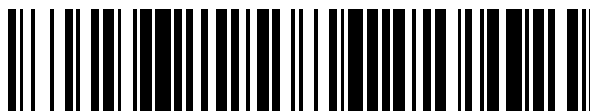


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 355**

51 Int. Cl.:

B29C 70/20 (2006.01)
B29L 31/00 (2006.01)
B29L 31/30 (2006.01)
B29C 70/44 (2006.01)
B29C 70/38 (2006.01)
B29C 70/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2011** **PCT/US2011/066763**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.08.2012** **WO12102810**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2011** **E 11808806 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019** **EP 2668023**

54 Título: **Método para producir estructuras de material compuesto contorneadas**

30 Prioridad:

25.01.2011 US 201113013097

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
05.05.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GUZMAN, JUAN CARLOS;
MCCARVILLE, DOUGLAS ALAN;
SWEETIN, JOSEPH L. y
MESSINGER, ROSS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 758 355 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

Método para producir estructuras de material compuesto contorneadas

Campo técnico

- 5 La presente divulgación se refiere, en general, a técnicas para la fabricación de piezas de material compuesto y versa, más particularmente, sobre un método para la producción de estructuras de material compuesto de coordenadas no cartesianas altamente contorneadas que usa una cinta de material compuesto preimpregnado unidireccional y un equipo de colocación de cinta automatizado.

Antecedentes

- 10 Las estructuras de material compuesto de múltiples patas y altamente contorneadas se pueden usar en una diversidad de aplicaciones, tales como en vehículos aeroespaciales. Los armazones, los largueros, las costillas, los larguerillos y estructuras similares de los vehículos aeroespaciales pueden tener múltiples patas que estén contorneados a lo largo de la longitud de la estructura. Una técnica conocida para la fabricación de tales estructuras implica la formación por drapeado en caliente de una carga de material compuesto plana sobre múltiples herramientas contorneadas con el fin de formar uno o más patas curvadas en la estructura. Una carga típicamente comprende múltiples hojas de fibra de material preimpregnado unidireccional superpuesta de acuerdo con un programa de hojas predeterminado. Sin embargo, se puede encontrar dificultad cuando se intenta formar por drapeado en caliente cargas planas que contienen hojas de cero grados, es decir, hojas que tienen una orientación de fibra que está alineada sustancialmente en paralelo con el eje de curvatura de la estructura. Esta dificultad proviene del hecho de que cuando se usan fibras de cero grados que son sustancialmente inextensibles, tales como fibras de carbono, las fibras no pueden experimentar un cambio de geometría, es decir, un agrupamiento, un estiramiento o una extensión durante el proceso de formación. En consecuencia, las fibras de cero grados no se pueden mover de un plano a otro plano diferente que posea una longitud de arco sustancialmente diferente. Si la pata es demasiado cóncava, las fibras se pueden arrugar, mientras que, si la pata es demasiado cóncava, las fibras se pueden bloquear en su lugar y resistir presiones de formación fuera del plano.

- 25 A fin de superar el problema mencionado anteriormente, las hojas de cero grados se colocan manualmente sobre la carga después de que las hojas distintas de cero se hayan formado en patas curvadas. La necesidad de colocar las hojas de cero grados sobre una pata después de que esta se haya formado por drapeado se debe repetir cada vez que se requiera una hoja de cero grados en el programa de superposición. Estas múltiples operaciones aumentan los costes, complican el herramental, pueden aumentar los requisitos de espacio de superficie y pueden afectar de manera negativa a los tiempos de flujo de fabricación. Por ejemplo, véase el documento WO2009/129007.

- 30 Otra desventaja de las técnicas conocidas para la formación de estructuras de material compuesto altamente contorneadas que tienen múltiples patas se relaciona con la necesidad de formar cada una de las patas en una operación de formación separada usando diferentes juegos de herramientas. La formación de las patas de la estructura usando diferentes juegos de herramientas también puede contribuir a costes superiores y tiempos de flujo de producción mayores.

- 35 Por consiguiente, existe la necesidad de un método para la producción de estructuras de material compuesto contorneadas que tengan una o más patas que reduzca el número de operaciones requeridas para formar las patas, evitando al mismo tiempo el agrupamiento o la formación de arrugas de las hojas de cero grados durante la formación. También existe la necesidad de un aparato para la formación de tales estructuras que permita la formación de dos patas curvadas sobre la estructura usando una sola herramienta en una sola operación de formación.

- 40 El documento EP 2 233 625 A se refiere a un sustrato de fibra de refuerzo curvado caracterizado por tener una forma plana curvada y por comprender hilos de fibra de refuerzo dispuestos en paralelo con una dirección a lo largo de una dirección circunferencial de la forma curvada e hilos de trama auxiliares dispuestos en direcciones que cruzan una pluralidad de los hilos de fibra de refuerzo dispuestos, cada uno, en una dirección de la dirección circunferencial; un producto con capas de fibra de refuerzo curvado que usa el sustrato; una preforma; un material compuesto reforzado; y procesos para la producción de los mismos. Estos se pueden proporcionar como: un sustrato de fibra de refuerzo curvado a lo largo de la dirección longitudinal y dispuesto con fibras de refuerzo a lo largo de la forma curvada en una formación deseable; un producto con capas de fibra de refuerzo curvado en capas con al menos una capa del sustrato de fibra de refuerzo y un proceso para la producción del producto con capas de manera eficaz en poco tiempo; una preforma que usa el producto con capas y un proceso para la formación de la preforma de manera eficaz; y un material compuesto reforzado con fibra curvado de larga extensión y un proceso para la producción del mismo.

Sumario

La presente invención proporciona un método para la fabricación de una estructura de material compuesto

contorneada de acuerdo con la reivindicación 1.

Se proporciona un método para la fabricación de estructuras de material compuesto altamente contorneadas que tienen una o más patas curvadas, que usa materiales compuestos unidireccionales, tales como cinta de fibra de material preimpregnado. Los segmentos de cinta de ancho constante se colocan y alinean para mantener una orientación de fibra polar durante la fabricación de estructuras de material compuesto altamente curvadas y de múltiples patas, tales como armazones, largueros, costillas y larguerillos, por nombrar solo algunos. El método desvelado puede eliminar la necesidad de colocar por separado hojas de cero grados sobre las patas después de que se hayan formado por drapeado. Las cargas de material compuesto planas que contienen hojas de cero grados se pueden formar por drapeado en caliente en tensión sobre una o más superficies de herramienta contorneadas de una sola herramienta para formar patas curvadas sin formación de arrugas sustancial u otra distorsión de la fibra. El aparato desvelado comprende una herramienta que se puede usar para formar por drapeado dos patas curvadas de la estructura en una sola operación de formación.

Un método para la fabricación de una estructura de material compuesto contorneada que tiene un eje de curvatura y al menos una pata curvada comprende superponer una pila plana de hojas de fibra de material preimpregnado, teniendo cada una orientaciones de fibra distintas de cero grados con respecto al eje de curvatura, superponer una hoja de fibra de material preimpregnado sobre la pila que tiene una orientación de fibra de cero grados, incluyendo colocar estopas de material preimpregnado en segmentos sobre una parte de la pila y colocar estopas continuas de material preimpregnado de fibra sobre la pila adyacente a la parte que tiene las estopas colocadas en segmentos y formar la pila, incluyendo la hoja de cero grados, en una banda y una pata curvada mediante la formación de la parte de la pila que tiene los segmentos de estopa sobre una herramienta curvada.

Otras características, beneficios y ventajas de las realizaciones desveladas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción de las realizaciones, cuando se observa de acuerdo con los dibujos adjuntos y las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de las ilustraciones

La FIG. 1 es una ilustración en perspectiva de una sección de barril de un fuselaje de aeronave.

La FIG. 2 es una ilustración en perspectiva de una sección de armazón de material compuesto altamente contorneada usada en el fuselaje mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 3 es una ilustración en sección tomada a lo largo de la línea 3-3 en la FIG. 1.

La FIG. 4 es una ilustración en sección que muestra una acumulación de hojas para la sección de armazón mostrada en la FIG. 2.

La FIG. 5 es una ilustración en perspectiva de una pila de hojas plana usada en la fabricación de la sección de armazón mostrada en la FIG. 2.

La FIG. 6 es una ilustración en perspectiva de una máquina robótica de AFP usada para colocar la pila de hojas.

La FIG. 7 es una ilustración en perspectiva de una máquina de AFP usada como desviador de extremo en el robot mostrado en la FIG. 6.

La FIG. 8 es una ilustración esquemática que muestra los sistemas de coordenadas polares y cartesianas usados para definir orientaciones de hojas en la sección de armazón de la FIG. 2.

La FIG. 9 es una ilustración en planta de una hoja que contiene fibras orientadas en 0 grados.

La FIG. 10 es una ilustración esquemática que ilustra hojas que contienen, respectivamente, fibras orientadas en 45 y 90 grados y que ilustra el uso de cuñas de estopa y cinta.

La FIG. 11 es una ilustración en perspectiva de una pila plana de hojas.

La FIG. 12 es una ilustración en perspectiva similar a la FIG. 11, pero que muestra cortes que se han formado a lo largo de un borde de la pila de hojas.

La FIG. 13 es una ilustración en sección transversal que muestra un aparato de formación por drapeado usado para formar por drapeado una cuerda interna de la sección de armazón.

La FIG. 14 es una ilustración en perspectiva de una pila de hojas plana posicionada sobre un mandril de formación que comprende parte del aparato de formación por drapeado de la FIG. 13.

La FIG. 15 es una ilustración similar a la FIG. 14, pero que muestra la cuerda interna que se ha formado por completo alrededor del mandril de formación.

- 5 La FIG. 16 es una ilustración en perspectiva del aparato de formación por drapeado con una membrana flexible girada a una posición abierta.

La FIG. 17 es una ilustración similar a la FIG. 16, pero que muestra la membrana flexible que se ha cerrado y estirado alrededor del conjunto de herramienta.

- 10 La FIG. 18 es una ilustración en sección de un aparato de formación por drapeado en caliente para la formación por drapeado de la cuerda externa de la sección de armazón.

La FIG. 19 es una ilustración en perspectiva del aparato de formación por drapeado en caliente mostrado en la FIG. 18.

- 15 La FIG. 20 es una ilustración en perspectiva de un mandril de formación/curado que comprende parte del conjunto de herramienta de formación por drapeado de la FIG. 18 y que representa la sección de armazón parcialmente formada posicionada sobre el mismo.

La FIG. 21 es una ilustración similar a la FIG. 20, pero que muestra la cuerda externa que se ha formado por completo sobre el mandril de formación/curado.

La FIG. 22 es una ilustración en sección de un conjunto de bolsa de mandril de formación/curado usado para el curado de la sección de armazón.

- 20 La FIG. 23 es un diagrama de flujo que ilustra un método para la fabricación de estructuras de material compuesto continuas y contorneadas.

La FIG. 24 ilustra geometrías en sección transversal de estructuras de material compuesto continuas que se pueden formar de acuerdo con las realizaciones desveladas.

- 25 La FIG. 25 ilustra una vista en planta de segmentos de cinta que se colocan sobre un sustrato en relación con su alineación en un sistema de coordenadas polares.

La FIG. 26 es una ilustración ampliada del área designada como "A" en la FIG. 25.

La FIG. 27 es una ilustración de vista en planta de un solo segmento de cinta que muestra un corte de extremo alternativo.

La FIG. 28 es una ilustración en perspectiva de una máquina de colocación de cinta automática.

- 30 La FIG. 29 ilustra un diagrama de flujo de un método para la fabricación de una estructura de material compuesto contorneada que usa segmentos de cinta de ancho constante.

La FIG. 30 es una ilustración de una carga de material compuesto plana que tiene una hoja de cero grados, antes de la formación.

- 35 La FIG. 31 es una ilustración de una vista en planta de una parte de una hoja de cero grados que ilustra una técnica para el escalonamiento de los segmentos de estopa.

La FIG. 32 es una ilustración similar a la FIG. 31, pero que muestra una técnica alternativa para el escalonamiento de los dos segmentos.

La FIG. 33 es una ilustración de una vista en perspectiva de una herramienta de formación que tiene una hoja de cero grados curvada colocada sobre la misma.

- 40 La FIG. 34 es una ilustración similar a la FIG. 33, pero que muestra una parte de la hoja que se ha formado sobre una superficie cóncava de la herramienta para producir una pata curvada.

La FIG. 35 es una ilustración del área designada como FIG. 35 en la FIG. 34, que muestra segmentos de estopa de longitud variable en la pata formada.

La FIG. 36 es una ilustración similar a la FIG. 35, pero que muestra huecos de ancho variable entre los segmentos de estopa.

- 5 La FIG. 37 es una ilustración de una vista en perspectiva de una herramienta de formación que tiene una hoja curvada y de cero grados colocada sobre la misma en la preparación de la formación de una parte de la hoja sobre una superficie convexa de la herramienta.

La FIG. 38 es una ilustración similar a la FIG. 37, pero que muestra la hoja que se ha formado sobre la superficie convexa de la herramienta.

- 10 Las FIG. 39A y 39B son ilustraciones de vistas en planta de una parte de pata interna de una hoja de cero grados, que muestran la manera en que las juntas a tope entre los segmentos de estopa se separan por estiramiento para formar huecos entre los segmentos de estopa durante la formación.

- 15 Las FIG. 40A y 40B son ilustraciones similares a las FIG. 39a y 39b, pero que muestran otra estrategia de segmentación para una parte de pata interna de una hoja de cero grados. Las FIG. 40C y 40D son ilustraciones de vistas en planta de una parte de pata externa de una hoja de cero grados, que muestran la manera en que los segmentos de estopa separados por espaciado de una hoja de cero grados se mueven entre sí.

La FIG. 41 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para la formación de una estructura de material compuesto contorneada que tiene al menos una curvatura usando una carga plana que incluye una hoja de cero grados.

- 20 La FIG. 42 es una ilustración de una vista en perspectiva de un aparato para la formación de una estructura de material compuesto contorneada que tiene dos patas curvadas, la carga de material compuesto no se muestra.

La FIG. 43 es una ilustración similar a la FIG. 42, pero que muestra una carga de material compuesto plana que se ha estabilizado en la herramienta en la preparación para la formación.

- 25 La FIG. 44 es una ilustración similar a la FIG. 43, pero que muestra una pata curvada sobre la estructura que se ha formado, habiéndose retirado dos de los aparatos auxiliares de formación para mayor claridad.

La FIG. 45 es una ilustración de una vista en perspectiva del aparato mostrado en las FIG. 42-44, en la que la bolsa de vacío se cierra sobre la herramienta en la preparación para la formación de una parte de la carga en la segunda pata curvada.

- 30 La FIG. 46 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para la formación de una estructura de material compuesto contorneada que tiene dos patas curvadas que usa el aparato mostrado en las FIG. 42-45.

La FIG. 47 es una ilustración de una vista en perspectiva de un aparato alternativo para la formación de una carga de material compuesto plana en una estructura de material compuesto contorneada que tiene dos patas curvadas.

La FIG. 48 es una ilustración de una vista en planta del aparato mostrado en la FIG. 47.

La FIG. 49 es una ilustración de una vista en sección tomada a lo largo de la línea 49-49 en la FIG. 47.

- 35 La FIG. 50 es una ilustración similar a la FIG. 49, pero que muestra los conjuntos de herramienta superior e inferior que se han cerrado para sujetar una carga de material compuesto plana en la preparación para una operación de formación.

La FIG. 51 es una ilustración similar a la FIG. 50, pero que muestra las patas curvadas que se han formado.

- 40 La FIG. 52 es un diagrama de flujo de un método para la fabricación de una estructura de material compuesto contorneada que tiene dos patas curvadas, que usa el aparato mostrado en las FIG. 47-51.

La FIG. 53 ilustra un diagrama de flujo de la producción de aeronaves y metodología de servicio.

La FIG. 54 ilustra un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada

Con referencia, en primer lugar, a las FIG. 1-3, una sección de fuselaje 30 en forma de barril comprende un recubrimiento 34 externo formado sobre y fijado a una estructura 32 de armazón. La estructura 32 de armazón comprende una pluralidad de armazones 32a de barril espaciados longitudinalmente y de larguerillos 32b que se extienden longitudinalmente que pasan a través de los armazones 32a de barril. Cada uno de los armazones 32a de barril puede comprender elementos de material compuesto curvados o contorneados que pueden tener la forma de múltiples secciones de armazón 36 curvadas que se empalman entre sí usando cualquier medio adecuado, tal como, pero sin limitación, placas de empalme (no mostradas) y fijadores (no mostrados). Sin embargo, en algunas aplicaciones, pueden resultar posibles las secciones de armazón completo y de medio armazón curvadas (no mostradas). En este caso, se debe señalar que las secciones de armazón 36 curvadas son meramente ilustrativas de una amplia gama de elementos de material compuesto curvados o contorneados que se pueden fabricar mediante el método y el aparato de divulgación.

Tal como se observa mejor en la FIG. 3, cada una de las secciones de armazón 36, a veces también denominadas en lo sucesivo en el presente documento elemento de material compuesto curvado o contorneado, puede tener una sección transversal generalmente en forma de Z y puede incluir una cuerda externa 38 curvada conectada a una cuerda interna 40 curvada mediante una banda 42 curvada. Las cuerdas externa e interna 38, 40, cuando se observan en sección transversal (FIG. 3), forman, de manera eficaz, "patas" que se extienden a través de la banda 42. Por tanto, tal como se usa en el presente documento, los términos "pata" y "patas" se refieren a una o más características estructurales, tales como, sin limitación, tapas o bridas que se extienden a través de otras características de una estructura contorneada, tales como, sin limitación, una banda. La banda 42 puede incluir una almohadilla 44 de refuerzo opcional. La cuerda externa 38 forma una unión de cizalla a la que el recubrimiento 34 se puede acoplar y/o fijar. La cuerda externa 38, así como un borde de la banda 42, puede incluir una pluralidad de cortes 53 en forma de ratonera separados por espaciado a través de los que se extienden los larguerillos 32b. Tal como se analizará a continuación, la sección de armazón 36 está formada por hojas laminadas de una resina sintética reforzada con fibra, tal como fibra de carbono epoxi. Tal como se muestra en la FIG. 4, la sección de armazón 36 puede incluir una acumulación de hojas que comprende hojas completas 46 y hojas parciales 48 que están dispuestas y orientadas para proporcionar el máximo rendimiento estructural al tiempo que facilitan el uso de un método de fabricación analizado posteriormente que es tanto eficaz como repetible.

Con referencia ahora a las FIG. 5-7, una máquina de AFP 58 se puede usar como efector de extremo en un robot 60 para superponer estopas de fibra o tiras de cinta de material preimpregnado de fibra para formar una pila 50 de hojas plana, a veces también denominada en el presente documento carga 50 plana. La máquina de AFP 58 puede incluir peines 64 que reciben estopas 62 de material preimpregnado entrantes que pasan a través de una máquina de formación de cinta 66 antes de que se corten mediante un cortador 68 de estopa. Las estopas 72 cortadas pasan por debajo de un rodillo 70 compatible que aplica y compacta las estopas 62 sobre un sustrato (no mostrado) o una capa de hojas subyacente (no mostrada). Tal como se observa mejor en la FIG. 5, la máquina de AFP 58 se puede usar para depositar estopas 62 de fibra o cintas en las que las fibras están orientadas en ángulos preseleccionados en un sistema de coordenadas cartesianas 47. En el ejemplo ilustrado, la pila 50 de hojas incluye estopas 52 de fibra orientadas en 0 grados, estopas 56 de fibra orientadas en +45 grados y estopas 54 de fibra orientadas en -45 grados. Las estopas de fibra orientadas en 90 grados no se muestran, pero están embebidas en la pila 50 de hojas.

La FIG. 8 ilustra mejor la relación entre la orientación de un sistema de coordenadas cartesianas 47 en el que las estopas de fibra unidireccional o cintas se depositan en una pila 50 de hojas y un sistema de coordenadas polares que define el contorno de la sección de armazón 36. El contorno de la sección de armazón 36, designado con el número 37, se puede definir mediante una coordenada radial "r" que se origina a partir de un polo 39 y que forma un ángulo polar θ con respecto a una coordenada de referencia indicada por 0 grados. Por tanto, cada característica contorneada por la sección de armazón 36 se puede definir mediante un valor "r" (coordenada radial) en un ángulo θ . En este caso, se debe señalar que, aunque la sección de armazón 36 ilustrada tiene un radio constante (curvatura) y la banda 42 tiene un calibre constante (espesor), la curvatura de la sección de armazón 36, el calibre de la banda 42, el calibre de la cuerda interna 40 y el calibre de la cuerda externa 38 pueden ser, cada uno, variables a lo largo de la longitud de la sección de armazón 36.

En el ejemplo ilustrado, la pila 50 de hojas está formada por múltiples hojas 52 en las que las fibras de material preimpregnado unidireccionales están orientadas dentro de un sistema de coordenadas cartesianas 47 que está alineado de manera tangencial con la coordenada radial "r". Tal como se analizará a continuación con más detalle, en el ejemplo ilustrado, se emplean orientaciones de fibra de 0 grados, -45 grados, +45 grados y +90 grados, sin embargo, resultan posibles otras orientaciones angulares, dependiendo de una diversidad de factores, incluyendo la aplicación particular y la geometría de la sección de armazón 36.

