

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 671**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2012 PCT/US2012/045674**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2013 WO13022534**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2012 E 12741153 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 2741909**

54 Título: **Método y dispositivo para transportar, colocar y compactar rigidizadores de material compuesto**

30 Prioridad:

**08.08.2011 US 201113205226**

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

**06.11.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**STEWART, SAMUEL R. y  
BALLOW, PAUL J.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 688 671 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 y dispositivo para transportar, colocar y compactar rigidizadores de material compuesto

**Información de antecedentes**

**1. Campo:**

5 La presente divulgación se refiere, en general, a la fabricación de estructuras de material compuesto y trata, más en particular, de un método y un dispositivo para transportar, colocar y compactar rigidizadores de material compuesto contorneados.

**2. Antecedentes:**

10 Durante la fabricación de rigidizadores de material compuesto contorneados, tales como larguerillos, puede usarse un compactador para compactar un apilamiento del larguerillo contra las superficies de herramienta. En algunos casos, las superficies de herramienta pueden contornearse a lo largo de uno o más planos. Se han desarrollado compactadores que son flexibles a lo largo de un único plano de curvatura, teniendo en consecuencia las superficies de herramienta, cuando el larguerillo está contorneado en más de un plano, geometrías relativamente complejas que requieren que el proceso de compactación se realice a mano. Cuando se apilan a mano larguerillos de material compuesto contorneados compuestos, pueden formarse arrugas en las capas laminadas que se acumulan en diversos puntos en el apilamiento y/o puede producirse una deformación de fibras no deseada. Usando técnicas de apilamiento a mano, es difícil controlar la localización de las arrugas de capa y la acumulación de capas, presentándose de este modo variaciones en la pieza acabada que pueden afectar al rendimiento de la pieza. Además, el factor humano implicado en el apilamiento manual puede presentar variaciones de proceso que conducen a inconsistencias no deseadas en las piezas acabadas.

15 El documento WO 2008/003721 muestra un método para producir un componente compuesto de fibra, en particular para el sector aeroespacial, que comprende las siguientes etapas de método: formar un núcleo de moldeo de una construcción en espiral para establecer una geometría exterior del núcleo de moldeo; depositar al menos parcialmente al menos un producto de fibra semiacabado sobre el núcleo de moldeo que se forma, para la conformación de al menos una parte moldeada del componente compuesto de fibra a producir; y exponer al menos una parte moldeada al calor y/o la presión para producir el componente compuesto de fibra; también un núcleo de moldeo correspondiente y un componente compuesto de fibra correspondiente.

20 El documento WO 2007/039085 A1 muestra un método y un dispositivo para colocar al menos una capa de material sobre un molde en relieve para producir un material compuesto. De este modo, un cuerpo deformable elásticamente reversible con un relieve de superficie que está diseñado para corresponderse con el molde en relieve se presiona contra la capa de material, lo que da como resultado que se deforme la superficie de dicho cuerpo y pueda recogerse la capa de material. Como resultado de sus características elásticamente reversibles, el cuerpo se deforma posteriormente volviendo a su estado inicial, de manera que la capa de material puede colocarse fácilmente sobre el molde en relieve.

25 En consecuencia, existe la necesidad de un método y un dispositivo para compactar rigidizadores de material compuesto contorneados, tales como larguerillos, que puedan distribuir el arrugamiento y acumulación de capas de forma consistente y predecible de manera que mejore la calidad y/o rendimiento de la pieza. También existe la necesidad de un dispositivo compactador que pueda usarse para transportar larguerillos a una herramienta de curado y que se adapte a las curvaturas compuestas del larguerillo durante la colocación y compactación del larguerillo.

**Sumario**

30 Por lo tanto, se desvela un compactador de acuerdo con la reivindicación 1 y un método de acuerdo con la reivindicación 7.

35 Las realizaciones desveladas proporcionan un método y un dispositivo para transportar, colocar y compactar rigidizadores de material compuesto, tales como larguerillos, que se contornean en más de un plano. El compactador coloca y compacta apilamientos de larguerillos en una herramienta de curado de una manera que regula y estandariza la distribución del arrugamiento de capas y/o la acumulación de capas. El dispositivo de compactación desvelado es flexible en múltiples planos y se adapta a los contornos del larguerillo independientemente de las ondulaciones en la geometría del larguerillo. Un arrugamiento/acumulación de capas predecible permite realizar cambios de ingeniería en el diseño del larguerillo que compensan el arrugamiento/acumulación de capas, mejorando de este modo la calidad y/o el rendimiento de la pieza.

De acuerdo con una realización desvelada, se proporciona un compactador para su uso en la fabricación de una estructura de material compuesto alargada contorneada. El compactador comprende al menos una primera sección flexible a lo largo de su longitud dentro de un primer plano, y al menos una segunda sección acoplada con la primera sección y flexible a lo largo de su longitud dentro del primer plano y dentro de un segundo plano. En general, los planos primero y segundo son ortogonales entre sí. Cada una de las secciones primera y segunda incluye una parte de tapa generalmente plana y una parte de sombrero adaptada para recibirse dentro de una cavidad en la estructura de material compuesto. La parte de tapa incluye una pluralidad de tiras de refuerzo que se extienden transversalmente a través de la anchura de la parte de tapa y espaciadas a lo largo de su longitud. La parte de tapa también incluye una pluralidad de juntas de caucho flexibles a lo largo de su longitud que permiten que la segunda sección se flexione dentro del segundo plano. La parte de sombrero incluye una pluralidad de hendiduras que se extienden transversalmente en la misma y que están sustancialmente alineadas con las juntas de caucho flexibles.

