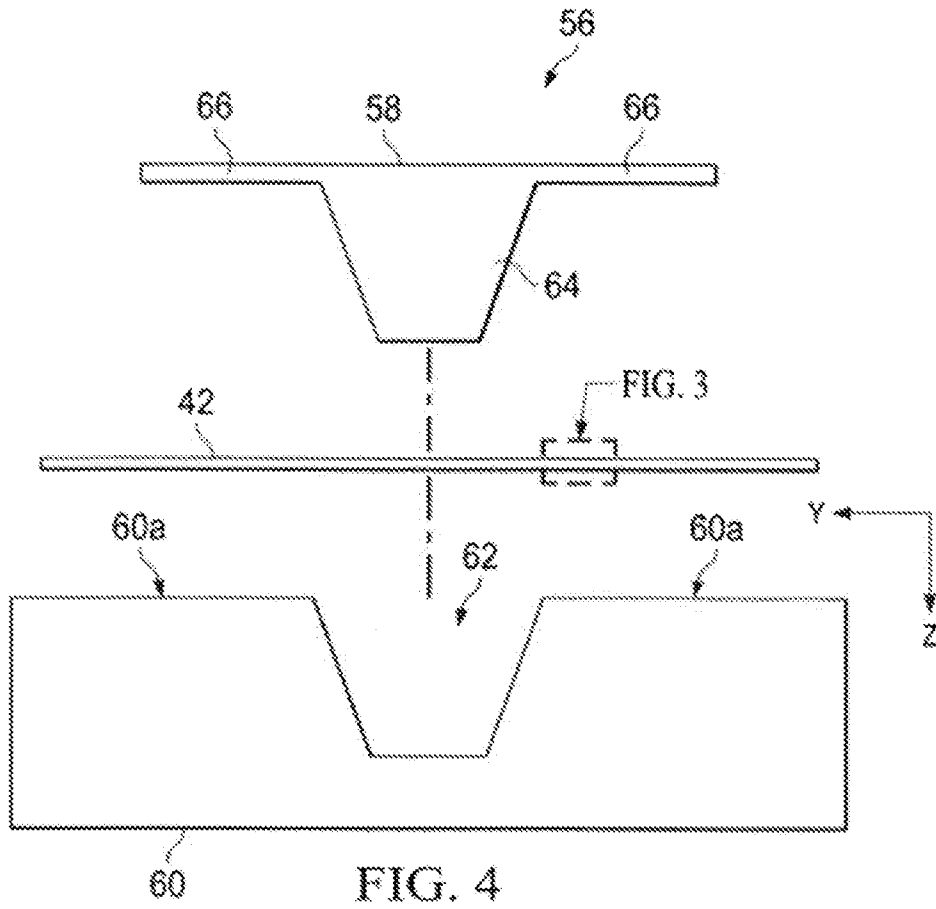


FIG. 3



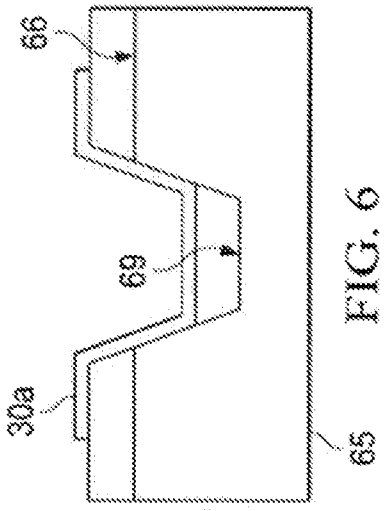


FIG. 6