A continuación, se dirige la atención a las FIG. 9-12, que ilustran la orientación de fibra en varias hojas de una pila 50 de hojas plana. La FIG. 9 ilustra una hoja 52 en la que las estopas o tiras de cinta se depositan mediante la máquina de AFP 58 con una orientación de 0 grados, extendiendo toda la longitud de la sección de armazón 36. Tal como se usa en el presente documento, la "cinta" se refiere a fibras unidireccionales preimpregnadas y las "estopas" pueden comprender cinta que se corta a lo largo de su longitud en bandas estrechas que pueden ser, por ejemplo y sin limitación, de 0,318, 0,635 o 1,27 cm (0,125, 0,25 o 0,5 pulgadas) de ancho. Una "trayectoria" se refiere a las estopas

aplicadas como una banda mediante la máquina de AFP 58. Las "caídas" se refieren a la máquina de AFP 58 que interrumpe una o más estopas y pueden comprender la distancia entre estopas o cintas adyacentes. Una zona convergente de corte/adición significa que una trayectoria termina en una trayectoria de orientación diferente dentro de la misma hoja, creando de este modo áreas de huecos y solapamientos.

- 5 Las hojas 52 de 0 grados se pueden formar mediante el uso de la máquina de AFP 58 para "dirigir" la deposición de la cinta cortada en la que la capacidad de conformación y las caídas determinan el ancho de la hoja 52. Una hoja 52 completa se ilustra en la FIG. 9, sin embargo, también resulta posible una hoja parcial o una hoja con caídas. Las secciones de la hoja 52 que posteriormente se formarán en la cuerda externa, la cuerda interna y la banda se designan, respectivamente, con los números 38, 40 y 42. En este caso, se debe señalar que, en algunas aplicaciones, las hojas
10 que forman la cuerda externa 38 se pueden formar usando una banda separada de estopas o una capa de cinta que se corta previamente al ancho y se coloca sobre el herramental analizado posteriormente, en lugar de depositarse usando la máquina de AFP 58.

- 15 Las hojas que contienen estopas o cintas orientadas en ángulos distintos de 0 grados están formadas por grupos o segmentos 55, 74 uno al lado del otro de las estopas/cintas, que cada una tiene una forma de cuña afilada. Los segmentos 55, 74 se pueden formar usando la cinta con un ángulo de subida y margen de caída que determina los lados. Por ejemplo, la FIG. 10 ilustra una hoja 54 formada por segmentos 55 en la que la orientación de fibra en cada uno de los segmentos 55 es, en general, de +45 grados.

- 20 La FIG. 11 ilustra una hoja 76 formada por segmentos 74 dispuestos uno al lado del otro, en la que las fibras en cada segmento 74 están orientadas, en general, en 90 grados, sustancialmente alineadas con el ángulo de la coordenada radial "r" que define el contorno 37 (FIG. 8) de la sección de armazón 36. Cuando las estopas 72 se depositan para formar los segmentos 74, las estopas individuales están anguladas en la dirección de la curvatura de la hoja 76. Las estopas 72 anguladas se colocan de manera individual en una relación una al lado de la otra entre sí. Como alternativa, los segmentos pueden estar formados por cuñas 75 afiladas de cinta de fibra que se depositan en una relación una al lado de la otra mediante la máquina de AFP 58 o un aparato similar.

- 25 Con referencia ahora a la FIG. 12, después de que la pila 50 de hojas plana se haya colocado por completo, se pueden crear cortes 53 de ratonera a lo largo de un borde 51 de la pila 50 de hojas. Los cortes 53 se pueden crear usando cualquiera de diversas técnicas, tales como, a modo de ejemplo y sin limitación, usando un cortador de ultrasonidos controlado por NC (no mostrado).

- 30 En el ejemplo ilustrado, los cortes 53 proporcionan aberturas a través de las que se extienden los larguerillos 32b (FIG. 1). Sin embargo, en otras aplicaciones, puede resultar deseable proporcionar cortes 53 similares para reducir el peso y/o reducir la posibilidad de formación de arrugas en las hojas durante los procesos de fabricación posteriores.

- 35 A continuación, se dirige la atención a las FIG. 13-17, que ilustran la formación de la cuerda interna 40 usando un proceso de formación por drapeado. La pila 50 de hojas se coloca sobre la superficie plana 80a superior de un mandril de formación 80. El mandril de formación 80 incluye una superficie curvada o contorneada 80b que, en el ejemplo ilustrado, forma un ángulo sustancialmente de 90 grados con respecto a la superficie plana 80a superior. Cualquier hoja de 0 grados que se pueda usar para formar la cuerda interna 40 se coloca directamente sobre la superficie contorneada 80b. Un borde 50a externo de la pila 50 de hojas se extiende más allá de la superficie curvada 80b y se puede soportar durante la colocación de hojas mediante un estante 86 de superposición que posteriormente se mueve a la posición mostrada en la FIG. 13. El mandril de formación 80 se soporta sobre una herramienta 84 de bolsa de vacío, separado por un respiradero de fibra de vidrio 82. Se coloca una bolsa 88 de vacío sobre la pila 50 de hojas y el mandril de formación 80. Se puede colocar un respiradero 90 y una capa 92 de FEP (etileno propileno fluorado) entre la bolsa 88 y la pila 50 de hojas. La bolsa 88 también puede tener canales (no mostrados) sobre su superficie interna, en cuyo caso no se requiere el respiradero 90.

- 45 Disponiendo del borde 50a de la pila 50 de hojas drapeado sobre la superficie de herramienta 80b, se embute un vacío en la bolsa 88 que aplica presión a la pila 50 de hojas, haciendo que el borde 50a se doble hacia abajo en la dirección de la flecha 94 en la FIG. 13 hasta que el borde 50a se ubique sustancialmente plano contra y asuma sustancialmente el contorno de la superficie curvada 80b del mandril de formación 80. Un borde 50a de pila de hojas se forma así en la cuerda interna 40 que tiene un radio sustancialmente idéntico al radio R de la herramienta curvada 80b.

- 50 El proceso de formación descrito anteriormente se puede realizar en un aparato 96 de formación por drapeado mostrado en las FIG. 16 y 17. La bolsa 88 puede comprender una membrana impermeable a los gases, formada, por ejemplo y sin limitación, de silicona, que se monta en un armazón 102 que está unido de manera pivotante a una mesa 98 de vacío soportada sobre patas 100. La mesa 98 de vacío incluye puertos o perforaciones (no mostrados) que permiten que el aire se embute a través de la mesa 98. El mandril de formación 80 junto con la pila 50 de hojas y el estante 86 de superposición se pueden colocar sobre la mesa 98 de vacío con el armazón 102 cerrado contra la mesa
55 98 de vacío.

Tal como se muestra en la FIG. 17, se puede usar un sistema de vacío (no mostrado) para evacuar el aire en la cavidad sellada formada por el armazón 102 y la mesa 98. La evacuación de esta cavidad da como resultado que la membrana 88 se estire sobre el mandril de formación 80, formando así el borde 50a hacia abajo sobre la cara frontal 80b del mandril de formación 80. El estante 86 de superposición soporta parcialmente la membrana 88 durante el proceso de formación, controlando y dirigiendo de este modo la fuerza aplicada al borde 50a de la membrana 88.

Habiéndose formado por completo la cuerda interna 40, la siguiente etapa en el método de fabricación se ilustra en las FIG. 18-21, en la que se forma la cuerda externa 38. La cuerda externa 38 se puede fabricar mediante formación por drapeado en caliente en tensión usando, por ejemplo y sin limitación, el aparato 124 de formación por drapeado mostrado en la FIG. 19. El aparato 124 de formación por drapeado incluye una mesa 130 de vacío calentada mantenida en un armazón inferior 128 soportado por patas 134. Un armazón 126 giratorio superior incluye una membrana 132 impermeable a los gases que puede comprender silicona, por ejemplo. Una herramienta en forma de mandril de formación/curado 106 y un bloque 112 contorneado se soportan sobre la mesa 130 de vacío y se cubren mediante la membrana 132 cuando el armazón 126 está cerrado y sellado contra el armazón inferior 128.

Tal como se observa mejor en la FIG. 18, el mandril de formación/curado 106 incluye una superficie de herramienta 106a superior plana que soporta la pila 50 de hojas. La segunda superficie 106b plana sobre el mandril de formación/curado 106 se extiende hacia arriba desde la superficie de herramienta 106a y se aplica a la cuerda interna 40. El mandril de formación/curado 106 incluye, además, una tercera superficie 106c que se extiende hacia abajo desde la superficie de herramienta 106a y se usa para formar la cuerda externa 38.

El mandril de formación/curado 106 se soporta sobre la mesa 130 de vacío. Se puede colocar un respiradero opcional 110 formado de fibra de vidrio u otro material adecuado entre la mesa 130 de vacío y el mandril de formación/curado 106. Se puede colocar un intensificador 120 contorneado sobre la pila 50 de hojas para garantizar que el radio 122 se mantenga por completo adyacente a la cuerda interna 40. Una hoja 116 de un material, tal como, pero sin limitación, Teflon®, así como también un respiradero 118, se puede colocar entre el intensificador y la pila 50 de hojas. Se puede colocar una capa 123 adicional de FEP entre un borde del mandril de formación/curado y la pila 50 de hojas. La capa 123 de FEP se drapea sobre el bloque 112, que, en combinación, funcionan para controlar el ángulo en el que la membrana 132 de bolsa aplica presión al borde 50b externo de la pila 50 de hojas durante el proceso de formación por drapeado.

La cuerda externa 38 se puede formar por drapeado en caliente sobre el mandril de formación/curado 106 que después se puede calentar dentro de un horno o mediante otros medios, tales como lámparas infrarrojas, hasta una temperatura preseleccionada, por ejemplo, de aproximadamente 60 grados C (140 grados F). Se embute un vacío en la membrana 132 de bolsa y se mantiene durante períodos de tiempo preseleccionados. Durante el proceso de formación por drapeado en caliente controlado por tensión, las fibras se pueden deslizar dentro de una hoja como resultado de la disminución de la viscosidad de la resina de matriz debido al calentamiento. Esto permite que las fibras se agrupen o se extiendan o se reorganicen de otro modo por sí mismas, según sea necesario. El mantenimiento de la tensión debajo de la pila 50 minimiza la formación de arrugas. El intensificador 120 de radio mantiene el radio 122 de cuerda interna (40a en la FIG. 3) mientras se forma la cuerda externa 38.

La FIG. 20 ilustra la pila 50 de hojas parcialmente formada posicionada sobre el mandril de formación/curado 106 con la cuerda interna 40 formada mantenida contra la superficie de herramienta 106a. El borde 50b externo de la pila 50 de hojas está en voladizo sobre la superficie de herramienta 106b. Tal como se muestra en la FIG. 21, cuando la membrana 132 se estira sobre el mandril de formación/curado 106, la membrana 132 aplica presión al borde 50b externo en un ángulo que está parcialmente controlado por el bloque 112. Después, el borde 50b de la pila 50 de hojas se dobla hacia abajo en la dirección de la flecha 114 hasta que se forma por completo contra la superficie de herramienta 106c y forma la cuerda externa 38.

Cuando se han formado las cuerdas externa e interna 38, 40 de la sección de armazón 36, entonces resulta necesario curar la sección de armazón 36 y, en este sentido, la atención se dirige a la FIG. 22. La sección de armazón 36 formada y el mandril de formación/curado 106 se retiran del aparato 124 de formación por drapeado en caliente. Se puede colocar una placa de presión 139 sobre la cuerda externa 38 con el fin de ayudar en el compactado del radio 141. De manera similar, se puede instalar un intensificador 142 con el fin de ayudar en el compactado del radio 122. Una bolsa 138 de vacío convencional se coloca sobre la sección de armazón 36 y se sella mediante un sello 140 al mandril de curado 106. También se puede colocar un respiradero (no mostrado) y una hoja de pelado (no mostrada) de FEP entre el mandril de formación/curado 106 y la bolsa 138.

A continuación, se dirige la atención a la FIG. 23, que ilustra las etapas generales usadas en el método para la producción de estructuras de material compuesto contorneadas. Las materias primas, incluyendo estopas de fibra de material preimpregnado y/o cintas se reciben y se inspeccionan en 144. En 146, el mandril de formación 80 analizado previamente y el mandril de formación/curado 106 se limpian y preparan. A continuación, en 148, se puede colocar una hoja de fibra de vidrio externa sobre el mandril de formación 80.

En la etapa 150, todas las diversas hojas en la pila 50 se depositan usando una o más máquinas de AFP 58. Habiéndose formado la pila 50 de hojas plana, los cortes 53 de ratonera se colocan después en la pila 50 de hojas, tal como se requiere en la etapa 152. A continuación, en la etapa 154, la pila 50 de hojas se coloca sobre el mandril de formación 80 y el estante 86 de superposición. Después, en 156, el estante 86 de superposición se mueve a una posición donde se usa en el proceso de formación posterior. En la etapa 158, la cuerda interna 40 se forma usando la técnica de formación por drapeado descrita anteriormente.

En la etapa 160, la pila 50 de hojas formada parcialmente se coloca en el mandril de formación/curado 106. En 162, la cuerda externa 38 se forma por drapeado en caliente sobre el mandril de formación/curado 106. A continuación, en la etapa 164, la sección de armazón 36 formada se transfiere a la herramienta de curado 106 y se coloca una hoja de fibra de vidrio interna sobre el armazón. A continuación, en 166, se instalan la placa de presión 139 y el intensificador 142, tras lo que el conjunto se embolsa al vacío en la preparación para el curado en autoclave. En 168, la sección de armazón 36 se cura en un autoclave (no mostrado), tras lo que, en 170, la sección de armazón 36 curada y por completo formada se desembolsa y desbarba. La sección de armazón 36 se puede recortar en 172 usando un cortador de control numérico y la sección de armazón 36 recortada se puede inspeccionar después en 174 usando técnicas de evaluación no destructiva convencionales.

Aunque las realizaciones desveladas ilustran el uso del método para fabricar una estructura de material compuesto contorneada que tiene una sección transversal en forma de Z, resultan posibles otras estructuras contorneadas en las que una o más patas se extiendan hacia afuera desde una característica estructural, tal como una banda. Por ejemplo, tal como se muestra en la FIG. 24, las realizaciones desveladas se pueden emplear para fabricar estructuras contorneadas continuas que tengan otras configuraciones de pata o formas de sección transversal, tales como, sin limitación, una forma de C 176, una forma de J 178, una forma de L 180, una forma de I 182, una forma de J 184 modificada y una o más formas de una forma de U 186.

A continuación, se dirige la atención a las FIG. 25 y 26, que ilustran otro método para la superposición de una hoja 201 contorneada usando segmentos 188 de hoja solapados formados de cinta de fibra de material preimpregnado unidireccional de ancho sustancialmente constante. Los segmentos 188 de hoja de ancho constante se pueden cortar de la cinta retirada de un carrete (no mostrado) de cinta de ancho convencional o no convencional. En el ejemplo mostrado en las FIG. 25 y 26, los segmentos 188 de hoja tienen una forma sustancialmente rectangular, sin embargo, estos pueden tener otras formas, siempre que los segmentos 188 de hoja tengan sustancialmente los mismos anchos. Los segmentos 188 de hoja se colocan sobre un sustrato (no mostrado) y se disponen a lo largo de la línea central 192 contorneada de una hoja 201 contorneada que se superpone. Cada uno de los segmentos 188 de hoja se extiende de manera radial más allá de las cuerdas interna y externa 38, 40, respectivamente, para formar extensiones 200 que posteriormente se recortan de tal manera que la hoja 201 completa formada por los segmentos 188 de hoja coincida sustancialmente con el contorno de la estructura 36 (FIG. 2).

Cada uno de los segmentos 188 de hoja incluye una línea central 194 longitudinal que se alinea durante el proceso de colocación con una coordenada radial "r" que se origina a partir de un polo 39 en un sistema de coordenadas polares 190. Cada una de las líneas centrales 194, a veces también denominadas en el presente documento eje de curvatura, forma un ángulo θ con respecto a una línea de referencia mostrada como "0°" en la FIG. 25. El sistema de coordenadas polares 190 se usa para definir uno o más contornos de la estructura 36 (FIG. 2). De acuerdo con las realizaciones desveladas, los segmentos 188 de cinta de ancho constante se colocan en una relación de solapamiento 191 entre sí, de tal manera que la cantidad de solapamiento se mantenga preferentemente sustancialmente constante. A medida que se coloca cada segmento 188 de hoja, este se orienta en un ligero ángulo 193 (FIG. 26) respecto al segmento 188 adyacente previamente colocado. La colocación de los segmentos 188 de hoja en una relación de solapamiento 191 da como resultado los adyacentes de los segmentos 188a, 188b de hoja, que forman un solape 196 en forma de pastel cerca de la cuerda interna 40 y un hueco 198 en forma de pastel adyacente a la cuerda externa 38. Los solapes 196 y los huecos 198 se pueden ajustar para cumplir los requisitos estructurales de una aplicación particular mediante el cambio del ancho de los segmentos 188 de cinta. El método de superposición de cinta de ancho constante descrito anteriormente permite la superposición de hojas distintas de cero a una velocidad relativamente rápida, incluso sobre pequeñas estructuras de material compuesto altamente contorneadas.

Tal como se observa mejor en la FIG. 26, el solape 196, en general, se extiende desde la línea central 192 de la hoja 201 en la que el ancho 204 del solape 204 se hace mayor de manera progresiva a medida que aumenta la distancia desde la línea central 192. De manera similar, el ancho 202 del hueco 198 entre los segmentos 188a, 188b de hoja adyacentes se hace más grande a medida que aumenta la distancia desde la línea central 192. De acuerdo con las realizaciones desveladas, tanto los solapes 196 como los huecos 198 se minimizan sustancialmente. En contraste con los segmentos 74 de cinta cortados en la periferia usados en las realizaciones mostradas en la FIG. 11, el uso de segmentos 188 de hoja de corte de extremo simple de ancho constante facilita el uso de un equipo automatizado (analizado más adelante) para colocar los segmentos 188 de hoja de una manera predeterminada que minimiza los solapes 196 y los huecos 198.

La colocación de superposición de segmentos 188 de hoja de ancho constante, tal como se ha descrito anteriormente, da como resultado una hoja 201 que tiene discontinuidades desplazadas de manera sustancialmente uniforme

definidas por los solapes 196 y los huecos 198.

El ancho elegido para los segmentos 188 de cinta variará con la aplicación. Se pueden utilizar segmentos 188 de cinta más estrechos con el fin de reducir el solape 196 y/o el hueco 198. De manera similar, se pueden emplear anchos de cinta más anchos para aumentar la velocidad de deposición. Los solapes 196 y los huecos 199 de las hojas 201 de 45 grados se pueden reducir mediante el cambio de los segmentos 188 de hoja a orientaciones de +/- 60 grados.

Con referencia a la FIG. 27, los extremos 200 superpuestos de cada segmento 188 de cinta se pueden cortar en 206, en un ángulo Φ , para que coincida sustancialmente con los contornos externos de la cuerda interna 40 y la cuerda externa 38, respectivamente. Por lo tanto, los extremos 206 cortados de los segmentos 188 pueden seguir sustancialmente el contorno de la estructura 36 (FIG. 2), lo que da como resultado que el segmento 188 tenga una forma generalmente trapezoidal.

De acuerdo con las realizaciones desveladas, cada uno de los segmentos 188 de hoja se puede colocar sobre un sustrato (no mostrado) usando el equipo 208 de colocación de cinta automático mostrado en la FIG. 28, que alinea las líneas centrales 194 (FIG. 25 y 26) en orientaciones polares relacionadas con el contorno de la estructura 36 (FIG. 2). Con referencia a la FIG. 28, el equipo 208 de colocación de cinta automático incluye cabezales 210, 212 de colocación de cinta pivotantes montados sobre un pórtico 214 para el movimiento pivotante con respecto al contorno de un sustrato 214, que puede ser una herramienta. Cada uno de los cabezales 210, 212 incluye un suministro de cinta de material compuesto (no mostrado) junto con mecanismos de corte y colocación (no mostrados) que cortan la cinta a la longitud y colocan las longitudes cortadas de la cinta sobre el sustrato 214. Los cabezales 210, 212 de cinta y/o el sustrato 214 se mueven uno respecto al otro de tal manera que los cabezales 210, 212 de cinta atraviesan el sustrato 214 y colocan la cinta de material compuesto de manera automática, típicamente con el control de un controlador CNC (no mostrado). Los detalles adicionales de una máquina 208 de colocación de cinta automática adecuada se desvelan en la patente estadounidense número 7.137.182 publicada el 21 de noviembre de 2006. A continuación, se dirige la atención a la FIG. 29, que ilustra las etapas generales del método para la elaboración de una estructura de material compuesto contorneada que tiene una o más patas. Una hoja 201 se coloca en una serie de etapas 216 que comienzan en 218, con la producción de los segmentos 188 de hoja mediante el corte de la cinta de material preimpregnado de fibra unidireccional de ancho constante a las longitudes deseadas. A continuación, en 220, los segmentos 188 de hoja se colocan sobre un sustrato en una relación de superposición uno al lado del otro que sigue el contorno de la estructura de material compuesto. Durante el proceso de colocación, las líneas centrales 194 longitudinales de los segmentos 188 de hoja están alineadas en una orientación polar relacionada con el contorno de la estructura. En 222, se controlan el solape 196 y los huecos 198 entre los segmentos 188a, 188b de hoja adyacentes. Típicamente, este control se implementa de manera automática cuando se usa un equipo de colocación de cinta automatizado, del tipo mostrado en la FIG. 28.