De acuerdo con otra realización, se proporciona un dispositivo para transportar y compactar un apilamiento de rigidizador de sombrero de material compuesto contorneado que tiene una cavidad en el mismo. El dispositivo comprende una parte de sombrero adaptada para colocarse dentro de la cavidad, y una parte de tapa generalmente plana acoplada con la parte de sombrero y flexible dentro de un primer plano generalmente paralelo a la parte de tapa. Tanto la parte de sombrero como la parte de tapa son flexibles en un segundo plano generalmente ortogonal al primer plano. La parte de tapa incluye capas laminadas de material flexible y tiras de refuerzo sustancialmente rígidas. El material flexible puede comprender caucho.

De acuerdo con una realización adicional, se proporciona un método de uso de un compactador para fabricar un rigidizador de material compuesto. El método comprende formar un apilamiento de rigidizador de material compuesto y poner el compactador en contacto con el apilamiento. El apilamiento de rigidizador se adhiere al compactador, y el compactador se usa para transportar y colocar el apilamiento de rigidizador sobre una superficie. El compactador compacta el apilamiento de rigidizador contra la superficie. Adherir el apilamiento de rigidizador al compactador incluye generar un vacío dentro del compactador, y usar el vacío para aspirar el apilamiento de rigidizador contra el compactador. La aspiración del apilamiento de rigidizador contra el compactador incluye generar una fuerza de succión atrayendo aire a través de los lados del compactador en contacto con el apilamiento. Usar el compactador para colocar el apilamiento de rigidizador incluye adaptar el compactador a la geometría de la superficie permitiendo que el compactador se flexione dentro de dos planos generalmente ortogonales.

De acuerdo con una realización adicional más, se proporciona un método de fabricación de un compactador flexible en planos ortogonales para compactar un apilamiento de rigidizador de material compuesto contorneado. El método comprende apilar al menos una primera parte del compactador colocando una pluralidad de tiras de refuerzo de material compuesto en una relación generalmente paralela y espaciadas entre sí, y formar juntas flexibles entre las tiras de refuerzo laminando una capa de caucho flexible con las tiras de refuerzo. La laminación incluye curar conjuntamente la capa de caucho y las tiras de refuerzo. Apilar la primera parte del compactador incluye proporcionar al menos una capa plana de resina reforzada con fibra, almenar los bordes opuestos de la capa plana para formar tiras de pestaña en la capa plana, y apilar las tiras de refuerzo sobre las tiras de pestaña.

En resumen, de acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un compactador para su uso en la fabricación de una estructura de material compuesto alargada contorneada, tal como se define en la reivindicación 1, que incluye al menos una primera sección flexible a lo largo de su longitud dentro de un primer plano; y al menos una segunda sección acoplada con la primera sección y flexible a lo largo de su longitud dentro del primer plano y dentro de un segundo plano.

Ventajosamente, los planos primero y segundo del compactador son generalmente ortogonales entre sí. La segunda sección del compactador incluye una primera parte generalmente plana y una segunda parte adaptada para recibirse dentro de una cavidad en la estructura de material compuesto. La primera parte del compactador incluye una pluralidad de tiras de refuerzo que se extienden transversalmente a través de la anchura de la primera parte y espaciadas a lo largo de la primera parte, unas ranuras entre las tiras de refuerzo y un material flexible en las ranuras. La segunda parte del compactador incluye una pluralidad de hendiduras que se extienden transversalmente en la misma, estando las hendiduras sustancialmente alineadas con las ranuras en la primera parte. La segunda sección del compactador incluye una pluralidad de juntas de caucho flexibles a lo largo de su longitud que permiten que la segunda sección se flexione dentro del segundo plano. La segunda sección del compactador incluye tiras de refuerzo y de caucho alternas a lo largo de su longitud.

Ventajosamente, el compactador comprende además una junta de empalme entre las secciones primera y segunda.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un dispositivo para transportar y compactar un apilamiento de rigidizador de sombrero de material compuesto contorneado que tiene una cavidad, incluyendo una parte de sombrero adaptada para colocarse dentro de la cavidad; y una parte de tapa generalmente plana acoplada con la parte de sombrero y flexible dentro de un primer plano generalmente paralelo a la parte de tapa.

Ventajosamente, tanto la parte de sombrero como la parte de tapa del dispositivo son flexibles en un segundo plano

generalmente ortogonal al primer plano.

Ventajosamente, la parte de tapa del dispositivo incluye capas laminadas de material flexible y tiras de refuerzo sustancialmente rígidas que se extienden transversalmente a través de la anchura de la parte de tapa.

5 Ventajosamente, el material flexible del dispositivo es caucho, las tiras de refuerzo están espaciadas entre sí a lo largo de la longitud de la parte de tapa para definir las ranuras transversales, y las ranuras están sustancialmente llenas de caucho.

Ventajosamente, las tiras de refuerzo del dispositivo incluyen resina reforzada con fibra unidireccional, y el material flexible incluye caucho sintético.

10 Ventajosamente, la parte de sombrero del dispositivo incluye una pluralidad de hendiduras en la misma a lo largo de su longitud, extendiéndose las hendiduras sustancialmente perpendiculares al plano de la tapa y estando sustancialmente alineadas con las ranuras entre las tiras de refuerzo.