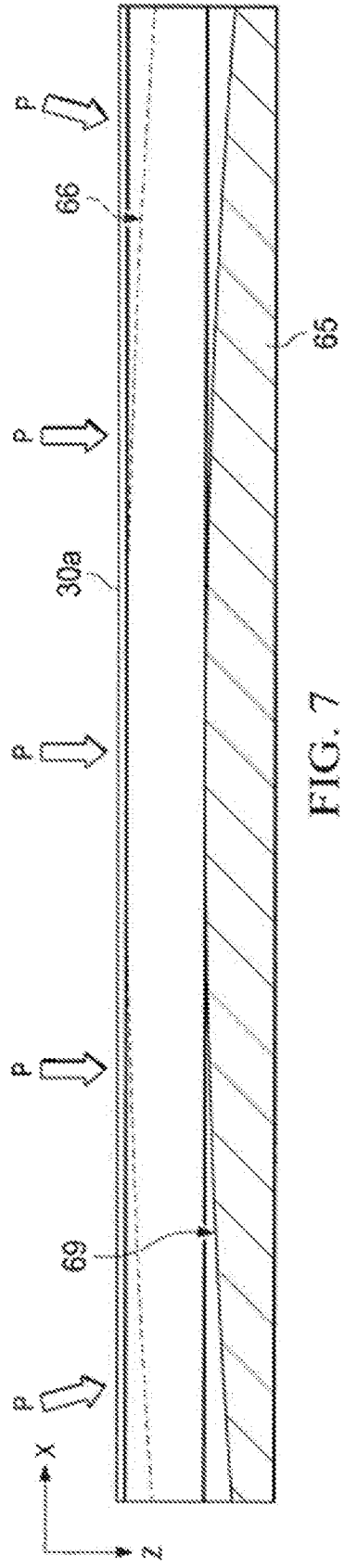
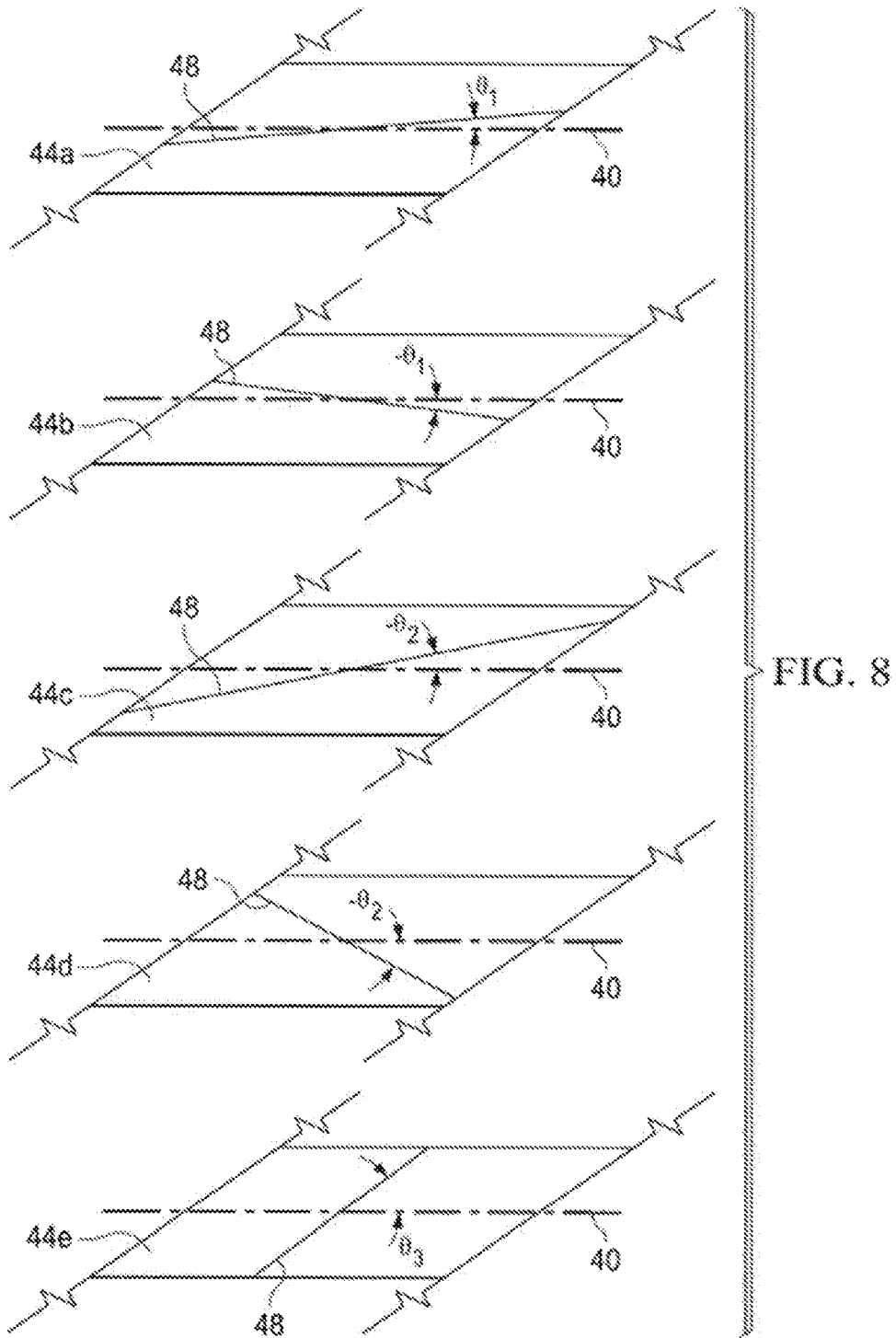
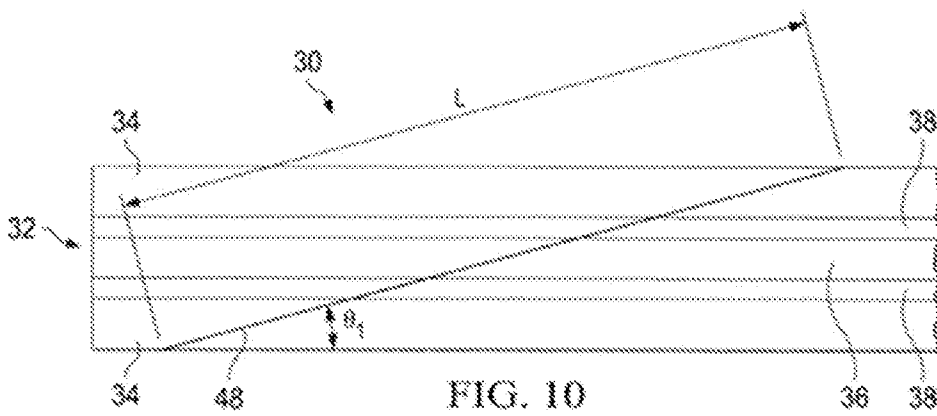