En 224, cada hoja 201 completa o una pila de hojas 201 se puede recortar, después, hasta una forma final, según se requiera. En 226, la pila 50 de hojas completas (FIG. 8) se puede formar hasta conformarse usando las técnicas descritas anteriormente en el presente documento, que pueden incluir la formación de una o más patas. Finalmente, en 228, la pila 50 de hojas conformada se puede compactar y curar.

Tal como se ha analizado anteriormente, puede resultar necesario, en algunas aplicaciones donde la estructura de material compuesto contorneada, tal como la sección de armazón 36 mostrada en las FIG. 1 y 2, tiene una curvatura relativamente sustancial, colocar las hojas 52 de cero grados (FIG. 9) sobre las patas interna y externa 40, 38 después de que se hayan formado. Este requisito del proceso se deriva del hecho de que las fibras en las hojas 52 de cero grados (FIG. 9) son sustancialmente inextensibles, es decir, no cambiarán sustancialmente de longitud mediante el estiramiento durante la formación de un radio más pequeño a un radio más grande. De manera similar, las fibras en las hojas 52 de cero grados pueden no cambiar sustancialmente de longitud a través de la compresión durante la formación de un radio más grande a un radio más pequeño. Por tanto, cuando se forman de un radio más grande a un radio más pequeño, las hojas de cero grados se pueden doblar, puentear, arrugar y/u ondular ya que las fibras de cero grados pueden no deslizarse fácilmente una sobre la otra durante la formación para permitir que las fibras permanezcan sustancialmente en el plano. En consecuencia, los métodos de fabricación descritos anteriormente para formar estructuras de material compuesto contorneadas requieren un proceso de múltiples etapas para la colocación de las hojas 52 de cero grados, a diferencia de la colocación y la formación de las hojas distintas de cero grados.

Sin embargo, de acuerdo con un método alternativo de fabricación de una estructura 36 de material compuesto contorneada (FIG. 1 y 2) analizado a continuación, una pila plana o carga 50 (FIG. 5 y 21) que contiene una o más hojas 52 de cero grados se puede formar en una o más patas 38, 40 curvadas en una sola operación de formación, evitando de este modo la necesidad de colocar las hojas 52 de cero grados sobre las patas 38, 40 en una etapa separada después de que se hayan formado las patas 38, 40. Con referencia a la FIG. 30, una carga 230 de fibra de material preimpregnado de múltiples hojas plana, a veces también denominada en el presente documento pila 230, incluye una hoja 231 de cero grados colocada sobre la misma. De manera similar a las cargas planas analizadas previamente, la carga 230 puede incluir una pluralidad de hojas distintas de cero grados (no mostradas en la FIG. 30) que se superponen de acuerdo con los métodos analizados previamente usando un sistema de coordenadas polares para alinear partes de cada una de las hojas con respecto al eje de curvatura 250 de la estructura 36 contorneada.

definida por un radio de curvatura R.

La carga 230 plana incluye una parte de banda 232 central, una parte de pata interna 234 y una parte de pata externa 236 que se forman, respectivamente, en la banda 42, la pata o cuerda interna 40 y la pata o cuerda externa 38 de la estructura 36 de material compuesto contorneada mostrada en la FIG. 2. La carga 230 puede incluir o no cortes 235, tal como se ha descrito previamente, que alojen los larguerillos 32 (FIG. 1) u otras características estructurales. En este ejemplo, la parte de banda 32 y la parte de pata externa 236 sobre la hoja 231 de cero grados se forman mediante estopas continuas 238 de cinta cortada, denominadas en lo sucesivo en el presente documento estopas continuas 238. Sin embargo, la parte de pata interna 234 de la hoja 231 de cero grados se forma mediante una serie de tiras 233 una al lado de la otra de segmentos 240 de estopa formados mediante el corte selectivo de material de estopa continua "sobre la marcha" en segmentos 240 de estopa que se colocan de extremo a extremo, ya sea a mano o mediante el uso de una máquina de AFP 58 (FIG. 7). En este ejemplo, los extremos 241 de los segmentos 240 de estopa adyacentes se separan ligeramente por espaciado para formar huecos 242 entre los segmentos 240 de estopa en cada tira 233. Sin embargo, tal como se analizará a continuación, los extremos 241 de los segmentos 240 de estopa adyacentes se pueden poner en contacto entre sí o se pueden solapar entre sí antes de que se forme la carga 230. Durante la colocación, las estopas continuas 238 y las tiras 233 de los segmentos 240 de estopa se dirigen a medida que se colocan de tal manera que se alineen con el eje de curvatura 250.

La FIG. 31 ilustra una hoja 231 de cero grados en la que los extremos 241 adyacentes de los segmentos 240 de estopa en cada tira 233 se disponen en un diseño escalonado en el que la unión de los extremos 241 adyacentes se produce a distancias sucesivamente mayores. El escalonamiento de los segmentos 240 de esta manera reduce cualquier efecto adverso sobre la compresión, la tensión y la resistencia a la cizalla de la estructura curada. La FIG. 32 ilustra un diseño de escalonamiento alternativo en el que las uniones de los extremos 241 adyacentes de los segmentos 240 de estopa se distribuyen de manera algo aleatoria de tira a tira 238, pero en donde ninguna de las uniones entre los extremos 241 adyacentes se alinea entre sí.

Con referencia ahora a las FIG. 33 y 34, una herramienta 244 de formación curvada incluye una superficie de herramienta superior curvada 246 y una superficie de herramienta cóncava 248 contigua que tiene un radio de curvatura R y una longitud de arco 254. Por simplicidad de ilustración, solo se muestra una sola hoja 231 de cero grados que se forma sobre la herramienta 244, sin embargo, se entenderá que la hoja 231 forma parte de la carga 230 de múltiples hojas similar a la mostrada en la FIG. 30, pero que no tiene una parte de pata externa 236 o cortes 235. Una parte de banda 232 de la hoja 231 contiene estopas continuas 238 que tienen una orientación de cero con respecto al eje de curvatura 250 de la herramienta 244. Una parte de pata interna 234 de la hoja 231 comprende una serie de tiras 233 una al lado de la otra de los segmentos 240 de estopa y se forma hacia abajo sobre la superficie de herramienta cóncava 248, en la dirección mostrada mediante la flecha 252.

Durante el proceso de formación, las fibras en los segmentos 240 de estopa en la parte de pata 234 se pueden deslizar una con respecto a la otra en una mejor forma de ajuste para conformar mejor la parte de pata 234 a la superficie de herramienta cóncava 248 sin doblado, puenteado, formación de arrugas y/u ondulación sustancial. El corte de las estopas en los segmentos 240 de estopa en la parte de pata 234 de la carga 230 permite que las fibras en la parte de pata 234 cambien de manera eficaz la longitud mediante separación o solapamiento, aliviando de este modo cualquier compresión y/o tensión inducida en las fibras, a medida que la carga 230 plana experimenta una transición geométrica de una forma plana a una forma contorneada que coincide con la superficie de herramienta cóncava 248. En general, la técnica de cortar de manera selectiva el material de estopa en los segmentos 240 de estopa que se colocan de extremo a extremo se puede usar para depositar fibras de cero grados sobre cualquier parte de una carga 230 plana donde se requiere teóricamente que las fibras cambien sus longitudes durante la formación para permanecer planas y en el plano.

Tal como se observa mejor en la FIG. 35, los segmentos 240 de estopa pueden tener una longitud L de arco que puede variar con el fin de alcanzar un hueco 242 preseleccionado máximo entre los segmentos 240 de estopa durante la formación. Basándose en un radio R de estructura conocido y una longitud de arco tangente 248 conocida (FIG. 33), se puede calcular la longitud L de arco del segmento de estopa de caja más pequeña. A medida que aumenta el radio R (FIG. 34) de una estructura contorneada, los diferenciales de longitud de fibra de la parte de banda 232 a la parte de pata 234 formada disminuyen y las fibras se ven menos afectadas por las fuerzas de tensión y compresión. En consecuencia, como se usan los radios R de estructura más grandes, se puede usar una longitud L de arco de segmento mayor. Como alternativa, tal como se muestra en la FIG. 36, resulta posible emplear segmentos 240 de estopa que tengan una longitud L sustancialmente constante, pero con huecos G_1 , G_2 , G_3 de segmento a segmento variables que aumenten a medida que aumenta la distancia desde el eje 250 sobre el que se forma la parte de pata 234 con el fin de garantizar que los segmentos 240 de estopa no se solapen durante la formación. Las longitudes L predeterminadas de los segmentos de estopa se eligen basándose en el radio de curvatura R de la estructura contorneada, el margen de hueco G de segmento a segmento máximo y la concavidad o convexidad de la pata 234, la cantidad de discontinuidad de pata, es decir, los cortes de cremallera y las rampas, los anchos de las estopas que se usan y la capacidad de cizalla entre láminas del sistema de resina. Se elige una estrategia de estopa segmentada de tal manera que la desunión de cero grados maximice la capacidad de formación de carga sin degradar la capacidad de porte de carga estructural de la estructura curada.

Las FIG. 37 y 38 ilustran una herramienta 256 para la formación de una parte de pata externa 236 de una hoja 231 de cero grados sobre una superficie 242 cóncava de la herramienta 256. En este ejemplo, la parte de pata externa 236 de la hoja 231 de cero grados comprende segmentos 240 de estopa que tienen una longitud L de arco fija (véase la FIG. 35) y huecos 242 de segmento a segmento. Durante la formación de la parte de pata externa 236 de un radio más grande a un radio más pequeño sobre la superficie 242 cóncava de la herramienta 256, los segmentos 240 se mueven uno hacia el otro debido a la compresión de la parte de pata externa 236, reduciendo de este modo el tamaño de los huecos y/o llevando a los segmentos 240 adyacentes a una relación de contacto o casi de contacto con otros, tal como se muestra en la FIG. 38. Después de la formación sobre la superficie 242, el tamaño de los huecos 242, si los hay, puede variar de acuerdo con la distancia de los segmentos 240 desde el eje 265 sobre el que se forma la parte de pata externa 236.

El tamaño de los huecos 242 entre los extremos 241 adyacentes de los segmentos 240 de estopa en una parte de pata 234, 236 después de la formación dependerá del espaciado o el solapamiento entre los segmentos 240 a medida que se cortan y colocan sobre la carga 230 plana. Por ejemplo, la FIG. 39A muestra una parte de pata interna 234 de una hoja 231 de cero grados en la que los extremos 241 adyacentes de los segmentos 240 de cinta hacen contacto o casi contacto en 258, pero se extenderán durante la formación para crear huecos 242 entre los extremos 241 adyacentes, tal como se muestra en la FIG. 39B, a medida que la parte de pata 234 se mueve de un radio más pequeño a un radio más grande. Dependiendo de la estrategia de segmentación usada para una aplicación particular, se pueden crear topes, huecos o solapes entre los extremos 241 de los segmentos 240 de estopa sobre cualquier parte de pata 234, 236.

La FIG. 40A ilustra otra estrategia de segmentación que puede minimizar los huecos 242 de segmento de estopa sobre una parte de pata interna 234. Mediante el uso de esta estrategia, los extremos 241 de los segmentos 240 de estopa adyacentes se colocan de tal manera que, inicialmente, se solapan en 243 antes de la formación. Sin embargo, durante la formación, los extremos 241 de segmento de estopa adyacentes se separan por movimiento y pueden formar juntas a tope 258, tal como se muestra en la FIG. 40B.

La FIG. 40C ilustra una parte de pata externa 236 de una hoja 231 de cero grados en la que los extremos 241 adyacentes de los segmentos 240 de cinta se depositan con huecos 243 de segmento a segmento entre los mismos. Durante la formación de la parte de pata externa 236 de un radio más grande a un radio más pequeño, los segmentos 240 de cinta se mueven uno hacia el otro en una relación de contacto o casi contacto, tal como se muestra en 258 en la FIG. 40D. Aunque no se muestra en los dibujos, los huecos 243 de segmento a segmento se pueden seleccionar de tal manera que, después de la formación de la parte de pata externa 236, los extremos 241 adyacentes de los segmentos 240 de cinta se puedan solapar entre sí.

A continuación, se dirige la atención a la FIG. 41, que ilustra de manera amplia las etapas de un método para la fabricación de una estructura 36 de material compuesto contorneada (FIG. 2) que tiene al menos una pata 38, 40 curvada que usa una pila 230 plana de hojas de material compuesto que incluye al menos una hoja 231 de cero grados. En la etapa 260, una pila 230 plana de hojas distintas de cero se deposita usando segmentos 188 (FIG. 25) de material preimpregnado unidireccional, en donde cada uno de los segmentos 188 está alineado con el eje de curvatura 250 de la estructura que se puede definir dentro de un sistema de coordenadas polares 190 (FIG. 25). En 262, al menos una hoja 231 de cero grados se superpone sobre la pila 230 plana, incluyendo la deposición de segmentos de estopas de material preimpregnado unidireccional, se coloca de extremo a extremo sobre una parte 234, 236 de la pila 230 que se va a formar en una pata 38, 40 curvada (FIG. 2). En la etapa 262, la parte 234, 236 de la pila que contiene los segmentos 240 de estopa se forma en una pata 38, 40 curvada de la estructura 36.

A continuación, se dirige la atención a las FIG. 42-45, que ilustran una forma de un aparato 264 para la formación de una estructura de material compuesto contorneada que tiene dos patas curvadas, tal como la sección de armazón 36 mostrada en la FIG. 2, en donde las patas comprenden una pata o cordón interno 40 curvado y una pata o cordón externo 38 curvado. La carga 230 puede ser similar a la descrita previamente, que incluye tanto hojas distintas de cero grados como una o más hojas 231 de cero grados que contienen segmentos 240 de estopa que ayudan en la formación de las partes de pata 234, 236 sin doblado, puentado, formación de arrugas y/u ondulación sustancial. Tal como se analizará a continuación, el aparato 264 de formación se puede usar para formar las partes de pata interna y externa 234, 236 de la carga 230 de manera sustancialmente simultánea en una sola operación de formación. El aparato 264 incluye, de manera amplia, un conjunto 266 de herramienta montado sobre una base 268 sustancialmente plana y una bolsa 270 de vacío de tipo vejiga. La bolsa 270 de vacío se monta sobre un armazón 272 circundante que se fija de manera pivotante a la base 268. La bolsa 270 incluye un sello 275 periférico que forma un sello hermético al vacío entre la bolsa 270 y la base 268 cuando el armazón 272 se pivota hacia abajo por encima y sobre la base 268. El conjunto 266 de herramienta incluye un mandril 274 de herramienta estacionario curvado y una herramienta 276 de formación curvada montada en sus extremos opuestos para el movimiento lineal sobre el mandril 274 mediante accionadores 280 lineales. La herramienta 276 de formación actúa como estabilizador que soporta la parte de banda 232 de la carga 230 al tiempo que forma las partes de pata interna y externa 234, 236.

El mandril 274 incluye tres superficies 284, 286 y 288 contiguas contra las que se puede formar una carga 230 plana (FIG. 43). El mandril 274 incluye, además, una superficie 282 plana superior curvada que tiene un calentador 290 de

tiras eléctrico sobre la misma para fines que resultarán evidentes posteriormente. La herramienta 276 de formación incluye dos superficies 276a, 276b curvadas (FIG. 43) que, respectivamente, se orientan a las superficies 284, 286 de herramienta sobre el mandril 274 y una superficie externa que está curvada en dos dimensiones. Los accionadores 280 lineales se pueden operar con energía para el movimiento de la herramienta 276 desde la posición elevada de carga/descarga mostrada en la FIG. 43 hasta una posición cerrada de formación mostrada en la FIG. 44. Con la herramienta 276 de formación en su posición elevada, tal como se muestra en la FIG. 43, la carga 230 de material compuesto plana se puede colocar sobre la superficie 282 superior del mandril 274 y debajo de la superficie 276b inferior sobre la herramienta 276 de formación, tal como se muestra en la FIG. 43.

El conjunto 266 de herramienta incluye, además, una pluralidad de soportes 292 deslizables a lo largo del borde inferior de la superficie 288 de herramienta frontal. Cada uno de los soportes 292 es deslizante desde una posición retraída dentro de la herramienta de base 274, tal como se muestra en la FIG. 43, hasta una posición extendida, tal como se muestra en la FIG. 44. Los bloques 296 de formación de carga se unen de manera retirable respectivamente a cada uno de los soportes 292 y funcionan para ayudar en la formación de la parte de pata externa 236 de la carga 230 y en la guía de la deformación de la bolsa 270 a medida que la bolsa forma la parte de pata externa 236 hacia abajo sobre la superficie 288 de herramienta. Aunque no se muestran en las figuras, se pueden usar materiales de liberación desechables para ayudar a que el deslizamiento de carga 230 se conforme y evite que se adhiera al mandril 274 y/o la herramienta 276 de formación.

A continuación, se dirige la atención a la FIG. 46, que ilustra las etapas de un método para la fabricación de una estructura 36 de material compuesto curvada (FIG. 1 y 2) que tiene un par de patas 38, 40 curvadas. En términos generales, el método comprende colocar una carga 230 de material compuesto plana sobre un mandril 274 en 298 y usar el mandril 274, tal como se muestra en 300, para formar la carga en un par de patas 38, 40 curvadas conectadas mediante una banda 42 curvada. Más particularmente, a partir de 302, se coloca una carga 230 plana sobre el mandril 274 y se estabiliza entre las superficies 276b, 282 de la herramienta 276 de formación y el mandril 274, respectivamente. A continuación, en 304, la parte de pata interna 234 se calienta hasta una temperatura de formación adecuada para disminuir la viscosidad de la resina de material preimpregnado antes de la formación, usando el calentador 290 de tiras.

Aunque no se muestran en las Figuras, se pueden localizar elementos de calentamiento eléctrico adicionales sobre o debajo de la bolsa 270 y contra las partes de pata 234, 236 a formar para calentar estas áreas antes de la formación. A continuación, los accionadores 280 lineales se activan haciendo que la herramienta 276 de formación se mueva hacia abajo, comprimiendo la carga 230 plana sobre las superficies 284, 286 de mandril. A medida que la herramienta 276 de formación se mueve hacia abajo, la carga 230 plana se forma por drapeado en caliente en tensión contra las superficies 284, 286 de herramienta, formando de este modo la banda 42 (FIG. 1) y una primera pata 40 interna, tal como se muestra en 308. En la etapa 310, la parte de banda 232 y la parte de pata interna 234 (FIG. 30) de la carga 230 continúan manteniéndose entre la herramienta 276 de formación y el mandril 274. En 312, el armazón 272 se gira hacia abajo sobre la base 268 que crea un sello hermético al vacío entre la bolsa 270 y la base 268. En 314, se embute un vacío en la bolsa 270. En 316, el vacío embutido en la bolsa 270 hace que la bolsa 270 se estire hacia la parte de pata externa 236 de la carga 230. El movimiento hacia abajo de la bolsa 270 se guía en parte mediante la superficie 278 curvada sobre la herramienta 276 de formación y los bloques 296 de formación que guían la bolsa 270 para aplicar presión a la parte de pata externa 236 de la carga 230 y formar partes de pata 236 sobre la superficie 288 de herramienta frontal del mandril 274. Aunque no se muestra en la FIG. 46, el conjunto 266 de herramienta se puede usar como herramienta de curado para el curado de la carga formada.

Con referencia ahora a las FIG. 47 y 48, se puede usar una celda 318 de formación para formar por drapeado en caliente una pila o carga 230 de hojas de material compuesto plana en una estructura de material compuesto contorneada, tal como la mostrada en la FIG. 1, que tiene múltiples patas 38, 40 en la que las patas 38, 40 se forman de manera sustancialmente simultánea en una sola operación de formación. La carga 230 puede ser similar a la descrita previamente en relación con las FIG. 30-41. La celda 318 de formación se puede usar para formar estructuras de material compuesto en forma de múltiples patas, incluyendo, pero sin limitación, aquellas que tienen las formas de sección transversal de C, J, L, Z, V e I, con una gran diversidad de orientaciones, longitudes de arco y geometrías generales. Al igual que el aparato 264 de formación ilustrado en las FIG. 42-45, el uso de la celda 318 de formación puede eliminar la necesidad de voltear y/o transferir la carga 230 entre las etapas de superposición y formación. Asimismo, al igual que el aparato 264 de formación ilustrado en las FIG. 42-45, la celda 318 de formación permite que las fibras de banda se depositen directamente para conformarse durante la operación de formación y no requiere operaciones de formación y/o calentamiento secundarias.

La celda 318 de formación comprende un par de mitades de herramienta 320, 322 coincidentes soportadas sobre el armazón 324. La mitad de herramienta superior 320 está montada para un movimiento lineal hacia y alejándose de la mitad de herramienta inferior 322 por medio de accionadores 328 lineales que incluyen ejes 326 acoplados con la mitad de herramienta superior 320. Las mitades de herramienta superior e inferior 320, 322 están provistas de conexiones 330 de vacío que, tal como se analizará a continuación, se acoplan con una fuente de vacío (no mostrada) para embutir vacíos usados para formar patas curvadas sobre la carga 230 de material compuesto plana.