Ventajosamente, la parte de sombrero del dispositivo incluye una pluralidad de hendiduras a lo largo de su longitud que están adaptadas para acoplarse con una fuente de vacío para aspirar el apilamiento contra la parte de sombrero.

15 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un método de uso de un compactador para fabricar un rigidizador de material compuesto como se define en la reivindicación 7, que incluye formar un apilamiento de rigidizador de material compuesto; poner el compactador en contacto con el apilamiento de rigidizador; adherir el apilamiento de rigidizador al compactador; usar el compactador para transportar y colocar el apilamiento de rigidizador sobre una superficie; y usar el compactador para compactar el apilamiento de rigidizador  
20 contra la superficie.

Ventajosamente, la etapa de adherir el apilamiento de rigidizador al compactador del método incluye generar un vacío dentro del compactador, y usar el vacío para aspirar el apilamiento de rigidizador contra el compactador.

25 Ventajosamente, la etapa de aspirar el apilamiento de rigidizador contra el compactador del método incluye generar una fuerza de aspiración atrayendo aire a través de los lados del compactador en contacto con el apilamiento de rigidizador.

Ventajosamente, la etapa de usar el compactador para colocar el apilamiento de rigidizador del método incluye adaptar el compactador a la geometría de la superficie, permitiendo que el compactador se flexione dentro de dos planos generalmente ortogonales.

30 De acuerdo con un aspecto adicional más, se proporciona un método de fabricación de un compactador flexible en planos ortogonales para compactar un apilamiento de rigidizador de material compuesto contorneado, que incluye apilar al menos una primera parte del compactador colocando una pluralidad de tiras de refuerzo de material compuesto en una relación generalmente paralela y espaciadas entre sí; y formar juntas flexibles entre las tiras de refuerzo laminando una capa de caucho flexible con las tiras de refuerzo.

35 Ventajosamente, la etapa de laminar del método incluye curar conjuntamente la capa de caucho y las tiras de refuerzo.

Ventajosamente, la etapa de apilar la primera parte del compactador del método incluye proporcionar al menos una capa plana de resina reforzada con fibra, almenar los bordes opuestos de la capa plana para formar tiras de pestaña en la capa plana, y apilar las tiras de refuerzo sobre las tiras de pestaña.

40 Ventajosamente, el método incluye, además, apilar una segunda parte del compactador apilando una pluralidad de capas de resina reforzada con fibra sobre una herramienta que tiene una cavidad en la misma; y colocar una cámara de aire dentro de la cavidad de herramienta sobre las capas de resina reforzada con fibra apiladas, realizándose el apilamiento de la primera parte del compactador colocando las tiras de refuerzo sobre las capas de resina reforzada con fibra apiladas en la herramienta.

45 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un dispositivo para transportar, colocar y compactar un larguero de sombrero de material compuesto contorneado compuesto, que incluye una parte de tapa sustancialmente continua, alargada y generalmente plana, incluyendo la parte de tapa una primera sección flexible solo dentro de un primer plano e incluyendo una pluralidad de capas laminadas de resina reforzada con fibra, una segunda sección flexible dentro del primer plano y flexible dentro de un segundo plano ortogonal al primer plano, incluyendo la segunda sección una pluralidad de tiras apiladas de resina reforzada con fibra unidireccional, estando las tiras apiladas  
50 espaciadas a lo largo de la longitud de la parte de tapa para definir unas ranuras entre las tiras apiladas, incluyendo

la segunda sección además un caucho flexible que llena las ranuras y se extiende a través de toda la anchura de la parte de tapa, y una junta de empalme entre las secciones primera y segunda; una parte en forma de sombrero unida a la parte de tapa, teniendo la parte de sombrero un interior generalmente abierto y una pluralidad de hendiduras en su longitud comunicando con el interior abierto y dividiendo la parte de sombrero en segmentos, estando las hendiduras respectivamente alineadas con las ranuras en la segunda sección de la parte de tapa, estando la parte en forma de sombrero adaptada para acoplarse con una fuente de vacío para hacer el vacío dentro del interior abierto que produce una fuerza de aspiración de vacío a través de las hendiduras que atrae el larguerillo contra la parte en forma de sombrero.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona otro método de fabricación de un compactador flexible para transportar, colocar y compactar un larguerillo de sombrero de material compuesto que tiene contornos compuestos a lo largo de su longitud, que incluye apilar al menos una primera parte del compactador colocando una pluralidad de tiras de refuerzo de material compuesto en una relación generalmente paralela y espaciadas entre sí, proporcionar al menos una capa plana de resina reforzada con fibra, almenar los bordes opuestos de la capa plana para formar tiras de pestaña en la capa plana, y apilar las tiras de refuerzo sobre las tiras de pestaña; formar juntas flexibles entre las tiras de refuerzo laminando una capa de caucho flexible con las tiras de refuerzo, incluyendo el curado conjunto de la capa de caucho y las tiras de refuerzo; apilar una segunda parte del compactador colocando una pluralidad de capas de resina reforzada con fibra sobre una herramienta que tiene una cavidad en la misma; colocar una cámara de aire dentro de la cavidad de herramienta sobre las capas de resina reforzada con fibra apiladas, realizándose el apilamiento de la primera parte del compactador colocando las tiras de refuerzo sobre las capas de resina reforzada con fibra apiladas en la herramienta; y serrar las hendiduras en la segunda parte del compactador que están alineadas con las juntas flexibles en la primera parte del compactador.