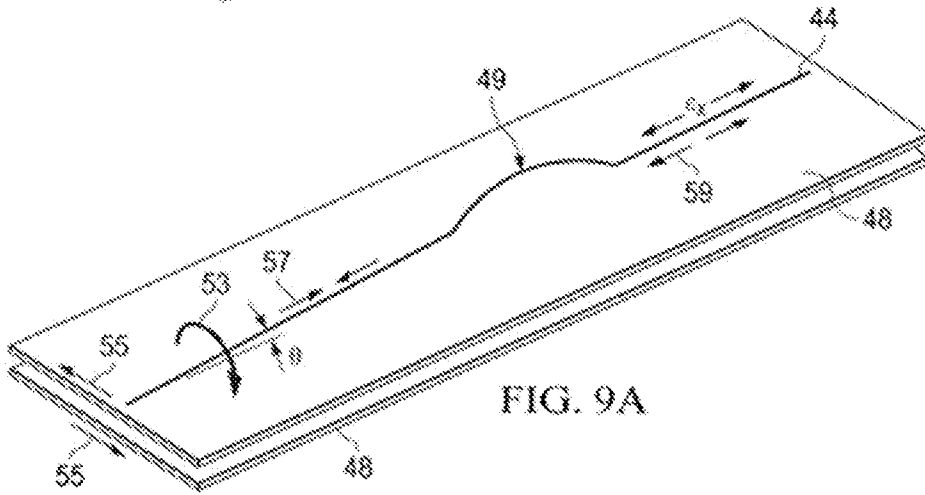
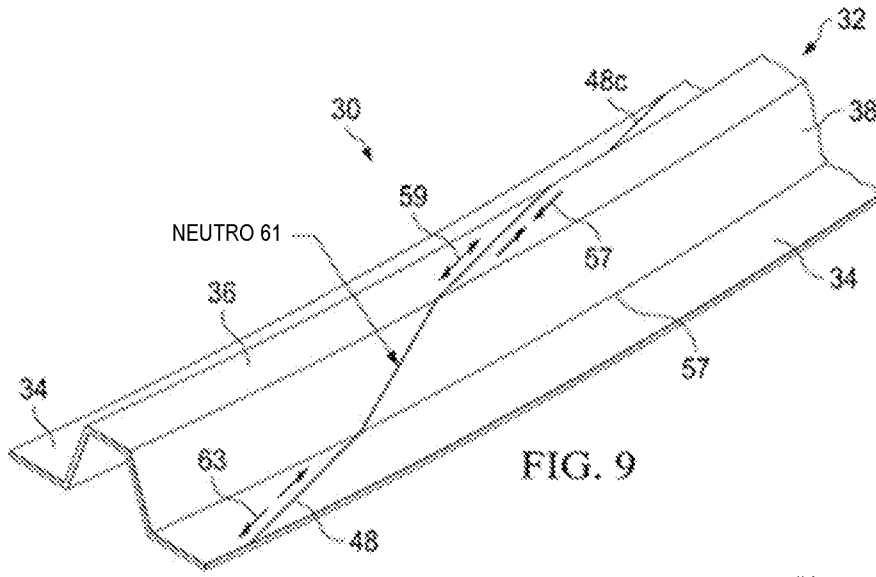