Con referencia ahora a la FIG. 49, las mitades de herramienta superior e inferior 320, 322 incluyen, respectivamente, armazones 332, 333 encerrados. Los armazones 332, 333 incluyen, respectivamente, paredes de extremo 332a, 333a conectadas a las paredes de lado 332b, 333b. Las paredes de lado 332b están alineadas con un sello 336 periférico dispuesto dentro de una ranura 334 periférica en las paredes de lado 333b del armazón 333 inferior. Tal como se analizará más adelante, las paredes de lado 332b de bastidor superior se reciben dentro de la ranura 334 cuando las mitades de herramienta 320, 322 están cerradas, formando un sello hermético al vacío. Las mitades de herramienta 320, 322 incluyen, respectivamente, mandriles superior e inferior 338, 340 coincidentes. Los mandriles 338, 340, respectivamente, incluyen superficies de herramienta 338a, 340a opuestas entre las que se puede sujetar una parte de banda 232 de la carga 230, tal como se analizará a continuación. El mandril superior 338 incluye una superficie 338b de formación sobre la que se forma la parte de pata externa 236 de la carga 230. De manera similar, el mandril inferior 340 incluye una superficie de formación 340b sobre la que se forma la parte de pata interna 234 de la carga 230.

La mitad de herramienta superior 320 incluye una bolsa 346 de vacío estirada entre una abrazadera 352 y el mandril 338. La bolsa 346 de vacío se superpone a la parte de pata 234 de la carga 230 y forma una primera cámara 347 de vacío, mostrada en la FIG. 50, cuando las mitades de herramienta 320, 322 están cerradas. De manera similar, una segunda bolsa 348 de vacío se estira entre el mandril inferior 340 y una abrazadera 350. La bolsa 348 de vacío subyace a la parte de pata 236 de la carga 230 y forma una segunda cámara 345 de vacío cuando las mitades de herramienta 320, 322 están cerradas, tal como se muestra en la FIG. 50. Los calentadores 342, 344 de tiras eléctricos se pueden colocar sobre las bolsas 346, 348, respectivamente, en el registro con las partes de pata 234, 236 para el calentamiento de estas partes de la carga 230 hasta la temperatura de formación. Uno o más aparatos auxiliares de formación, tales como el aparato auxiliar 354 de formación que forma parte de la mitad de herramienta superior 320, se pueden emplear para ayudar en el conformado de las bolsas 346, 348 a medida que se deforman a presión de vacío durante el proceso de formación.

La FIG. 50 ilustra las mitades de herramienta 320, 322 que se han cerrado y sellado, pero antes de la aplicación de vacío a las cámaras 345, 347 de vacío. Disponiendo de las mitades de herramienta 320, 322 cerradas, la parte de banda 232 de la carga 230 se sujeta y se mantiene entre los mandriles superior e inferior 338, 340. En este punto, los elementos de calentamiento 342, 344 se pueden activar para calentar las partes de pata 234, 236 de la carga 230 hasta una temperatura de formación adecuada.

La FIG. 51 muestra las posiciones de las bolsas 346, 348 de vacío después de que se haya embutido un vacío en las cámaras 345, 347 de vacío. Los vacíos aplicados embuten las bolsas 346, 348, respectivamente, en las cámaras 347, 345 de vacío, aplicando presión a las partes de pata 234, 236 y haciendo que las partes de pata 234, 236 se formen, respectivamente, hacia abajo sobre las superficies 338b, 340b de herramienta de los mandriles 338, 340. Uno o más de los aparatos auxiliares 354 de formación se pueden emplear para ayudar y guiar la bolsa 348 en el estiramiento contra la parte de pata 236 de la carga durante el proceso de formación. En este caso, se debe señalar que los vacíos se pueden embutir en las cámaras 345, 347 de vacío de manera secuencial o simultánea para formar las partes de pata 234, 236 de manera sustancialmente simultánea o secuencial en una sola operación de formación. Cuando la carga 230 está completamente formada, los vacíos se pueden liberar en las cámaras 345, 347 de vacío, tras lo que las bolsas vuelven a la posición mostrada en la FIG. 50 y las mitades de herramienta 320, 322 se pueden abrir para permitir la retirada de la parte formada.

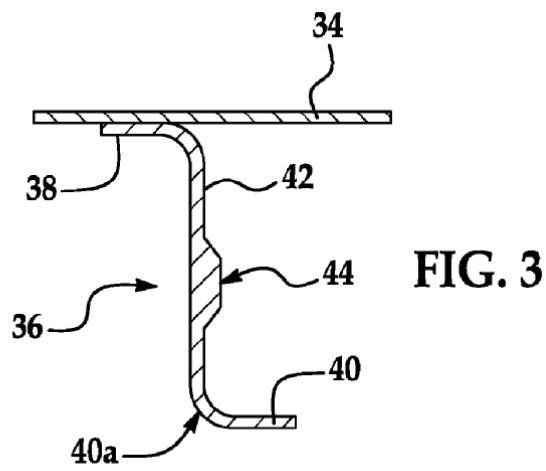
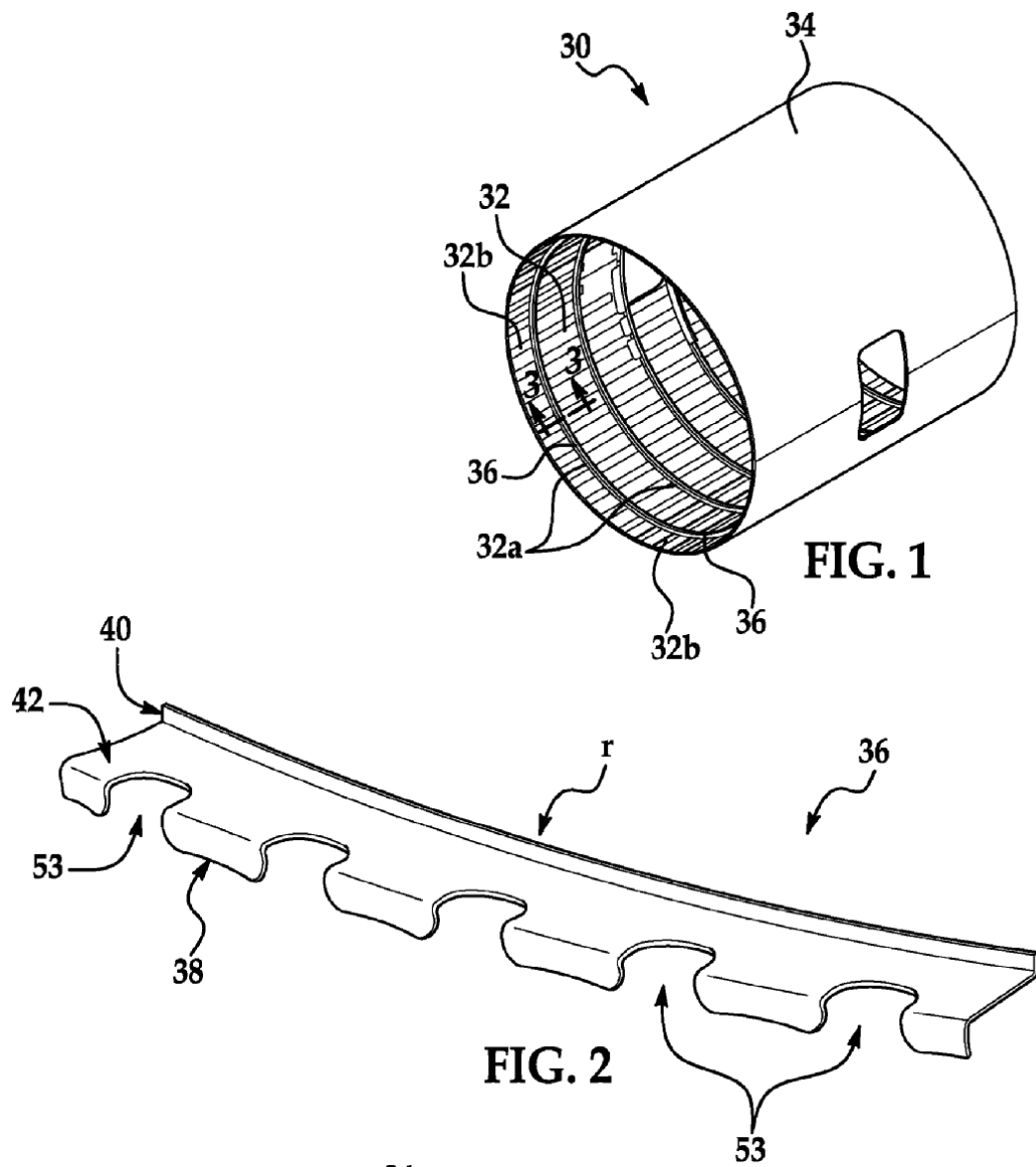
La FIG. 52 ilustra las etapas generales de un método para la formación de una estructura 36 de material compuesto contorneada (FIG. 2) que tiene dos patas 38, 40 curvadas que usa la celda 318 de formación del tipo mostrado en las FIG. 47-51. A partir de 356, una parte de banda 232 de una carga 230 plana se coloca sobre un mandril 340 de una primera mitad de herramienta. A continuación, en 358, la primera y segunda mitades de herramienta se cierran y sellan en conjunto. En 360, la parte de banda 232 de la carga 230 se sujeta entre dos mandriles 338, 340 de la primera y segunda mitades de herramienta 320, 322, respectivamente, manteniendo y estabilizando de este modo la carga 230 durante las operaciones de formación posteriores. En 362, una o ambas partes de pata 234, 236 de la carga 230 se calientan, tras lo que, en 364, se embute un vacío en cada una de las dos cámaras 345, 347 de vacío, respectivamente, que forman parte de la primera y segunda mitades de herramienta 320, 322. En 366, los vacíos embutidos en las bolsas 346, 348, respectivamente, hicieron que las bolsas 346, 348 barrieran las partes de pata 234, 236 de la carga 230 hacia abajo sobre las superficies 338b, 340b de mandril para formar dos patas 38, 40 de la estructura 36 de material compuesto contorneada mostrada en la FIG. 2. En 368, se pueden usar uno o más aparatos auxiliares 354 de formación para ayudar a una bolsa 348 a mantener la tensión sobre la carga 230 durante el proceso de formación. En 370, se liberan los vacíos, tras lo que, en 372, se abren las mitades de herramienta 320, 322, permitiendo que la parte formada se retire en 374.

Las realizaciones de la divulgación pueden tener uso en una diversidad de aplicaciones posibles, en particular, en la industria del transporte, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales, marinas y automotrices. Por tanto, con referencia ahora a las FIG. 53 y 54, las realizaciones de la divulgación se pueden usar en el contexto de un método 376 de fabricación y servicio de aeronaves, tal como se muestra en la Figura 53 y una aeronave 378, tal como se muestra en la Figura 54. Las aplicaciones de aeronaves de las realizaciones desveladas pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, elementos rígidos de material compuesto, tales como refuerzos, vigas y larguerillos, por nombrar solo

- algunos. Durante la producción previa, el método 376 de ejemplo puede incluir la especificación y el diseño 380 de la aeronave 378 y la adquisición 382 de material, en el que las estructuras contorneadas desveladas se especifican para su uso en la aeronave 378. Durante la producción, tiene lugar la fabricación 384 de componentes y subconjuntos y la integración 386 de sistema de la aeronave 378, en la que se fabrican diversos componentes y subconjuntos usando el método desvelado. Posteriormente, la aeronave 378 puede pasar a la certificación y entrega 388 con el fin de ponerse en servicio 390. Mientras está en servicio por parte de un cliente, la aeronave 378 está programada para un mantenimiento y servicio 392 de rutina (que también puede incluir modificación, reconfiguración, remodelación, etc.), que puede incluir el uso de las estructuras contorneadas desveladas.
- 5
- 10 Cada uno de los procesos del método 376 se puede realizar o llevar a cabo mediante un integrador de sistemas, una tercera parte y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los fines de la presente descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas principales del sistema; una tercera parte puede incluir, sin limitación, cualquier número de proveedores, subcontratistas y fabricantes; y un operador puede ser una aerolínea, compañía de arrendamiento financiero, entidad militar, organización de servicio, etc.
- 15 Tal como se muestra en la FIG. 54, la aeronave 378 producida mediante el método 376 de ejemplo puede incluir un fuselaje 394 con una pluralidad de sistemas 396 y un interior 398. Los ejemplos de sistemas 396 de alto nivel incluyen uno o más de un sistema de propulsión 400, un sistema eléctrico 402, un sistema hidráulico 404 y un sistema ambiental 406. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación se pueden aplicar a otras industrias, tales como las industrias marina y automotriz.
- 20 Los sistemas y métodos incorporados en el presente documento se pueden emplear durante una cualquiera o más de las fases del método 376 de producción y servicio. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso de producción 384 se pueden fabricar o elaborar de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 378 está en servicio. Asimismo, una o más realizaciones del aparato, realizaciones del método o una combinación de las mismas se pueden utilizar durante las fases 384 y 386 de producción, por ejemplo, mediante la aceleración sustancial del montaje o la reducción del coste de una aeronave 378. De manera similar, una o más de las realizaciones del aparato, realizaciones del método o una combinación de las mismas se pueden utilizar mientras la aeronave 378 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para el mantenimiento y servicio 392.
- 25

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de una estructura (36) de material compuesto contorneada que tiene un eje de curvatura y al menos una pata (38, 40; 234, 236) curvada, que comprende:
- 5 superponer una pila plana de hojas de fibra de material preimpregnado, teniendo, cada una, orientaciones de fibra distintas de cero grados con respecto al eje de curvatura;
- superponer una hoja de fibra de material preimpregnado sobre la pila que tiene una orientación (231) de fibra de cero grados, incluyendo la colocación de estopas de material preimpregnado en segmentos (240) sobre una parte de la pila y la colocación de estopas continuas de material preimpregnado de fibra sobre la pila adyacente a la parte que tiene las estopas colocadas en segmentos;
- 10 formar la pila, incluyendo la hoja de cero grados en una banda (42; 232) y una pata (38, 40; 234, 236) curvada; y formar la pata curvada mediante la formación de la parte de la pila que tiene los segmentos de estopa sobre una herramienta curvada.
2. El método de la reivindicación 1, en donde la formación de la pila incluye la formación de la parte de la pila a un radio mayor.
- 15 3. El método de la reivindicación 1, en donde la formación de la pila incluye la formación de la parte de la pila a un radio menor.
4. El método de la reivindicación 1, en donde la colocación de las estopas de material preimpregnado en segmentos incluye la formación de huecos (242; 243) entre los segmentos de estopa.
- 20 5. El método de la reivindicación 1, en donde la colocación de las estopas en segmentos incluye sustancialmente la puesta en contacto los segmentos de estopa.
6. El método de la reivindicación 1, en donde la colocación de las estopas en segmentos incluye el solapamiento de los segmentos de estopa.
7. El método de la reivindicación 1, en donde la colocación de las estopas en segmentos incluye la disposición de los segmentos de extremo a extremo.
- 25 8. El método de la reivindicación 1, en donde la colocación de las estopas en segmentos incluye el escalonamiento de las tiras de los segmentos unas con respecto a las otras.