#### Breve descripción de los dibujos

Los rasgos novedosos considerados característicos de las realizaciones ventajosas se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ventajosas, así como un modo de uso preferido, objetivos y ventajas adicionales de la misma, se entenderán mejor por referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ventajosa de la presente divulgación cuando se lea junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una ilustración de una vista en perspectiva de un compactador de acuerdo con una realización desvelada;

la figura 2 es una ilustración de una vista en perspectiva de un larguerillo de material compuesto unido a un revestimiento de avión curvado en dos planos;

la figura 3 es una ilustración de una vista lateral del larguerillo mostrado en la figura 2;

la figura 4 es una ilustración de una vista en sección tomada a lo largo de la línea 4-4 en la figura 3;

la figura 5 es una ilustración de una vista en sección tomada a lo largo de la línea 5-5 en la figura 3;

la figura 6 es una ilustración de una vista despiezada en sección transversal de un apilamiento de capas empleado para formar una sección del compactador mostrado en la figura 1;

la figura 7 es una ilustración similar a la figura 6 pero que muestra un apilamiento de capas empleado para formar otra sección de un compactador mostrado en la figura 1;

la figura 8 es una ilustración de una vista en planta de una capa que forma parte de los apilamientos mostrados en las figuras 6 y 7;

la figura 9 es una ilustración similar a la figura 8, pero que muestra los bordes opuestos de una parte de la capa que se ha almenado;

las figuras 10-17 son ilustraciones de una vista en planta de una herramienta de apilamiento y las etapas sucesivas de apilamiento de capas usadas para fabricar el compactador;

la figura 18 es una ilustración de una vista en sección tomada a lo largo de la línea 18-18 en la figura 1;

la figura 19 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método de fabricación del compactador;

la figura 20 es una ilustración de una vista en sección transversal de un larguerillo de sombrero que es una bolsa de vacío formada sobre un troquel macho;

la figura 21 es una ilustración de una vista en sección del larguerillo de sombrero formado entre unos troqueles de estampado macho y hembra;

la figura 22 es una ilustración similar a la figura 21 pero que muestra que el compactador se ha instalado en el apilamiento de larguerillo;

- 5 las figuras 23-26 son ilustraciones de vistas en sección que muestran las etapas sucesivas de transportar, colocar y compactar el larguerillo de sombrero en una herramienta de curado usando el compactador;

la figura 27 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para fabricar un larguerillo de material compuesto;

la figura 28 es una ilustración de un diagrama de flujo de la metodología de producción y servicio de aeronaves;

- 10 la figura 29 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

### Descripción detallada

Haciendo referencia en primer lugar a las figuras 1-5, puede usarse un compactador 30 (figura 1) para transportar, colocar y compactar un refuerzo laminado de material compuesto curvado, tal como, sin limitación, el larguerillo de sombrero contorneado 50 mostrado en las figuras 2-5. El compactador 30 es generalmente semirrígido, con un grado de flexibilidad que permite que el compactador 30 se flexione y se adapte a superficies de herramienta complejas (no mostradas en la figura 1) durante la colocación y compactación de un apilamiento de larguerillo en la herramienta. Durante el transporte y la colocación del larguerillo 50, el larguerillo 50 se mantiene en el compactador 30 mediante una fuerza de aspiración de vacío 31. El compactador 30 es alargado y comprende ampliamente una primera parte de sombrero segmentada 38 y una segunda parte de sombrero continua generalmente plana 36. La parte de sombrero 38 incluye unas paredes laterales inclinadas 38a y una pared inferior 38b.

La tapa 36 incluye unas pestañas que se extienden lateralmente 36a. La parte de tapa 36, junto con la parte de sombrero 38 y un par de paredes de extremo 45, forman un espacio interior encerrado 35 que se extiende sustancialmente por toda la longitud "L" del compactador 30. Un accesorio neumático 42 en una o ambas paredes de extremo 45 está adaptado para acoplar el espacio interior 35 del compactador 30 con una fuente de vacío adecuada (no mostrada) para hacer el vacío dentro del compactador 30. Como se expondrá a continuación, la parte de sombrero 38 incluye una pluralidad de hendiduras generalmente paralelas 40 en la misma que permiten atraer el aire a través de la parte de sombrero 38 al espacio interior 35. Las hendiduras 40 se extienden sustancialmente por toda la altura de la parte de sombrero 38 y la dividen en segmentos individuales 41 que permiten que la parte de sombrero 38 del compactador 30 se flexione durante la colocación y compactación del apilamiento en la herramienta. Las hendiduras 40 también permiten atraer el aire hacia el espacio interior 35, creando una fuerza de aspiración de vacío 31 que mantiene el larguerillo 50 en el compactador 30 durante el proceso de transporte, colocación y compactación. Esta adhesión de vacío del larguerillo 50 al compactador 30 puede permitir una distribución más simétrica del arrugamiento y acumulación de capas durante la compactación del larguerillo.