FIG. 7





68

44

74

CAPA	ÁNGULOS
1	45
2	90
3	-45
4	0
5	45
6	0
7	0
8	-45
9	0
10	0
11	45
12	-45
13	0
14	0
15	-45
16	45
17	0
18	0
19	-45
20	0
21	0
22	45
23	0
24	-45
25	90
26	45

FIG. 11A

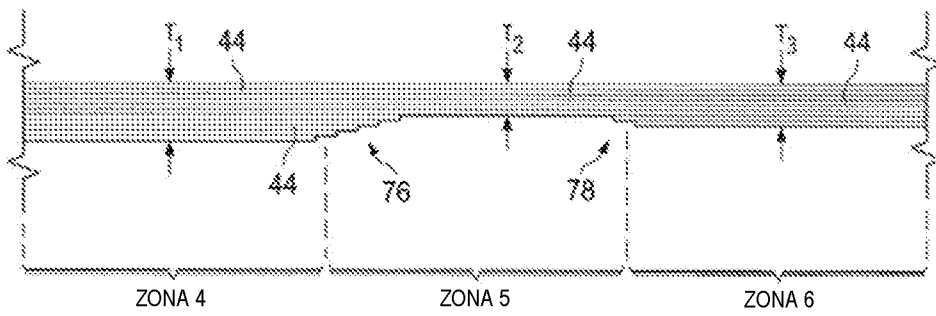
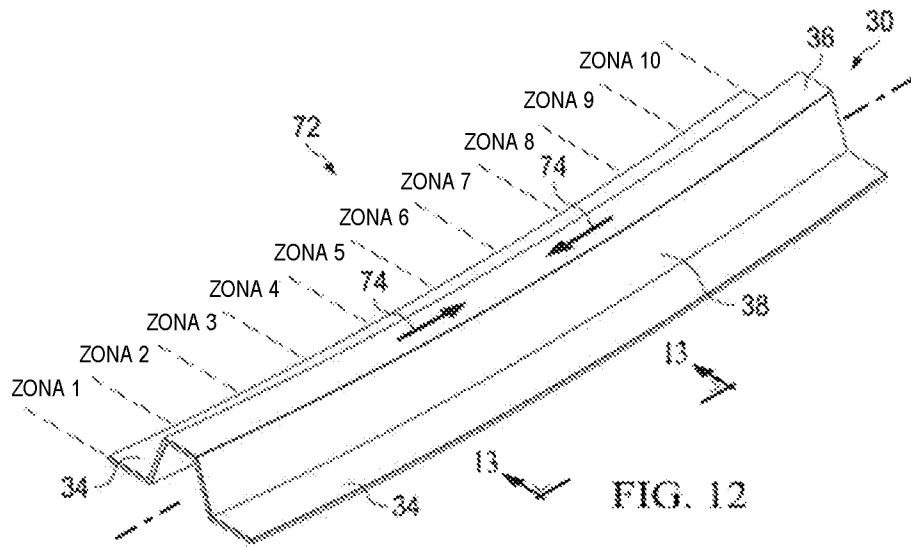
44