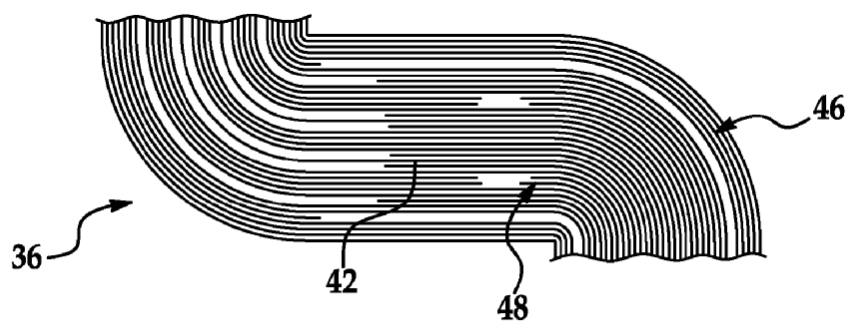


FIG. 4

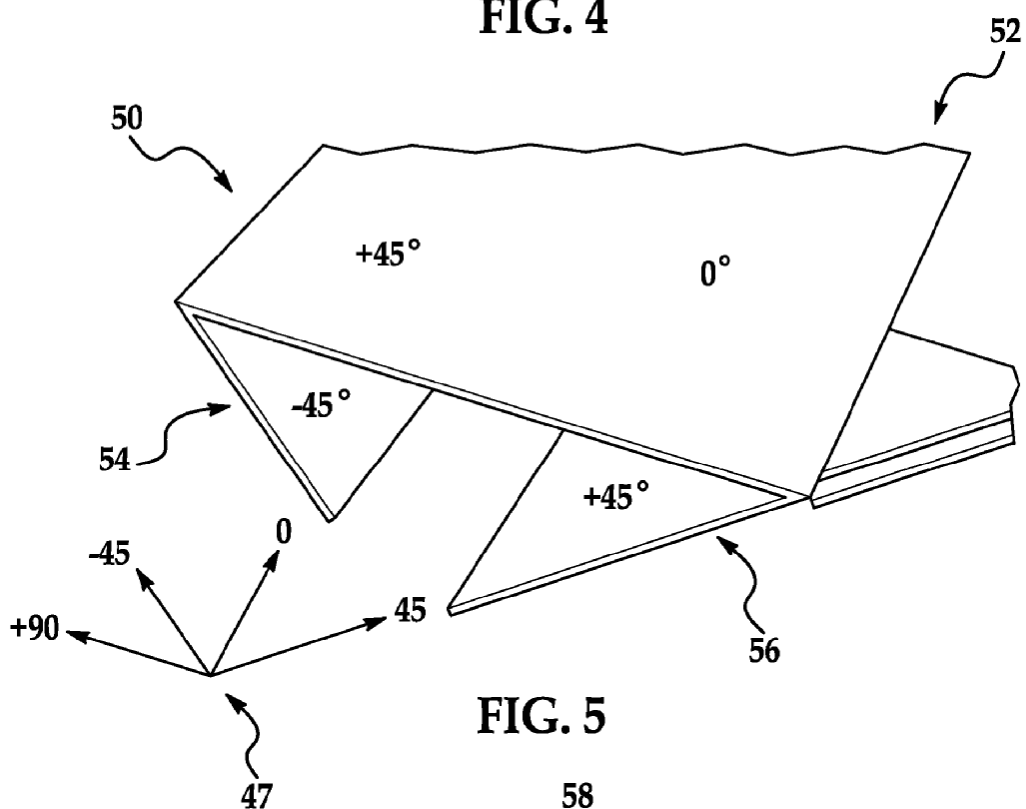


FIG. 5

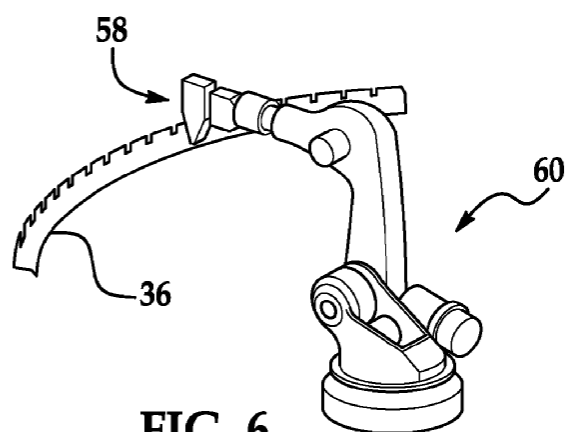


FIG. 6

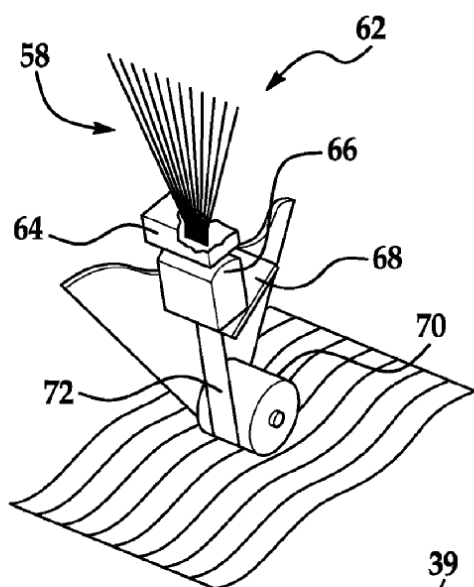


FIG. 7

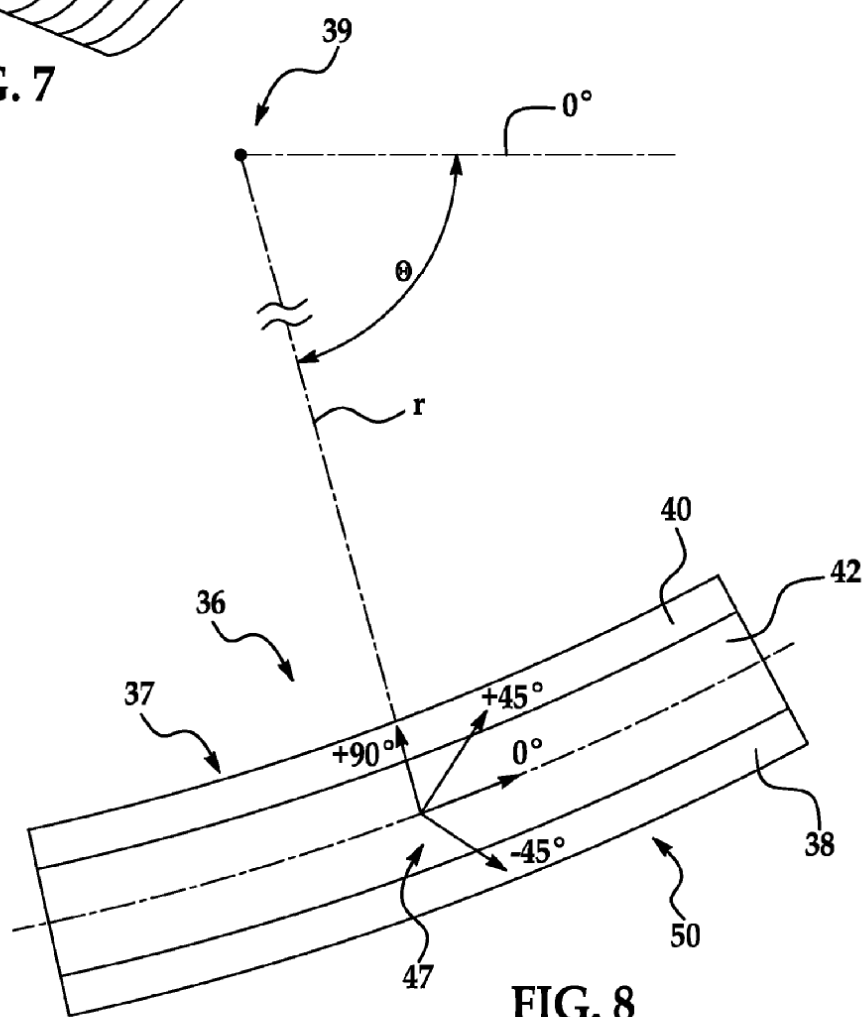
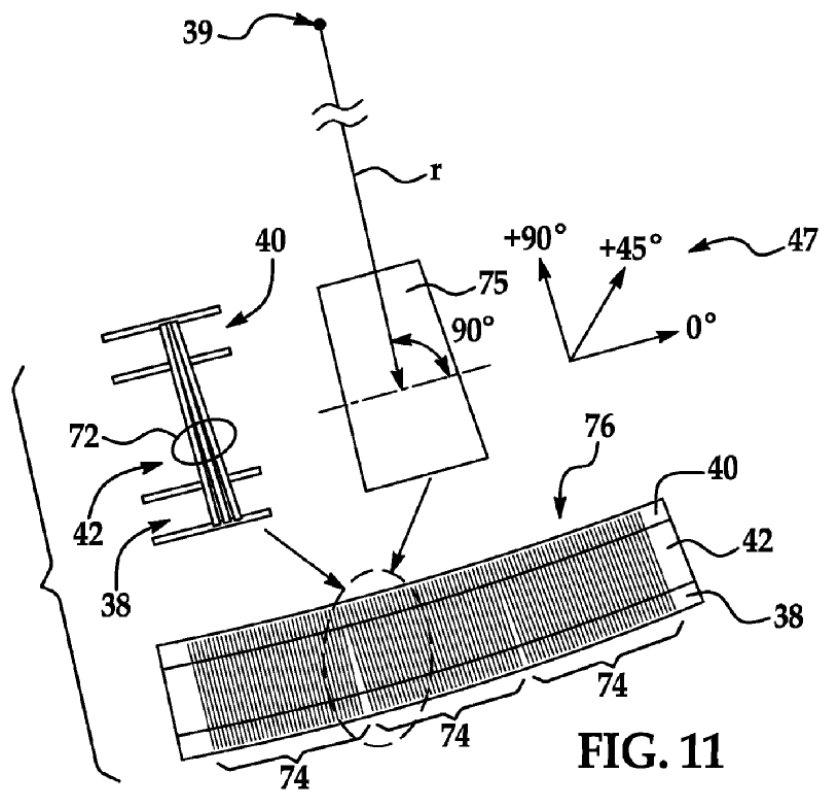
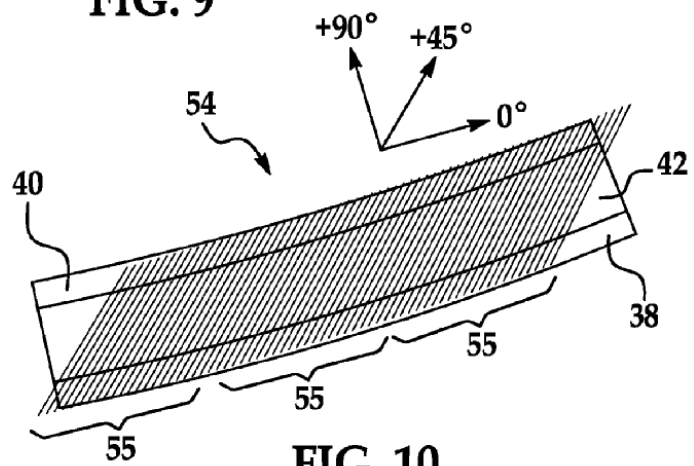
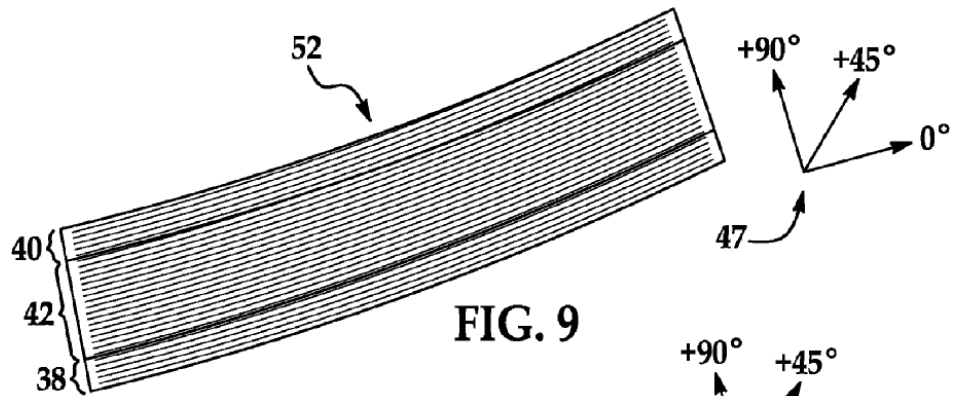
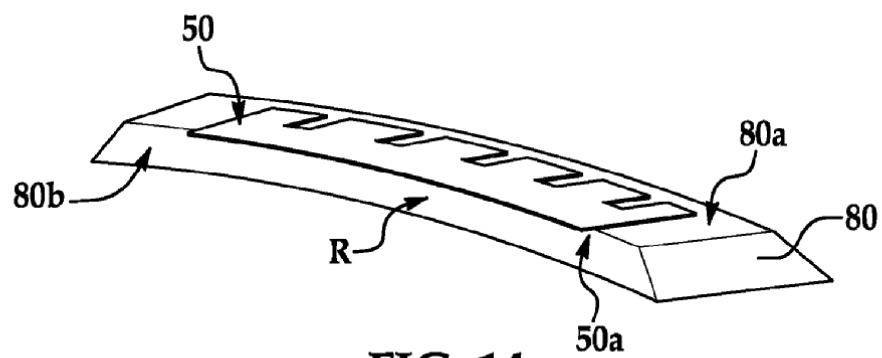
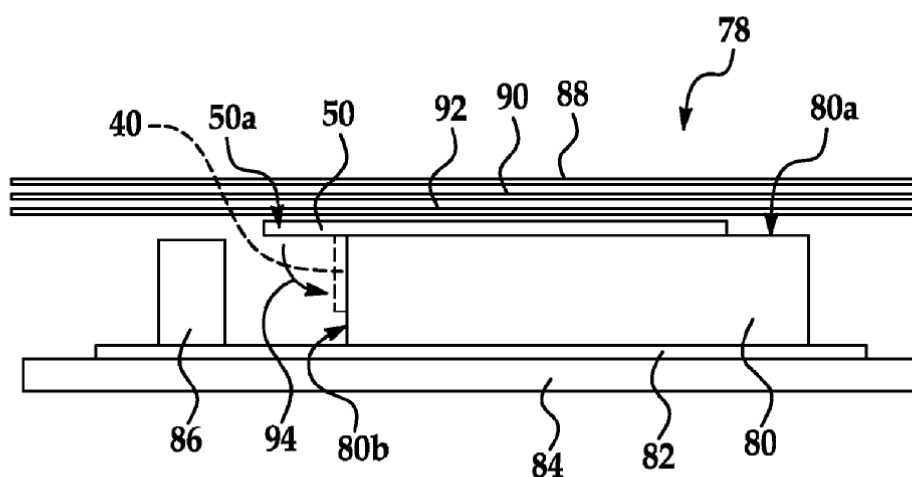
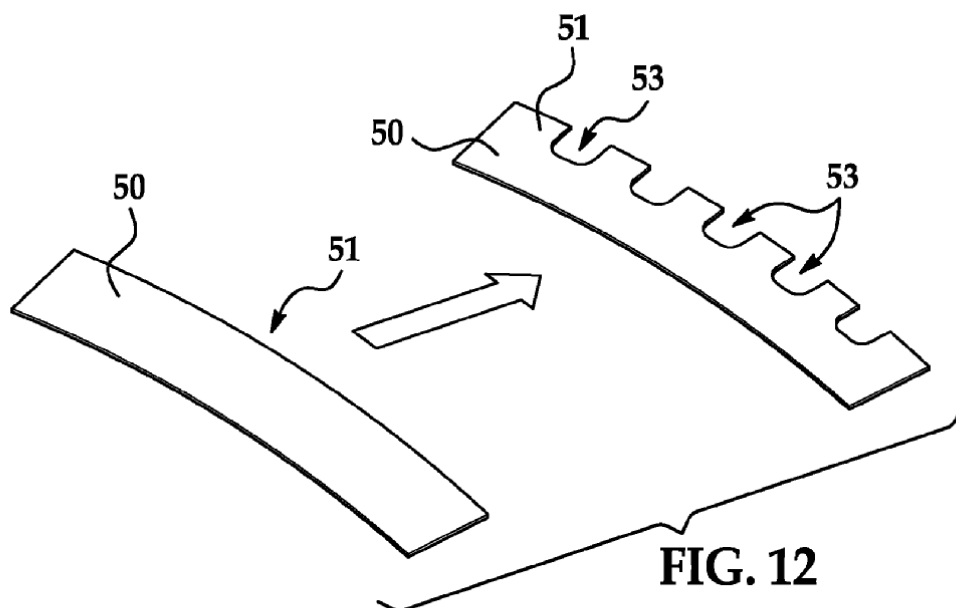