El compactador 30 incluye al menos una primera sección flexible individual 32 y al menos una segunda sección flexible doble 34. Las secciones 32, 34 se acoplan entre sí mediante unas juntas 48 que son adecuadas para la aplicación, tales como, sin limitación, juntas de empalme, juntas biseladas o juntas a tope. En la realización ilustrada, el compactador 30 incluye solo una sección 34 acoplada entre dos de las secciones 32 por dos juntas 48. Sin embargo, el compactador 30 puede tener más de una de las secciones 34 localizadas en cualquier área a lo largo de la longitud del compactador 30, incluyendo en cualquier extremo del compactador 30. En algunas realizaciones, sustancialmente todo el compactador 30 puede comprender una sección flexible doble 34. El compactador 30 puede tener más o menos de dos de las secciones flexibles individuales 32. Como se expondrá a continuación con más detalle, la sección 34 del compactador 30 incluye unas juntas flexibles 23 que permiten que la sección 34 se flexione en cada uno de dos planos 44, 46 que son sustancialmente ortogonales entre sí. El plano 44 se extiende sustancialmente paralelo a, y a través de, la tapa 36, mientras que el plano 46 se extiende sustancialmente perpendicular a la tapa 36. La junta flexible 23 también puede permitir el retorcimiento torsional del compactador 30 a lo largo de su eje longitudinal 47.

Tanto la parte de tapa 36 como la parte de sombrero 38 pueden formarse a partir de capas laminadas (no mostradas en la figura 1) de resina reforzada con fibra, tales como, sin limitación, epoxi de fibra de carbono. El número y espesor de las capas usadas para formar la parte de tapa 36 en la sección 32 se eligen de manera que la parte de tapa 36 sea flexible dentro del plano 44 en el grado necesario para permitir que el compactador 30 se adapte a las superficies de herramienta curvadas (no mostradas) durante la colocación y compactación del apilamiento de larguerillo en la herramienta. Las hendiduras 41 en la parte de sombrero 38 permiten que la parte de sombrero 38 se flexione junto con la parte de tapa 36 dentro del plano 44.

Como se describirá a continuación, el área de la parte de tapa 36 que se encuentra dentro de la sección flexible doble 34 del compactador 30 se forma a partir de una combinación de materiales que se curan conjuntamente para formar una pluralidad de juntas flexibles 23. Estas juntas flexibles 23 permiten que la parte de tapa 36 se flexione dentro de ambos planos 44, 46, así como también se retuerza alrededor de su eje longitudinal 47. Las hendiduras 40 en la parte de sombrero 38 también permiten que el área de la parte de sombrero 38 dentro de la sección 34 se flexione dentro del plano 46. Como resultado de la capacidad del compactador 30 para flexionarse dentro de los dos planos 44, 46 y adaptarse a la geometría de una herramienta contorneada 158 (figuras 24-26) u otra superficie durante el proceso de colocación y compactación del larguerillo, la localización y/o el patrón de acumulación de capas y/o arrugamiento de capas (no mostrado) puede hacerse más constante, regular y/o predecible de parte a parte, permitiendo realizar cambios de ingeniería de compensación adecuados en el diseño del larguerillo 50 que pueden mejorar el rendimiento del larguerillo 50.

Haciendo referencia ahora a las figuras 2-5, el larguerillo de sombrero 50 tiene una sección transversal generalmente en forma de sombrero que comprende una parte superior 56, unas paredes laterales inclinadas 55, un par de pestañas que se extienden lateralmente 58. El larguerillo 50 puede unirse a la superficie interior 52a de un revestimiento 52 que tiene unos contornos compuestos a los que puede requerirse que se adapte el larguerillo 50. Las pestañas 58 del larguerillo 50 pueden fijarse al revestimiento 52 por cualquier medio adecuado, tal como elementos de sujeción (no mostrados), adhesivos de unión o curando conjuntamente el larguerillo de material compuesto 50 y el revestimiento 52 en aquellas aplicaciones donde el revestimiento 52 es un material compuesto. Como se muestra en las figuras 2 y 3, el larguerillo 50 tiene una primera curvatura fuera de plano 54, y como se muestra en la figura 5 tiene una segunda curvatura fuera de plano 60 que se adapta a los contornos compuestos de la superficie de revestimiento 52a.

La atención se dirige ahora a la figura 6 que ilustra un apilamiento de capas habitual 61 usado para formar la sección 34 del compactador 30 mostrado en la figura 1. El apilamiento 61 se forma capa por capa en una herramienta de apilamiento 65 que tiene una cavidad 66 para formar la parte de sombrero 38 del larguerillo 50, y unas superficies de pestaña 65a para formar la parte de tapa 36. Dos capas de anchura completa 64 de resina reforzada con fibra se colocan sobre la parte de cavidad 66 y cubren las superficies de pestaña 65a. Tres capas adicionales 68 de resina reforzada con fibra se apilan dentro de la parte de cavidad 66. En una realización, las capas 64 pueden ser capas sesgadas, mientras que las capas 68 pueden comprender una combinación de capas sesgadas y capas de ligamento tafetán. El número de capas y sus orientaciones de fibra pueden variar, dependiendo de la aplicación.

Una sexta capa 70 comprende una pluralidad de tiras de refuerzo 70a de resina reforzada con fibra unidireccional que están espaciadas a lo largo de la longitud de la herramienta 65 y tienen, cada una de las mismas, orientaciones de fibra que se extienden transversalmente a través de la parte de cavidad 66. La sexta capa 70 puede comprender una o más tiras de refuerzo apiladas 70a de cinta de preimpregnación unidireccional. Una séptima capa 72 comprende una capa de caucho sintético sin curar flexible, tal como, sin limitación, el fluoroelastómero Viton®, que tiene una anchura ligeramente menor que las tiras en la sexta capa 70. La séptima capa 72 puede comprender otros materiales que permanecen flexibles después del curado. Una octava capa 74 comprende un segundo conjunto de tiras de resina reforzada con fibra unidireccional 74a que cubren la parte de cavidad 66 de la herramienta 65 y están alineadas respectivamente con las tiras 70a que forman la capa 70, como se expondrá con más detalle a continuación. Una novena capa final 76 comprende una segunda capa de anchura completa de caucho sintético sin curar flexible, que también puede ser un fluoroelastómero tal como Viton®. La parte de sombrero 38 del apilamiento 61 está formada por las capas 64 y 68, mientras que la parte de tapa 36 está formada por una combinación de capas, 64, 70, 72, 74 y 76.