74

70

CAPA	ÁNGULOS
1	64
2	-20
3	-64
4	29
5	20
6	20
7	90
8	-29
9	-20
10	20
11	20
12	-20
13	-20
14	-20
15	-20
16	20
17	20
18	-20
19	-29
20	90
21	20
22	20
23	29
24	-64
25	-20
26	64

FIG. 11B



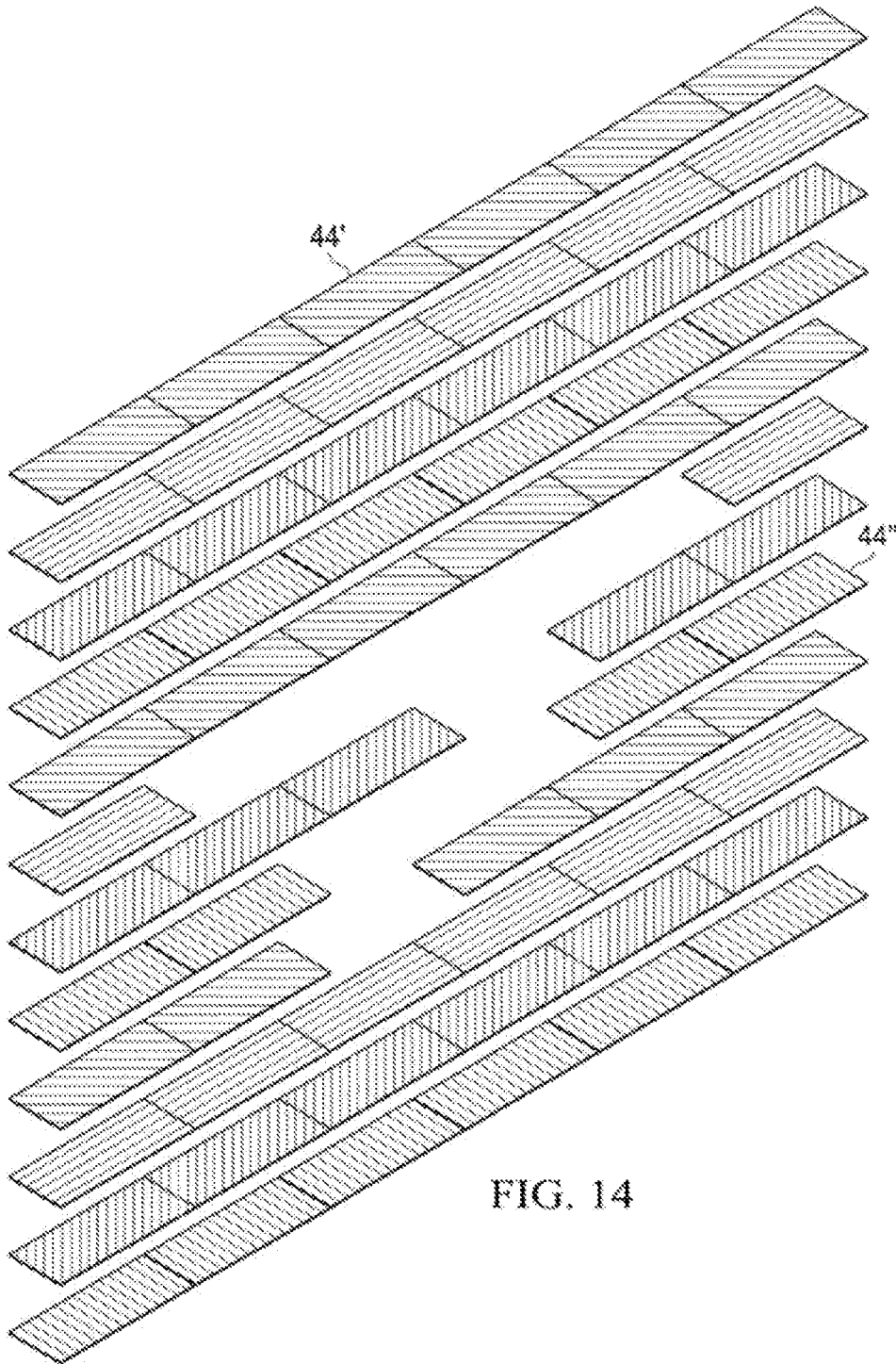


FIG. 14

72

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8	ZONA 9	ZONA 10
SECUENCIA 1	80	90	90	90	90	90	90	90	90	90
SECUENCIA 2		54	54						54	54
SECUENCIA 3	20	20	20	20	20	20				
SECUENCIA 4		-54	-54						-54	-54
SECUENCIA 5	-20	-20	-20	-20	-20	-20				
SECUENCIA 6	54	54	54	54	54	54	54			
SECUENCIA 7	-20					-20	-20	-20	-20	-20
SECUENCIA 8	-54	-54					-54	-54	-54	
SECUENCIA 9	20					20	20	20	20	20
SECUENCIA 10	54	54					54	54	54	
SECUENCIA 11	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-54			
SECUENCIA 12	54	54	54	54						
SECUENCIA 13	20	20	20	20	20	20				
SECUENCIA 14	-54	-54	-54	-54						
SECUENCIA 15	-20	-20	-20	-20	-20	-20				
SECUENCIA 16	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-54
SECUENCIA 17	90		90	90	90	90				
SECUENCIA 18	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54