FIG. 8





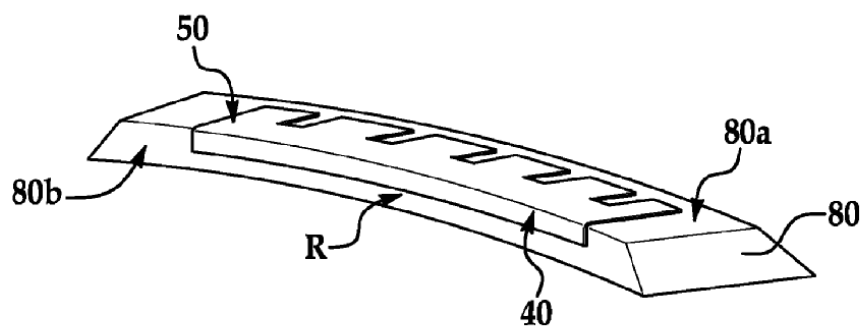


FIG. 15

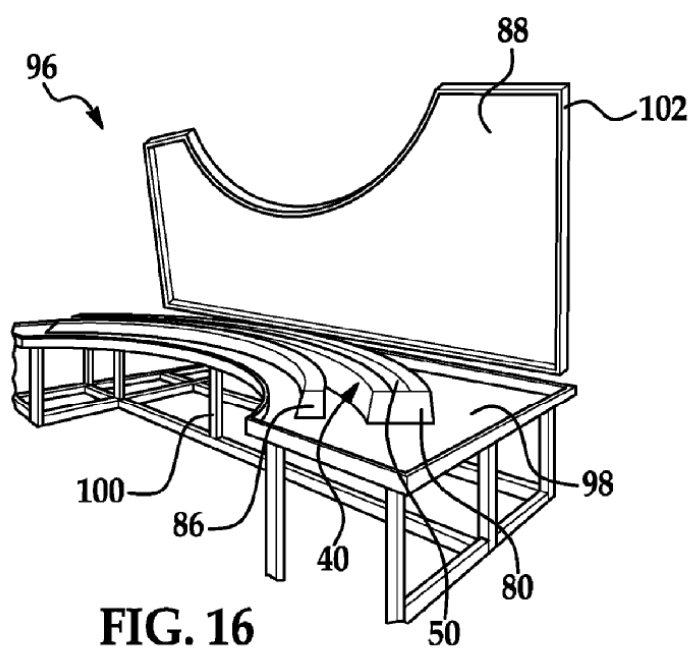


FIG. 16

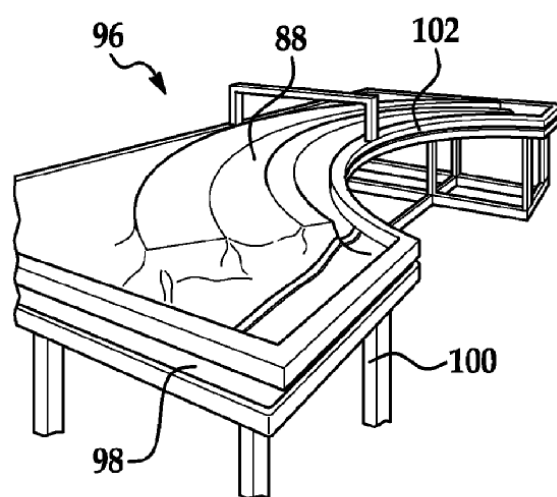


FIG. 17

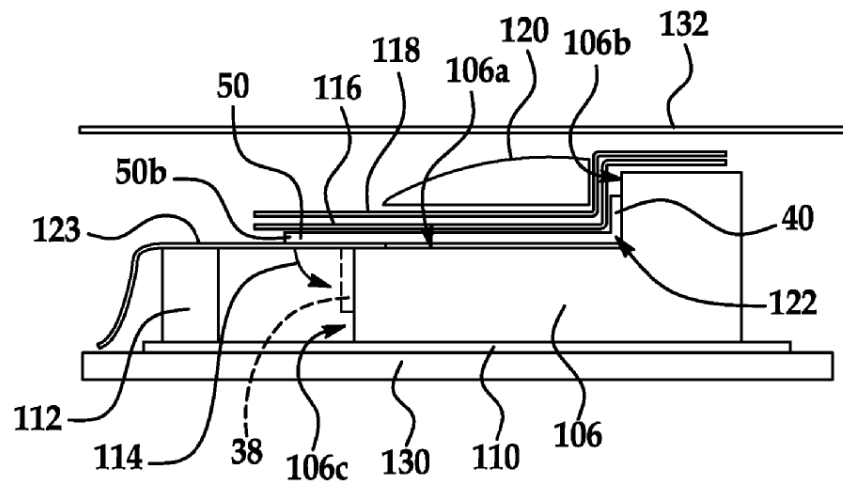


FIG. 18

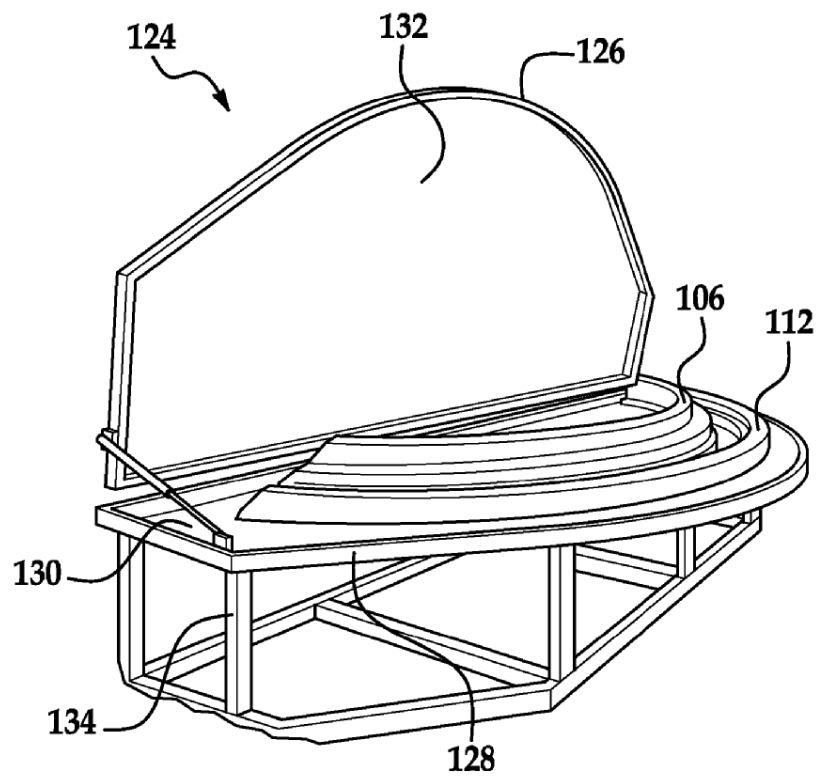


FIG. 19

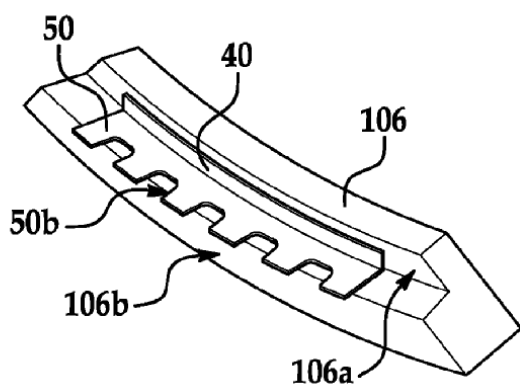


FIG. 20

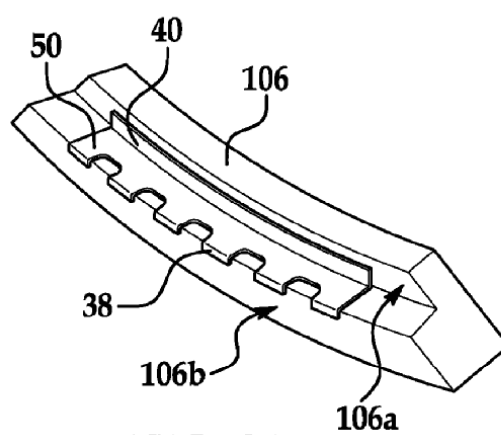


FIG. 21

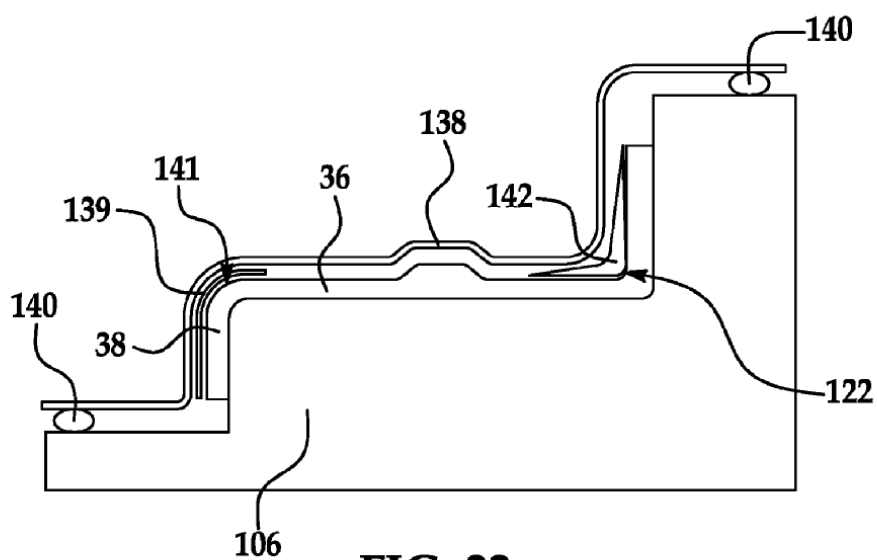


FIG. 22

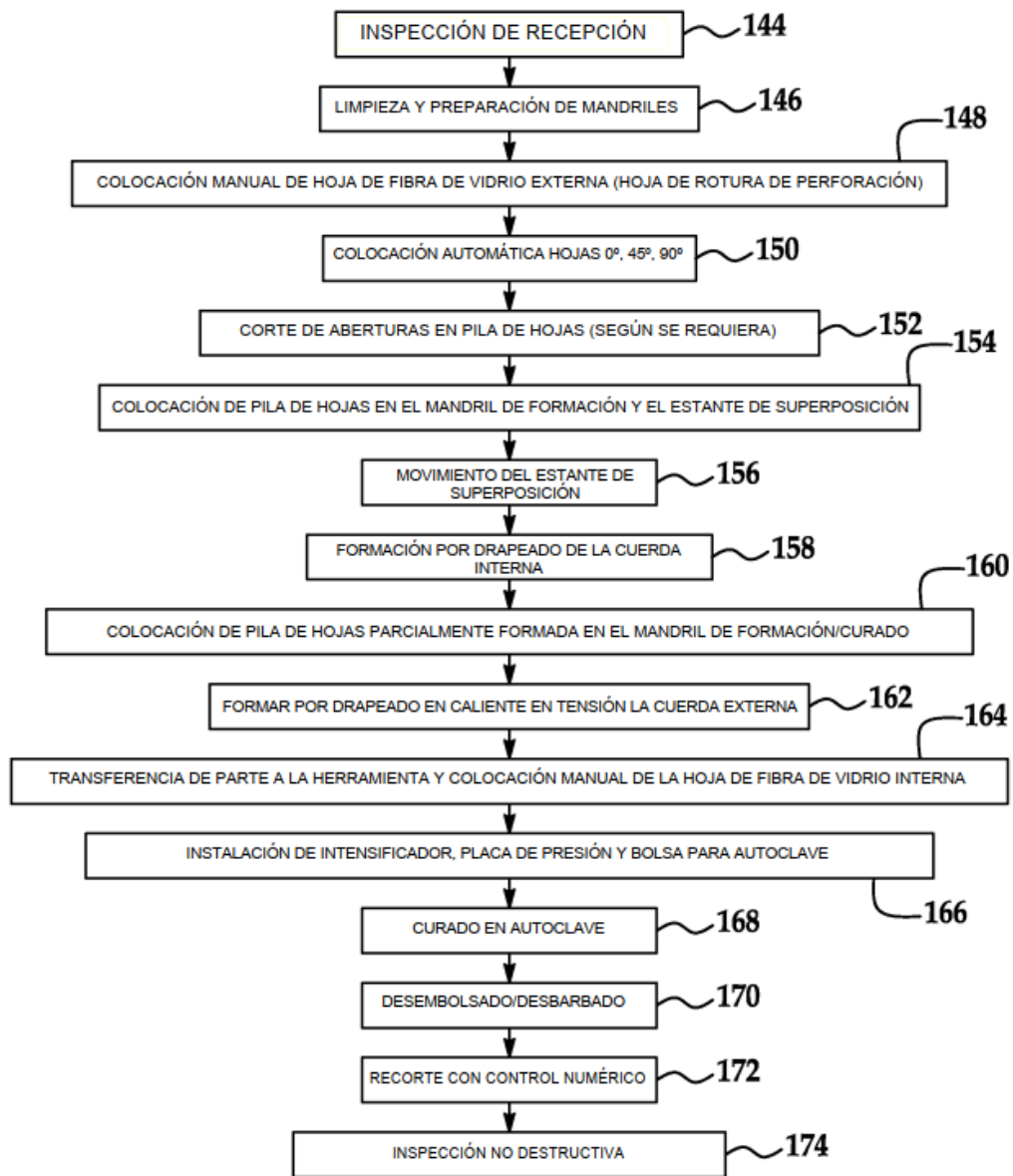


FIG. 23

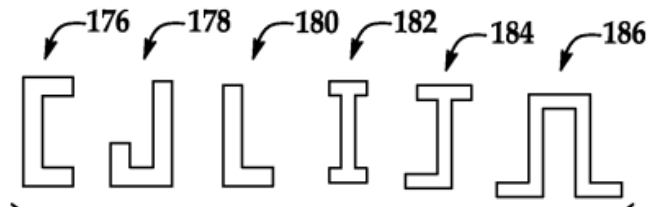


FIG. 24

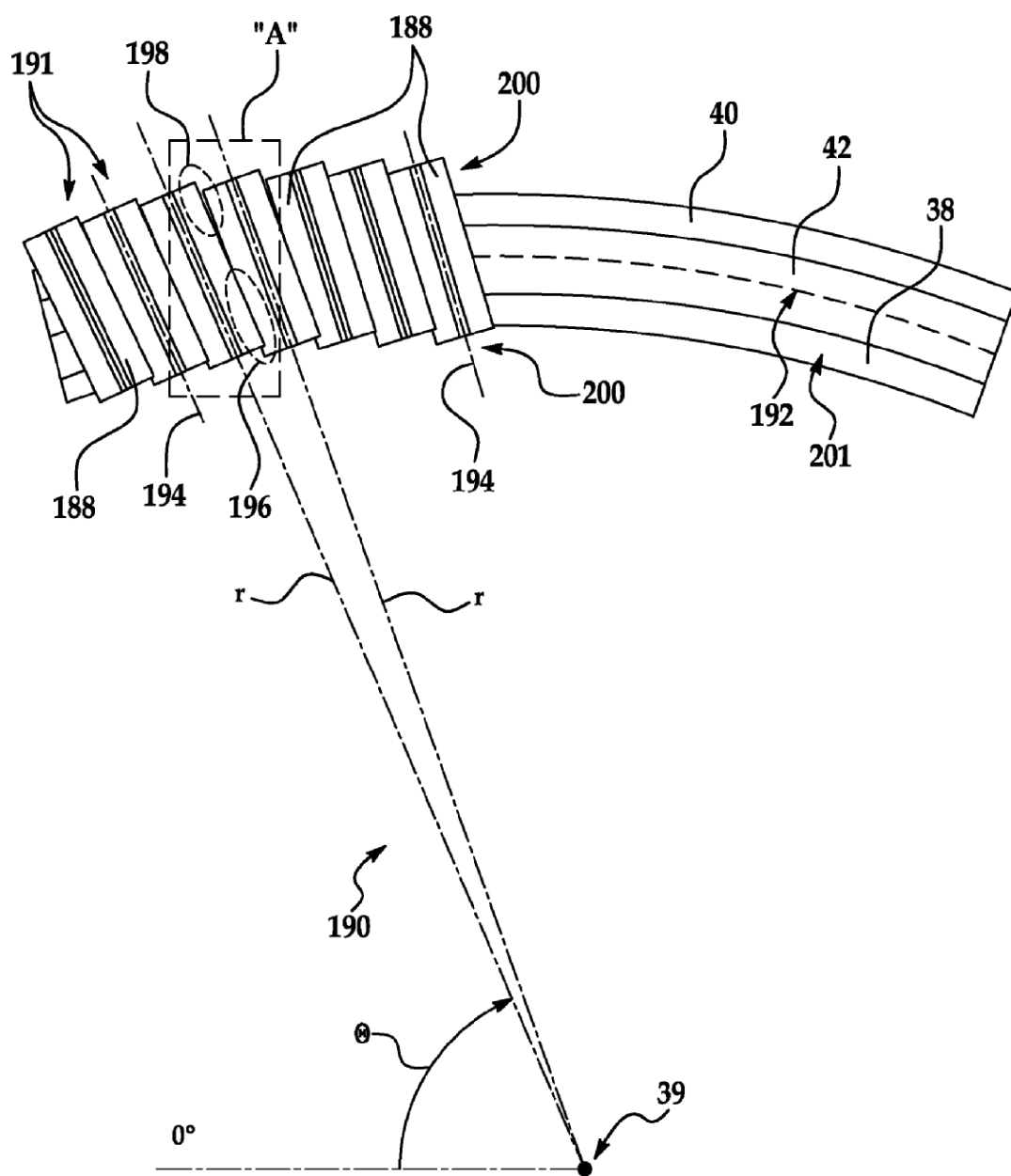
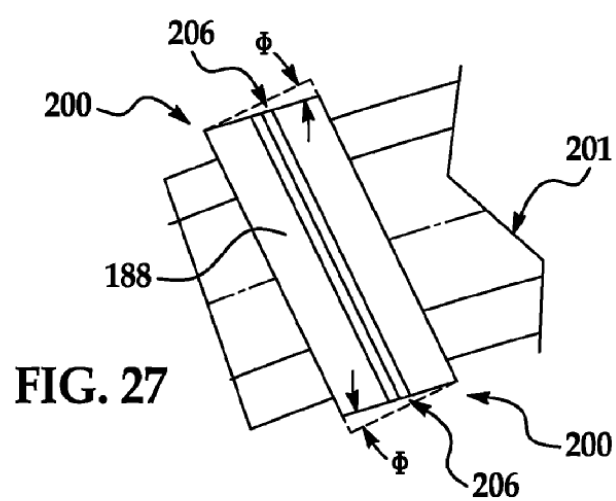
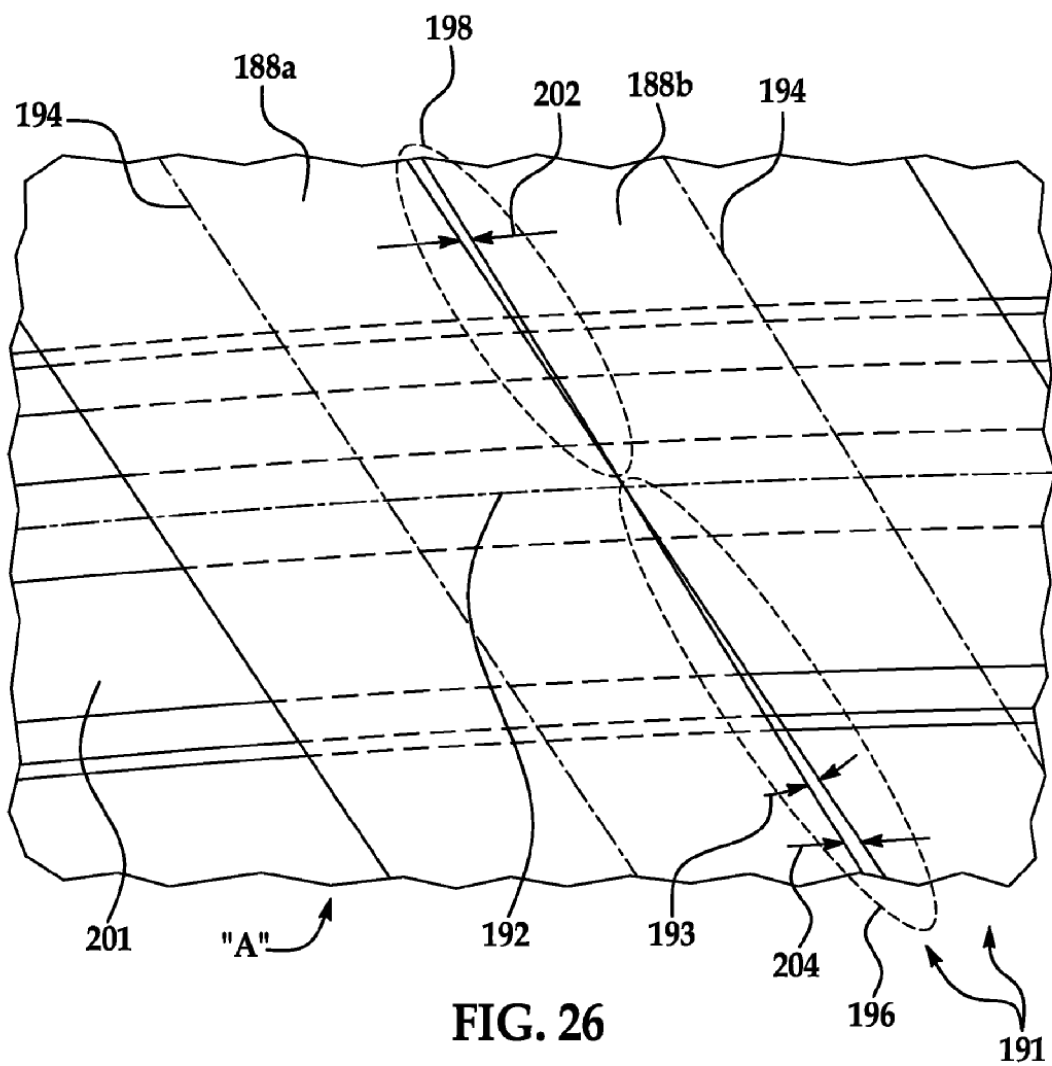