Haciendo referencia a la figura 7, el apilamiento 32 que forma la sección 32 del compactador 30 comprende un par de capas de anchura completa 78 que se extienden a través de la parte de cavidad 66 y sobre las superficies de pestaña 65a de la herramienta 65. Tres capas adicionales 80 se apilan sobre la parte de cavidad 66. A continuación, se apila una capa de anchura completa 86, seguida de tres capas 88 que cubren solo la parte de cavidad 66. Finalmente, se apila otra capa de anchura completa 90. Cada una de las capas del apilamiento 63 puede comprender una preimpregnación de fibra unidireccional o tejida que tiene unas orientaciones de fibra seleccionadas para la aplicación específica.

La atención se dirige ahora a las figuras 8-17 que ilustran las etapas secuenciales usadas para formar el apilamiento 61 mostrado en la figura 6. Haciendo referencia en primer lugar a la figura 8, se proporciona un apilamiento sustancialmente plano 62 de las capas 64 mostradas en la figura 6, que tiene una longitud sustancialmente equivalente a la de las tres secciones 32, 34 del compactador 30. A continuación, como se muestra en la figura 9, los bordes opuestos 95 a lo largo de la sección de compactador 34 del apilamiento 62 se almenan usando cualquier técnica de retirada de material adecuada, tal como, sin limitación, el troquelado. Esta almenización da como resultado una serie de tiras de pestaña de refuerzo 64a en cada una de las capas 64 que están espaciadas a lo largo de la longitud de la sección 34 y están separadas por unas ranuras 128.

La figura 10 ilustra la herramienta 65 lista para recibir el apilamiento de capas 61 mostrado en la figura 6. Como se ha mencionado anteriormente, la herramienta 65 incluye una parte de cavidad en forma de sombrero 66 para formar

la parte de sombrero 38 del compactador 30, y un par de superficies de pestaña 65a para formar las partes de pestaña 36a de la parte de tapa 36 del compactador 30.

5 La figura 11 ilustra las capas almenadas 64 que se han apilado en la herramienta 65, superponiéndose las tiras de pestaña espaciadas 64a con las superficies de pestaña 65a de la herramienta 65. La figura 12 refleja la finalización de la siguiente etapa en el proceso de apilamiento, en el que las capas 68 se apilan dentro de la parte de cavidad 66 de la herramienta 65, superponiéndose con las capas 64. A continuación, como se muestra en la figura 13, una cámara de aire inflable 142 se coloca en la parte de cavidad 66, superponiéndose con las capas 68.

10 Haciendo referencia a la figura 14, la siguiente etapa en el proceso de fabricación comprende apilar las tiras de refuerzo de preimpregnación unidireccionales que se extienden transversalmente 70a, alineadas y superpuestas con las tiras de pestaña 64a (figura 13) del apilamiento almenado 62. Cada una de las tiras de refuerzo 70a puede comprender una o más capas de cinta de preimpregnación unidireccionales, sin embargo, pueden ser posibles otros tipos de refuerzos. Las tiras de refuerzo 70a abarcan sustancialmente toda la anchura de la sección de tapa 36 y están espaciadas en un paso que es adecuado para la aplicación específica.

15 La figura 15 muestra una capa de caucho 72 que se ha apilado sobre las tiras de refuerzo 70a, tras lo que, como se muestra en la figura 16, un segundo conjunto de tiras de refuerzo espaciadas generalmente paralelas 74a se apilan sobre la capa de caucho 72, alineadas tanto con las tiras de refuerzo subyacentes 70a como con las tiras de pestaña 64a (véanse las figuras 13 y 14). Las tiras de refuerzo 74a refuerzan el área de la sección de tapa 36 que se superpone con la cavidad 66. Finalmente, como se muestra en la figura 17, una segunda capa 76 de caucho sintético sin curar o un material flexible similar se apila sobre las tiras de refuerzo 74a. La segunda capa de caucho 20 76 abarca sustancialmente toda la anchura del apilamiento 61.

25 La figura 18 es una ilustración en sección que muestra una de las juntas flexibles 23 en la sección de compactador 34. El apilamiento alineado de las tiras de refuerzo 64a, 70a, 74a forma unas ranuras 128 que se llenan de caucho a partir de las capas de caucho 72, 76 durante la laminación de capas de la parte de tapa 36. Después de esta laminación, las juntas de caucho flexibles 23 se extienden sustancialmente a través de toda la anchura de la parte de tapa 36. Las tiras de refuerzo 64a, 70a, 74a dotan a la sección de compactador 34 de la rigidez necesaria para mantener su forma y evitar que se pliegue cuando se hace el vacío dentro del compactador 30, mientras que las ranuras llenas de caucho 128 que forman las juntas 23 permiten que la parte de tapa 36 se flexione dentro de cualquiera de los planos ortogonales 44, 46 (figura 1). Las juntas de caucho flexibles 23 están alineadas para coincidir con la localización de las hendiduras 40 a lo largo de la longitud del compactador.