82

FIG. 15



FIG. 16

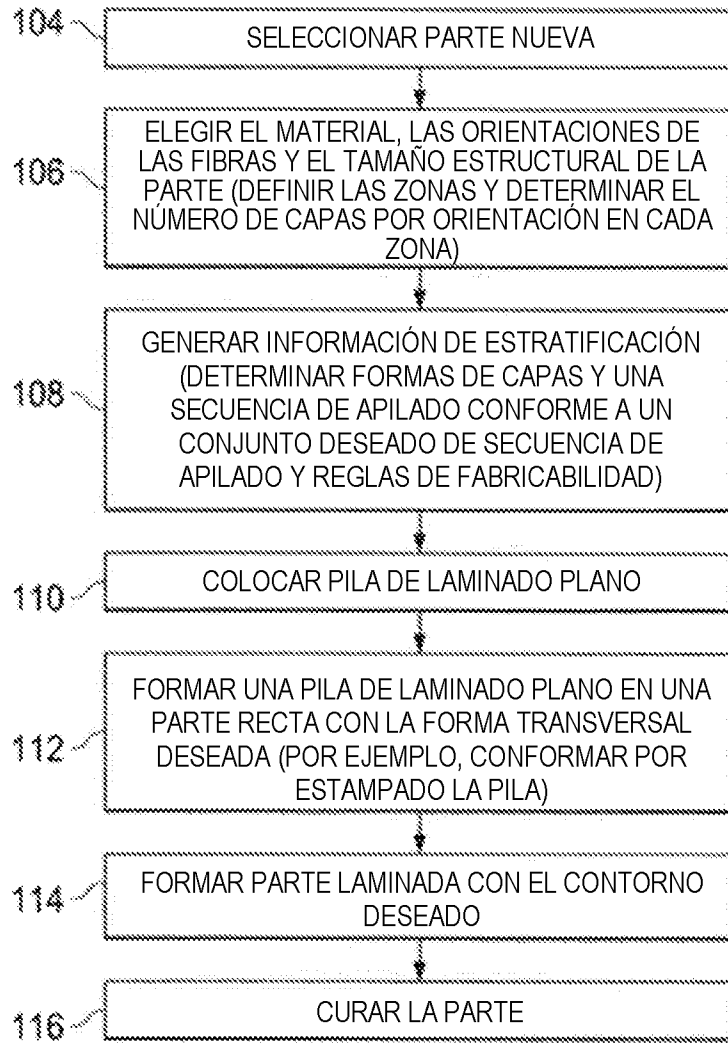


FIG. 17