FIG. 25



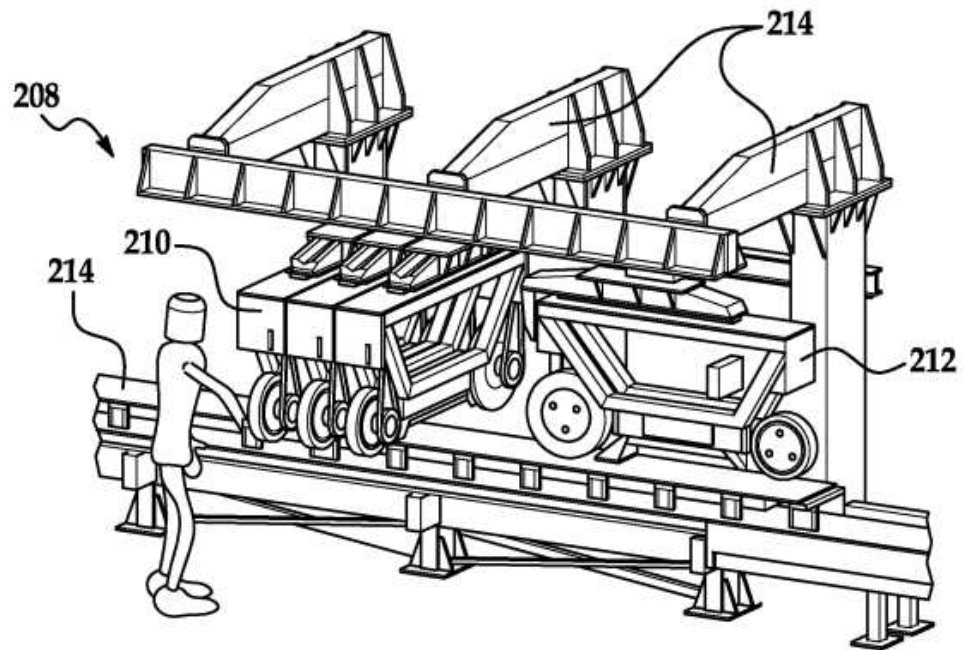


FIG. 28

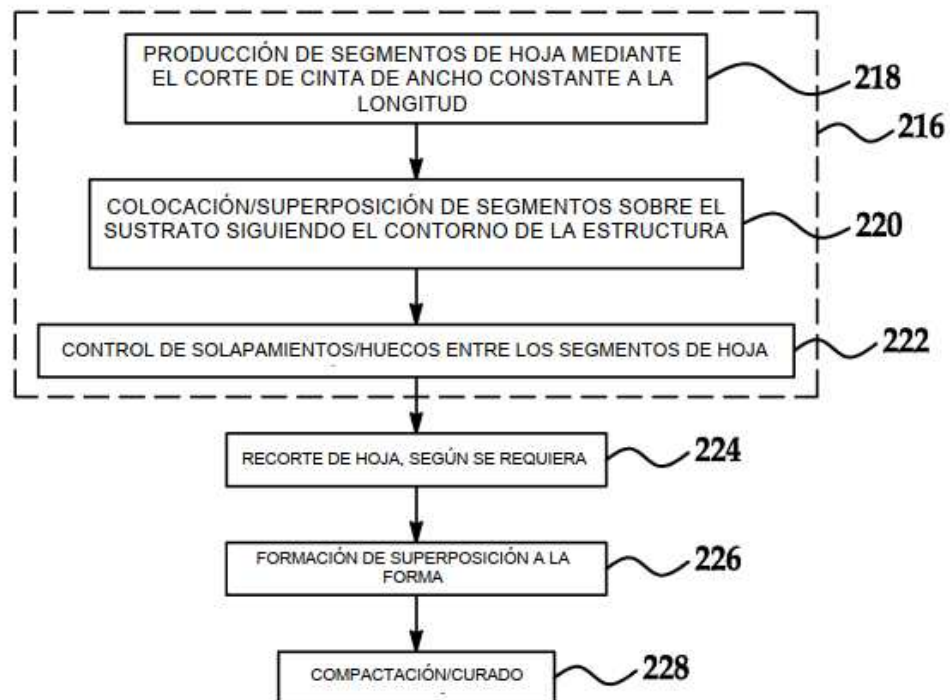


FIG. 29

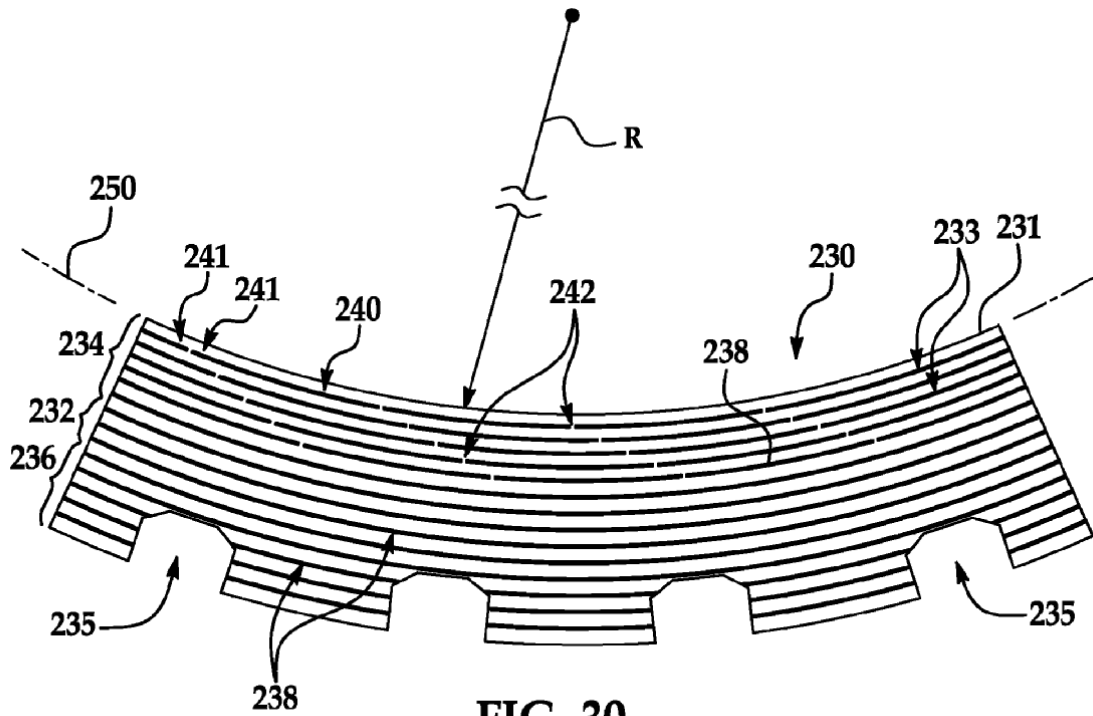


FIG. 30

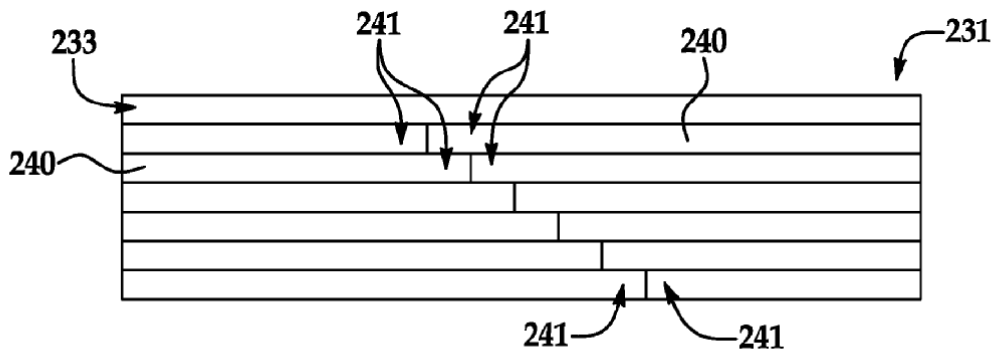


FIG. 31

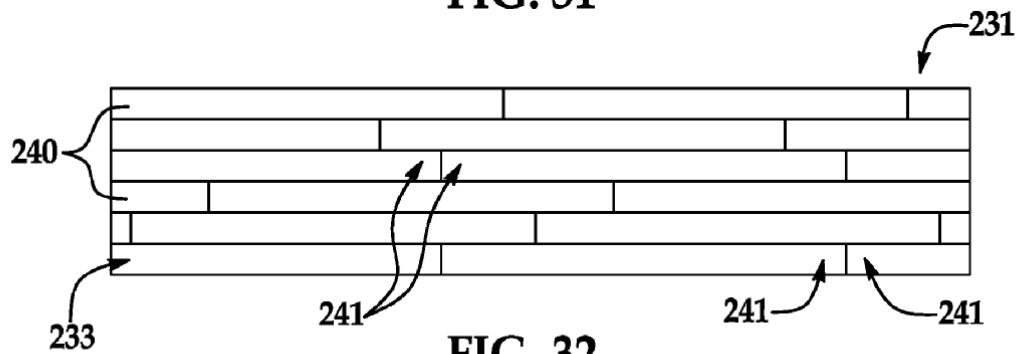


FIG. 32

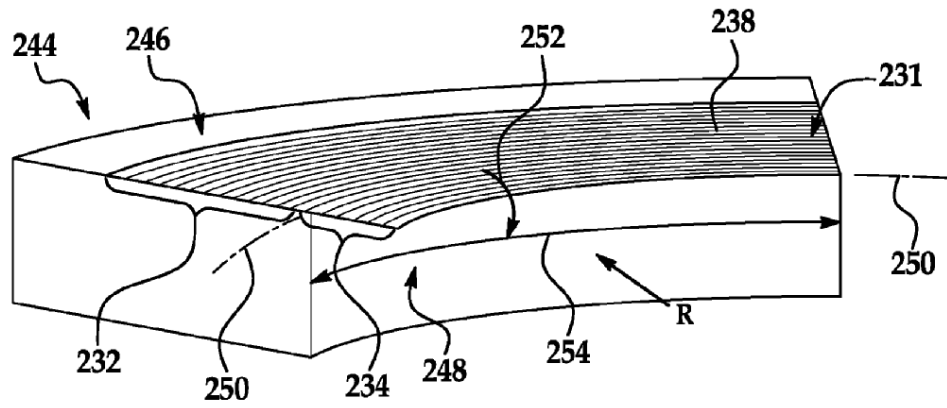


FIG. 33

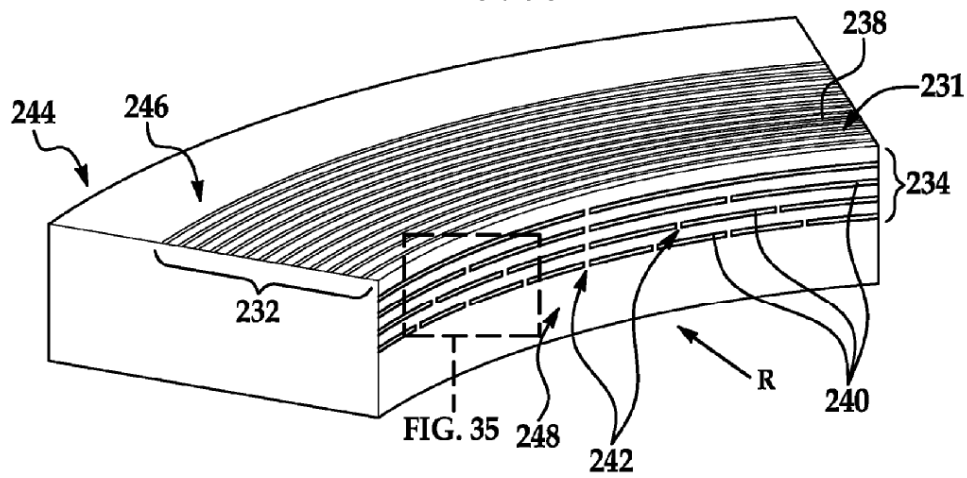


FIG. 34

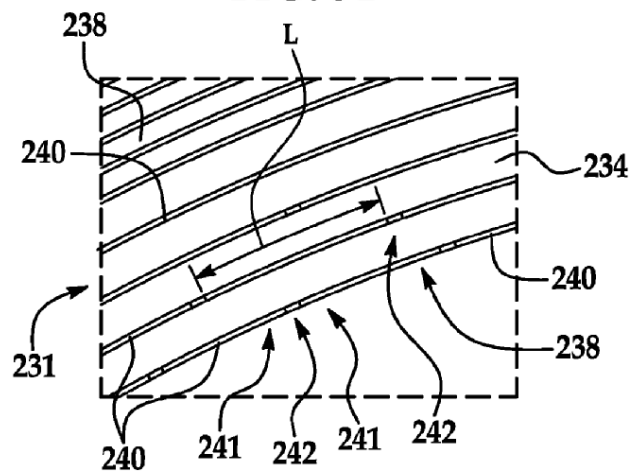
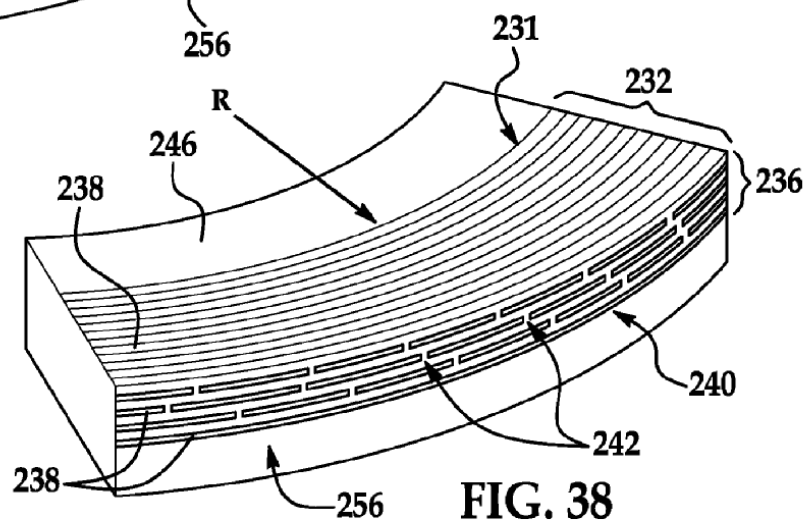
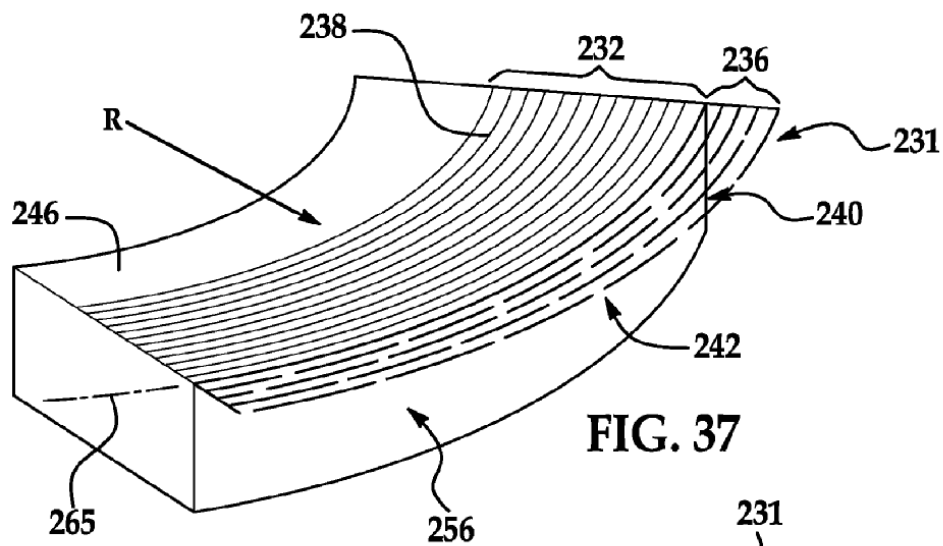
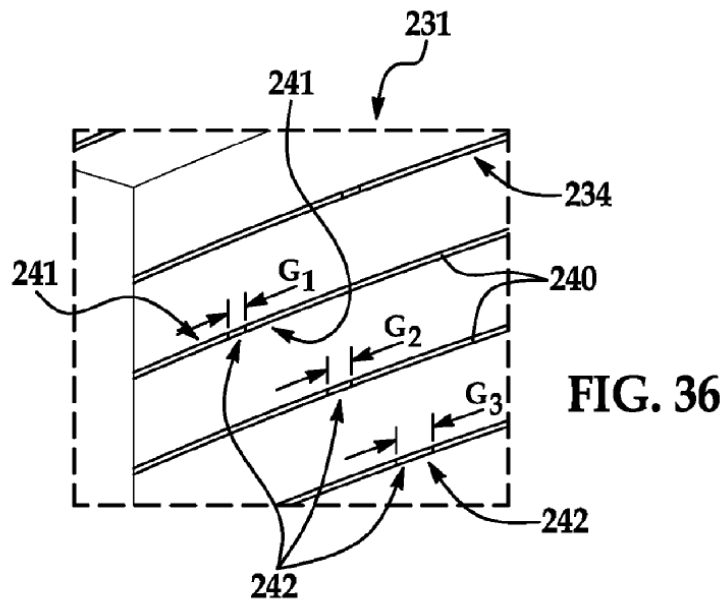


FIG. 35



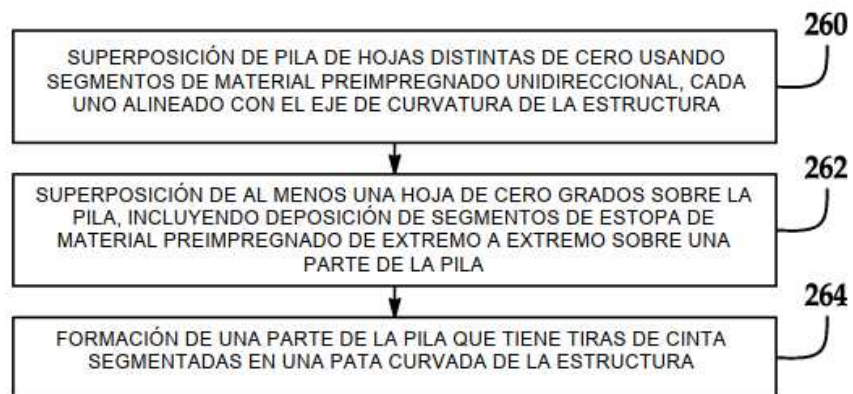
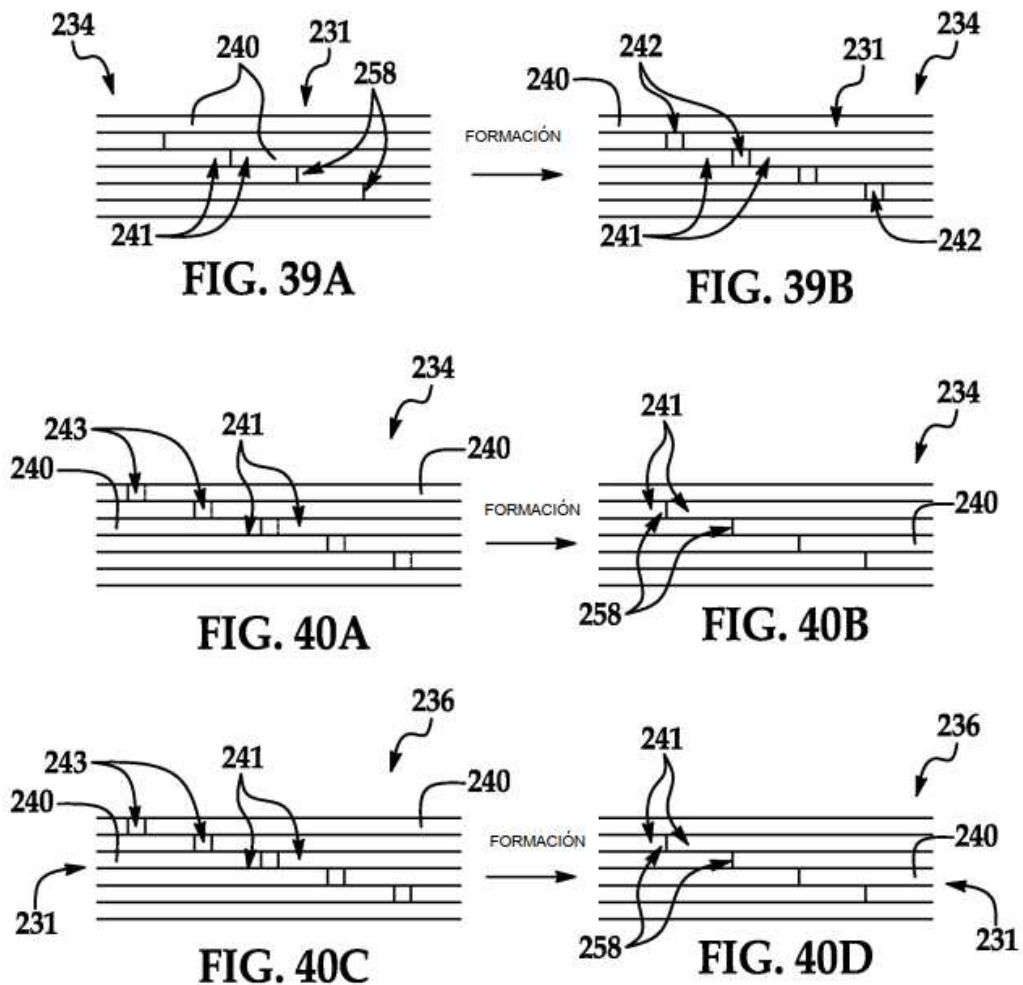