30 La figura 19 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de un método de fabricación del compactador 30. En una realización, comenzando en la etapa 92, se proporciona un apilamiento plano 62 de las capas 64, y en la etapa 94 se almenan los bordes del apilamiento 62. En 96, el apilamiento almenado 62 se coloca y se forma sobre una herramienta 65, y pueden apilarse unas capas adicionales 68, según se requiera, para reforzar la parte de sombrero 38 del compactador 30. A continuación, como se muestra en 106, una cámara de aire inflable 142 se instala en una 35 cavidad 66 de la herramienta 65, superponiéndose con las capas 64, 68. Como alternativa, como se muestra en 100, las capas 64 pueden apilarse en la herramienta de formación 65 sin almenización, tras lo cual pueden apilarse unas capas de sombrero adicionales 68 en 102, según se requiera. En 104, los bordes de las capas 64 se almenan para formar las tiras de pestaña de refuerzo 64a en la sección de doble flexión 34 del compactador 30. En 108, las tiras de refuerzo de material compuesto 70a se apilan sobre las tiras de pestaña 64a, y en 110 la primera capa 72 de caucho sin curar se apila sobre las tiras de pestaña 64a. En 112, el segundo conjunto de tiras de refuerzo de material compuesto unidireccionales 74a se apilan sobre la primera capa de caucho 72 con el fin de reforzar 40 adicionalmente el área de la parte de tapa 36 que se superpone con la cavidad 66. En 114, la segunda capa 76 de caucho sin curar se apila sobre las tiras de refuerzo 74.

45 Cada una de las secciones de compactador 32 se apila en primer lugar apilando las capas de la parte de sombrero 38 en la etapa 116 y, a continuación, apilando las capas de la parte de tapa 36 en la etapa 118. A medida que se apilan las capas de tapa de la sección de compactador 32, al menos algunas de estas capas se intercalan con las capas de tapa de la sección de compactador 34, como se muestra en la etapa 120, con el fin de formar las juntas de empalme superpuestas 48 entre las secciones de compactador 32, 34. Las juntas 48 pueden reducir la rigidez localizada y aumentar la durabilidad total del compactador 30. Como se ha mencionado anteriormente, aunque se han mostrado las juntas de empalme 48 en la realización a modo de ejemplo, pueden ser posibles otros tipos de 50 juntas.

En 122, el apilamiento de compactador se embolsa al vacío y las capas de caucho y de resina de material compuesto se curan conjuntamente, ya sea con o sin procesamiento de autoclave. Después del curado conjunto, las hendiduras 40 en la parte de sombrero 38 del compactador 30 se forman por corte, aserrado u otros procesos 55 adecuados. Como se ha mencionado anteriormente, las hendiduras 40 están localizadas y espaciadas entre sí de tal manera que se alinean sustancialmente con las ranuras llenas de caucho 128.

La atención se dirige ahora a las figuras 20-26 que ilustran las etapas de un método para formar, transportar, colocar

y compactar un apilamiento de larguerillo de sombrero de material compuesto 50 usando el compactador flexible 30. Haciendo referencia en primer lugar a la figura 20, un larguerillo en forma de sombrero de material compuesto 50 puede formarse colocando una carga de material compuesto múltiple sobre un troquel macho 152 y usando una bolsa de vacío 153 para compactar y formar la carga sobre el troquel 152. Como alternativa, como se muestra en la figura 21, el larguerillo 50 puede formarse estampando una carga de material compuesto entre los troqueles macho y hembra 152, 156, respectivamente, creando una cavidad de sombrero 154. Tras la formación, el larguerillo 50 puede recortarse, según sea necesario. Con el larguerillo 50 soportado en el troquel hembra 156, el compactador 30 se coloca en la cavidad de sombrero 154 del larguerillo 50, de tal manera que la parte de sombrero 38 del compactador 30 se acopla con las paredes laterales 55 y la parte superior 56 del larguerillo 50, y las partes de pestaña 36a de la tapa de compactador 36 se superponen y se acoplan con las pestañas 58 del larguerillo 50. El larguerillo 50 y el compactador 30 pueden permanecer en el troquel hembra 156 que puede usarse como un dispositivo de sujeción para mantener la forma del larguerillo 50 hasta que el larguerillo 50 esté listo para retirarse y transportarse para su colocación. Opcionalmente, el larguerillo 50 puede transferirse a un dispositivo de sujeción (no mostrado) hasta que esté listo para su colocación. Con el fin de retirar el larguerillo 50 del troquel hembra 156 (o un dispositivo de sujeción opcional), se hace el vacío dentro del compactador 30 que atrae el aire a través de las hendiduras 40 (figura 1) para crear una fuerza de aspiración 31 (figura 22) que hace que el larguerillo 50 se adhiera al compactador 30.

Como se muestra en la figura 23, con el larguerillo 50 adherido al compactador 30, el compactador 30 se eleva junto con el larguerillo 50 lejos del troquel hembra 156, y se usa para transportar el larguerillo 50 a una estructura tal como la herramienta 158, como se muestra en la figura 23, que tiene unas superficies de herramienta hembra 159 que se curvan en más de un plano y coinciden sustancialmente con la superficie de la línea de molde exterior (OML) (no mostrada) del larguerillo 50. El compactador 30 se usa para colocar el larguerillo 50 en una cavidad 160 de la herramienta 158, como se muestra en la figura 25. Con el compactador 30 y el larguerillo 50 instalados en la cavidad de herramienta 160, se instala un conjunto de bolsa de vacío 155 sobre el compactador 30 y el larguerillo 50, y se hace el vacío en la bolsa 155 (figura 25) que, junto con el compactador 30, compacta el apilamiento 50 contra las superficies de herramienta 159. Después de la compactación del larguerillo 50, como se muestra en la figura 26, el compactador 30 se retira del larguerillo 50. A continuación, el larguerillo 50 puede procesarse adicionalmente. Por ejemplo, pueden instalarse materiales de relleno (no mostrados) en el larguerillo 50, pueden instalarse una o más cámaras de aire (no mostradas) contra el larguerillo 50, el larguerillo 50 puede unirse al revestimiento 52 (figura 2) y curarse en un autoclave (no mostrado), etc.