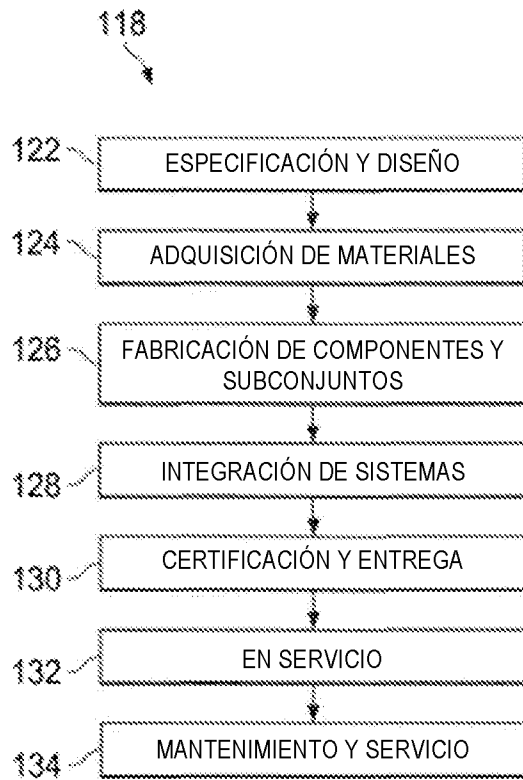


FIG. 18

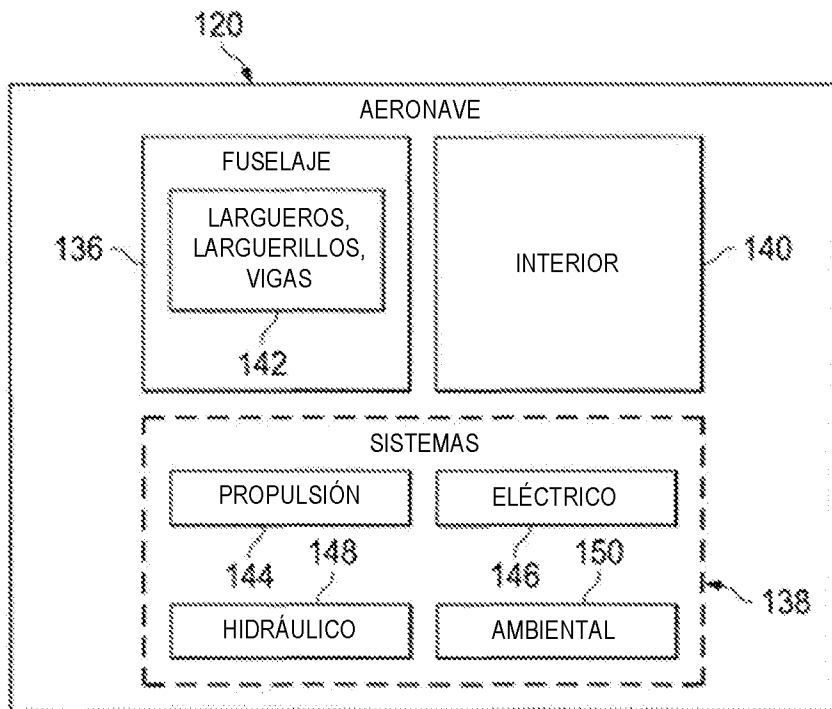


FIG. 19