FIG. 41

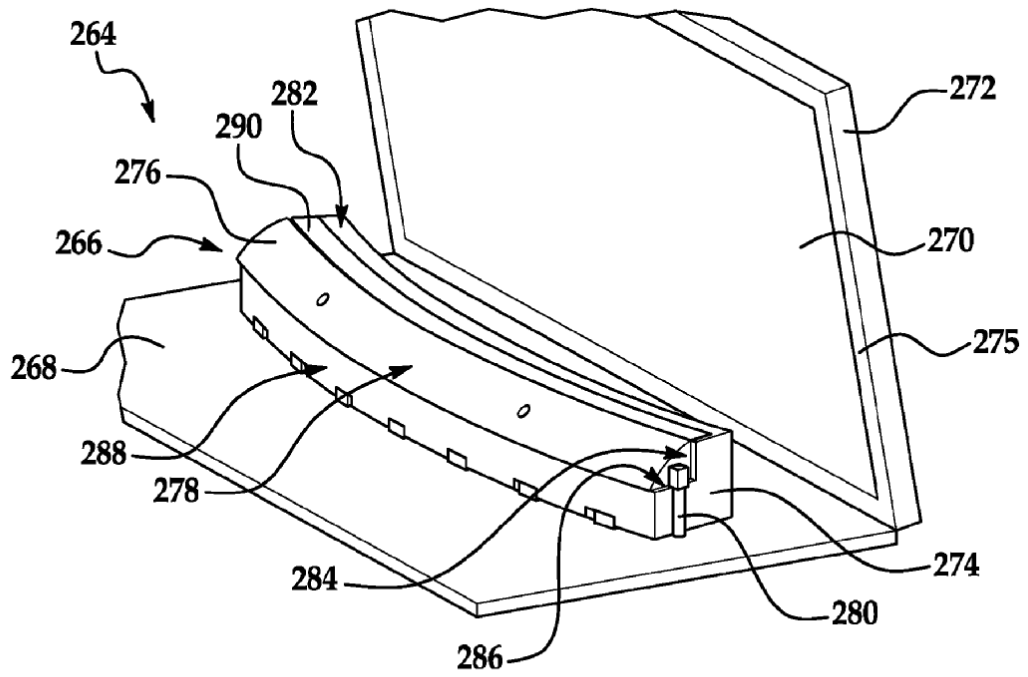


FIG. 42

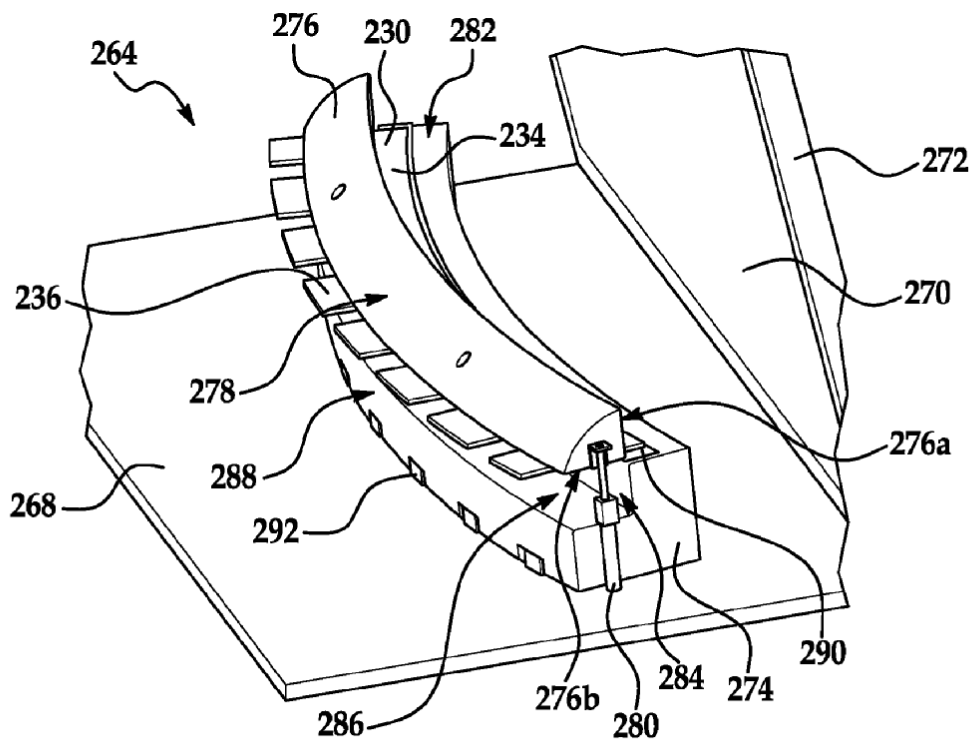


FIG. 43

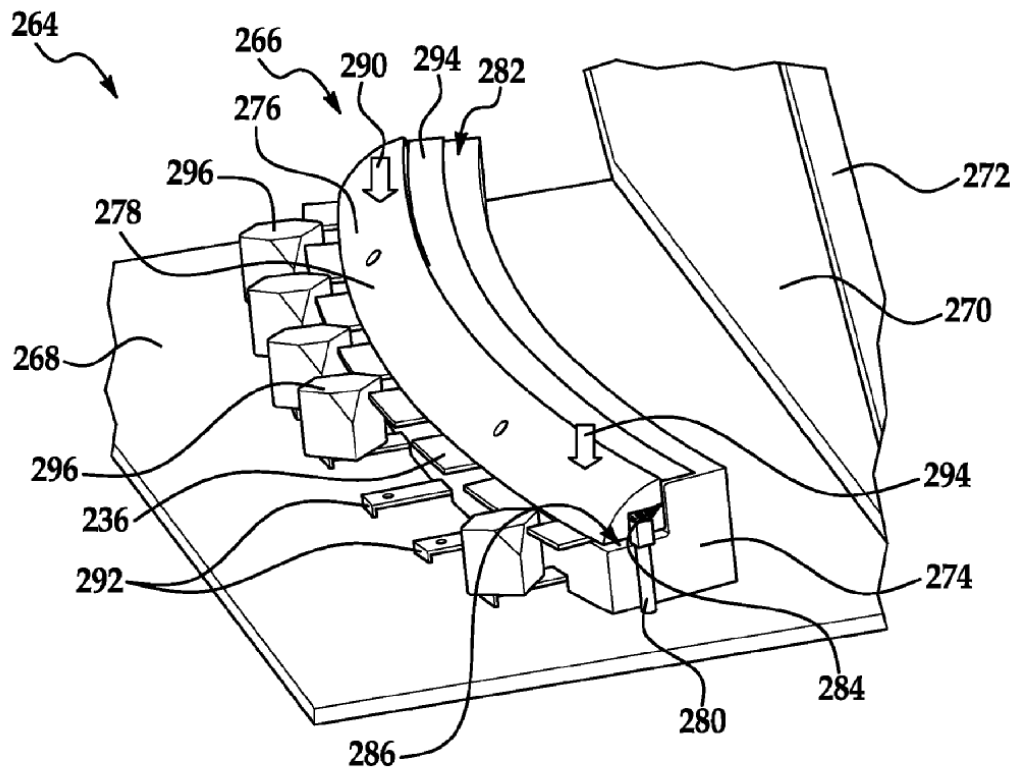


FIG. 44

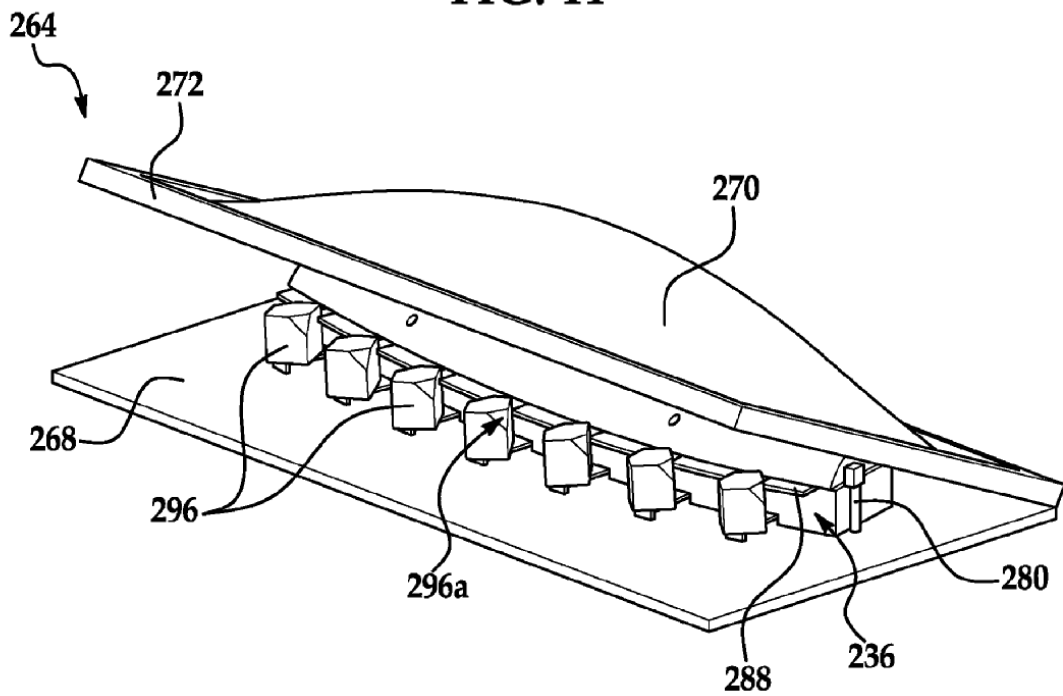


FIG. 45

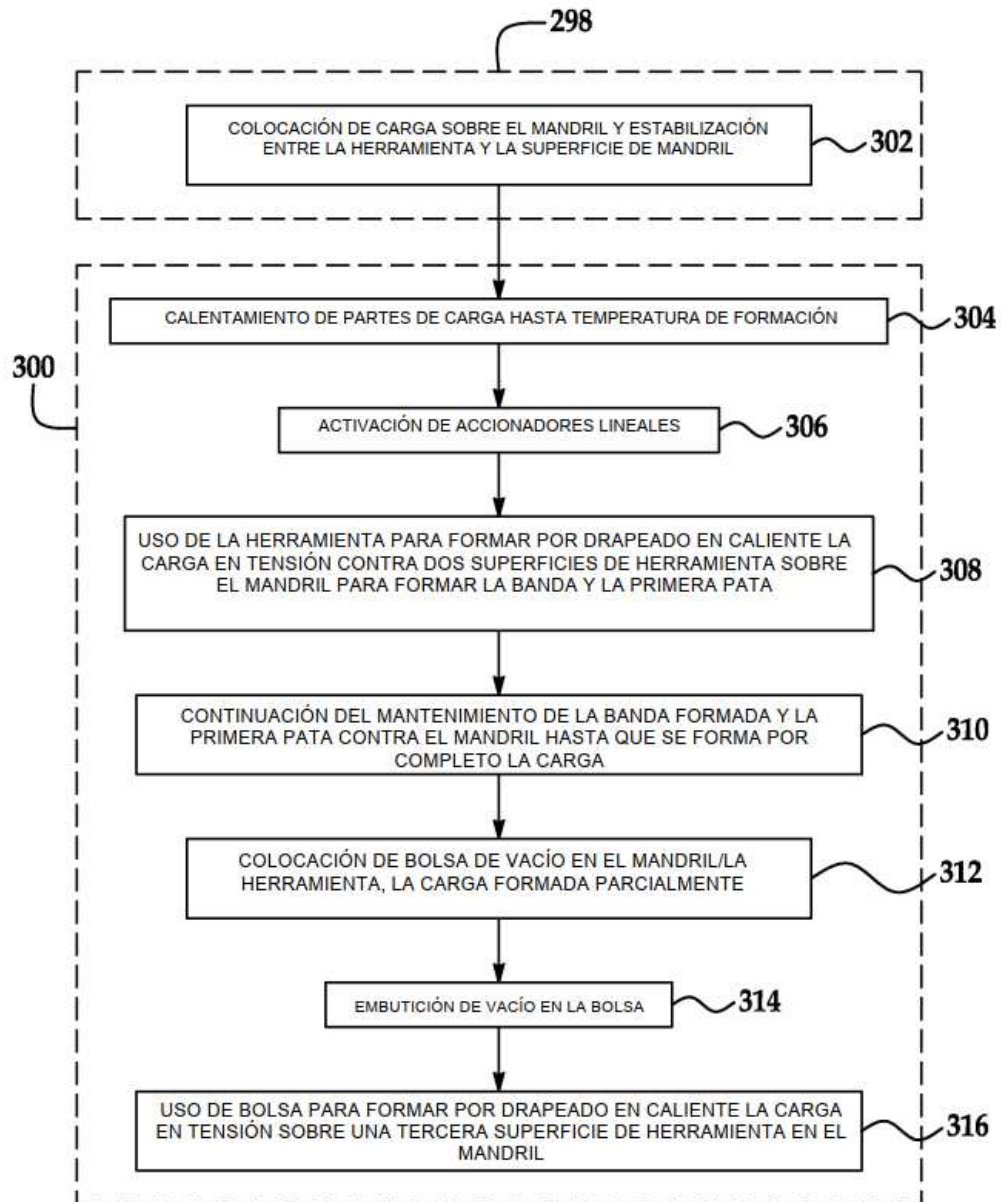


FIG. 46

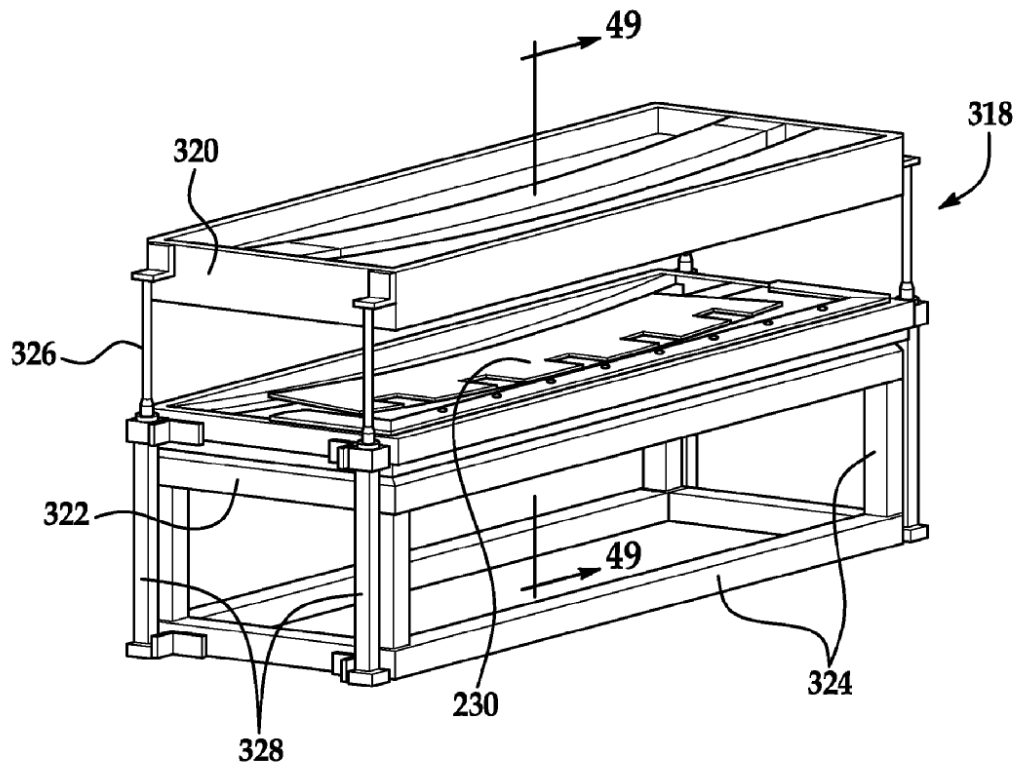


FIG. 47

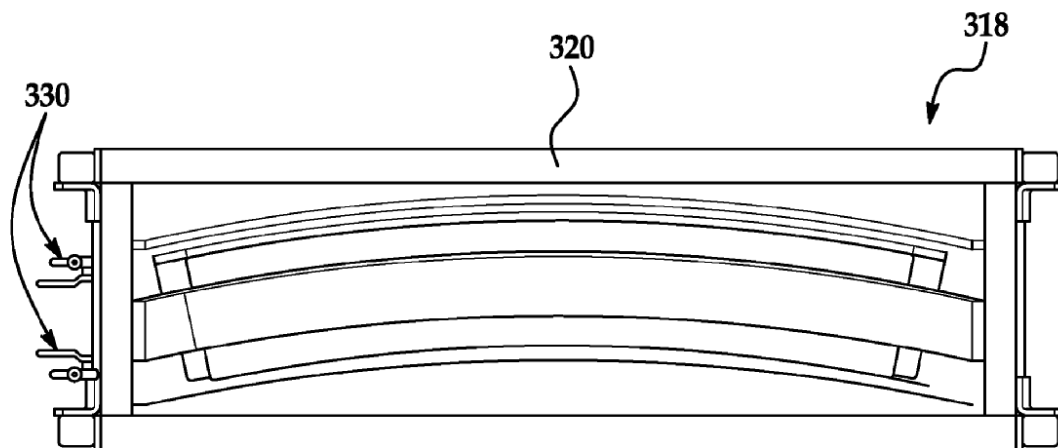
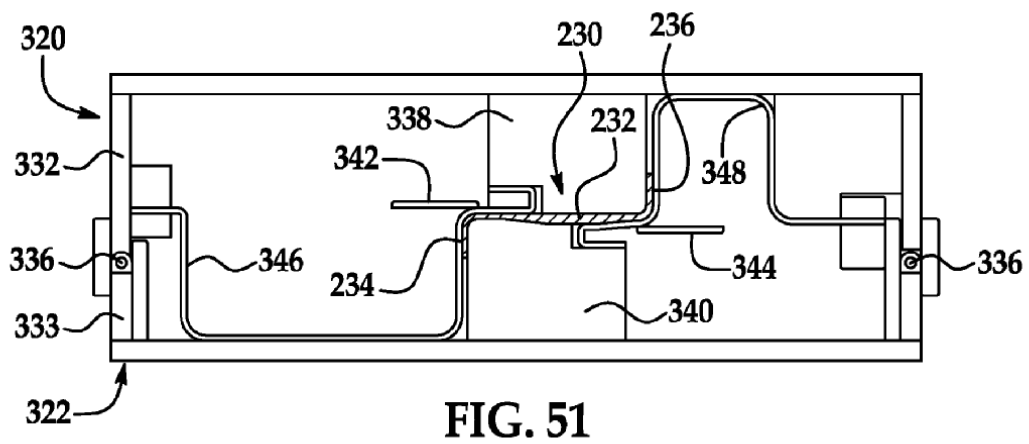
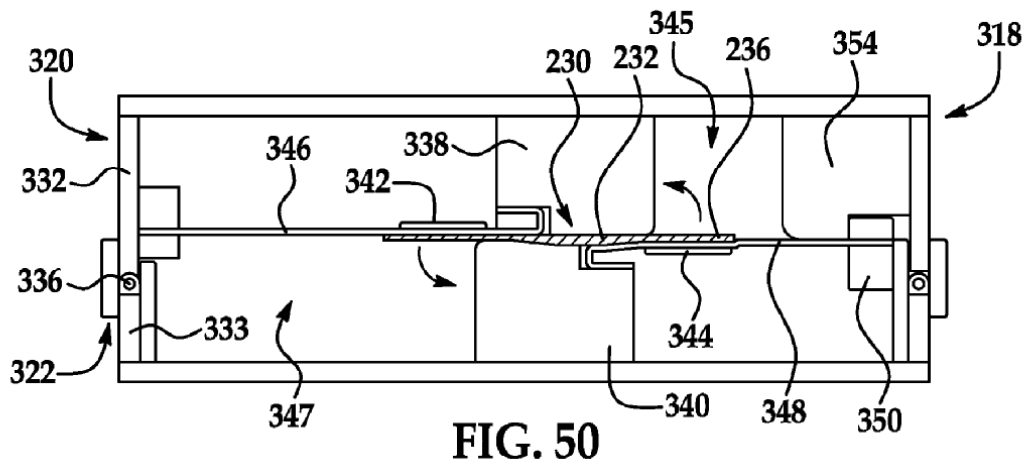
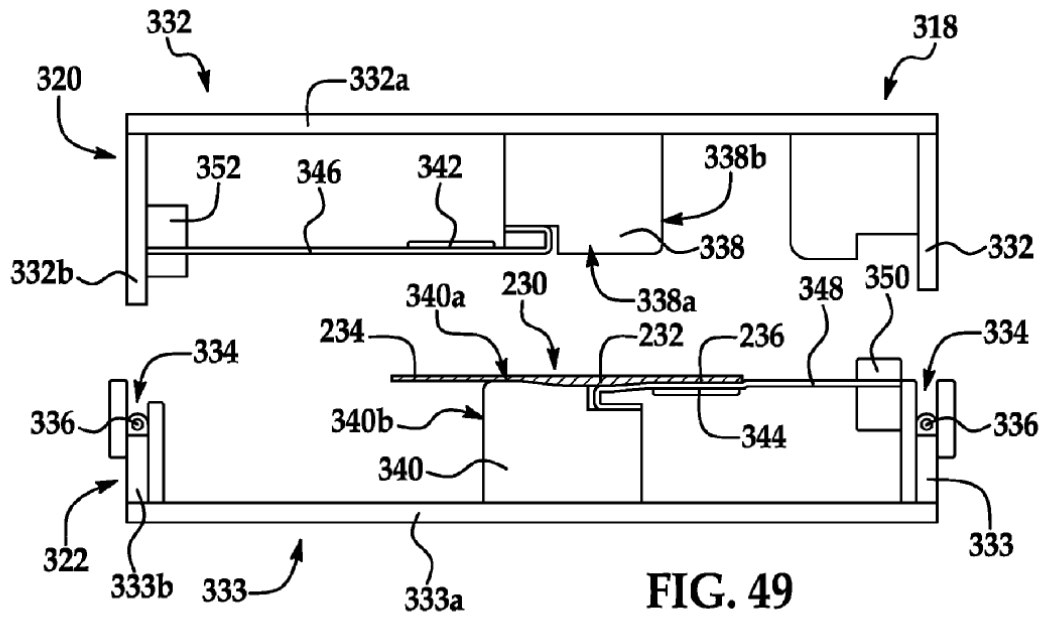


FIG. 48



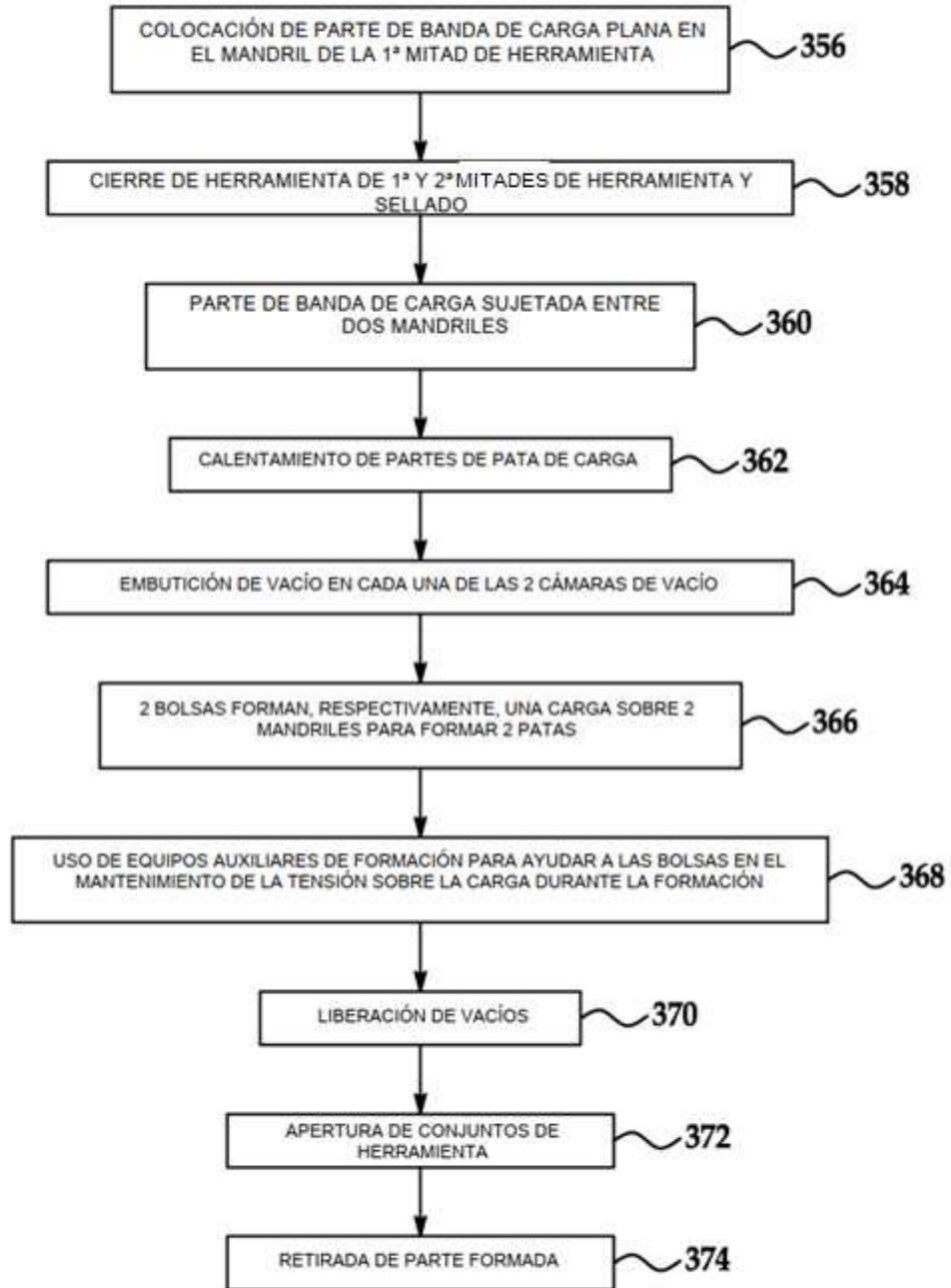


FIG. 52

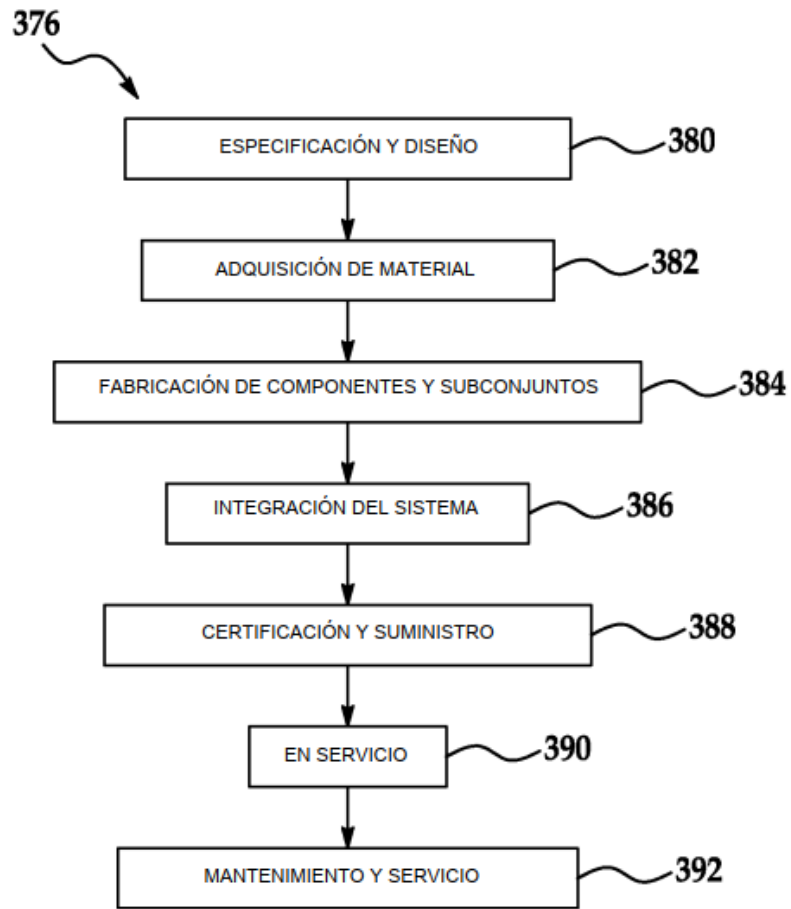


FIG. 53

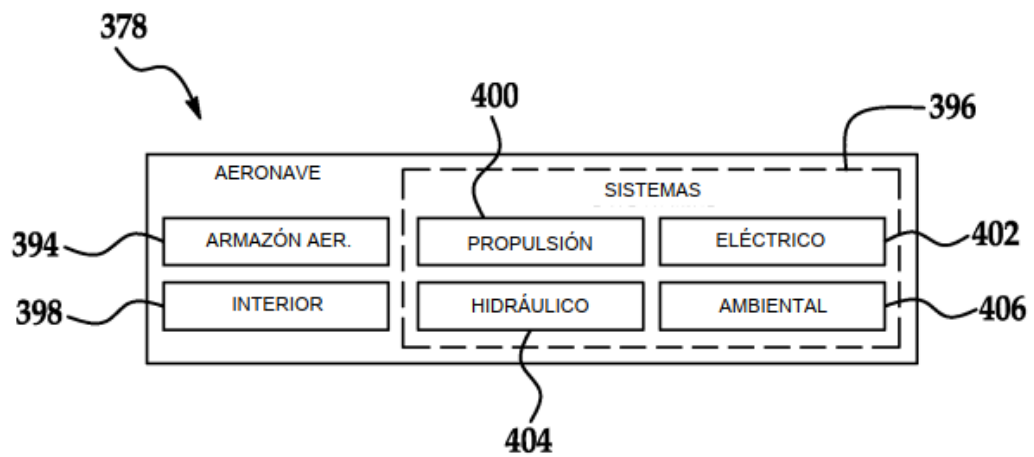


FIG. 54