La figura 27 ilustra un diagrama de flujo de las etapas de fabricación del larguerillo 50 anteriormente descrito en relación con las figuras 20-25. Comenzando en 162, la carga del larguerillo de sombrero de material compuesto 50 se apila y, opcionalmente, se recorta, según sea necesario. En 164, se forma la carga de larguerillo en forma de larguerillo, por estampado en troquel u otros procesos. El larguerillo formado 50 puede recortarse después de formarse en la etapa 164, si no se recortó anteriormente en el etapa 162. Opcionalmente, el larguerillo 50 puede transferirse a un dispositivo de sujeción hasta que esté listo para transportarse y colocarse por el compactador 30. En 166, el compactador 30 se instala en la cavidad de larguerillo 160. El compactador 30 puede permanecer en el larguerillo 50 para mantener su forma hasta que el larguerillo 50 esté listo para retirarse del troquel hembra 156 o un dispositivo de sujeción. En 168, el larguerillo 50 se adhiere al compactador 30 usando una fuerza generada haciendo el vacío dentro del compactador 30 que aspira el larguerillo 50 contra el compactador 30. A continuación, en 170, el compactador 30 se usa para elevar y transportar el larguerillo 50 a una herramienta, accesorio, pieza u otra estructura o superficie. Por ejemplo, y sin limitación, el compactador 30 puede usarse para transportar el larguerillo 50 a una herramienta 158 y, a continuación, colocar el larguerillo 50 en una localización deseada en la herramienta 158 u otra estructura o superficie. Cuando el larguerillo 50 se coloca por el compactador 30, el compactador 30 puede flexionarse en uno o ambos planos ortogonales 44, 46, o retorcerse alrededor de su eje longitudinal 47 (figura 1) en la medida necesaria para adaptar el apilamiento de larguerillo 50 a las superficies curvas de la estructura, tales como las superficies de herramienta 159.

En 174, una bolsa de vacío 155 junto con otros componentes de embolsado habituales (no mostrados) se instalan y se sellan sobre la herramienta 158, cubriendo el larguerillo 50 y el compactador 30. En 176, se hace el vacío en la bolsa 155 que compacta el larguerillo 50 a través del compactador 30, mientras el vacío se mantiene dentro del compactador 30. El vacío creado dentro del compactador 30 puede ayudar a evacuar la bolsa de vacío 155 durante el proceso de compactación, como resultado de la fuga de aire en el compactador 30 a través de las hendiduras 40 (figura 1). En 178, se desembolsa el apilamiento de larguerillo 50, se libera el vacío dentro del compactador 30, y se retira el compactador 30 de la herramienta 158. En 180, el compactador puede escalonarse para su reutilización en la compactación de otro apilamiento de larguerillo 50. El proceso de fabricación del larguerillo puede continuarse en 182, dependiendo de la aplicación, instalando materiales de relleno en el larguerillo 50, aplicando cámaras de aire, uniendo revestimientos al larguerillo, etc.

Las realizaciones de la divulgación pueden encontrar uso en una diversidad de aplicaciones potenciales, especialmente en la industria del transporte, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales, marítimas, de automoción y otras aplicaciones donde puede usarse un equipo de apilamiento automatizado. Por lo tanto, haciendo referencia ahora a las figuras 28 y 29, las realizaciones de la divulgación pueden usarse en el contexto de un

- método de fabricación y servicio de aeronaves 184 como se muestra en la figura 28 y una aeronave 186 como se muestra en la figura 29. Las aplicaciones aeronáuticas de las realizaciones desveladas pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, el apilamiento de elementos rigidizadores tales como, sin limitación, largueros y larguerillos. Durante la preproducción, el método a modo de ejemplo 184 puede incluir la especificación y el diseño 188 de la aeronave 186 y la adquisición de material 190. Durante la producción, tiene lugar la fabricación de componentes y subconjuntos 192 y la integración de sistemas 194 de la aeronave 186. A continuación, la aeronave 186 puede pasar por la certificación y entrega 196 con el fin de ponerse en servicio 198. Mientras está en servicio por un cliente, la aeronave 186 está programada para el mantenimiento de rutina y servicio 200, que también puede incluir modificación, reconfiguración, reacondicionamiento, etc.
- 5
- 10 Cada uno de los procesos del método 184 pueden ejecutarse o realizarse por un integrador de sistemas, un tercero, 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 de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier cantidad de proveedores, subcontratistas y distribuidores; y un operador puede ser una aerolínea, una empresa de leasing, una entidad militar, una organización de servicio, etc.
- 15 Como se muestra en la figura 29, la aeronave 186 producida por el método a modo de ejemplo 184 puede incluir un fuselaje 202 con una pluralidad de sistemas 204 y un interior 206. El fuselaje 202 puede incluir diversos refuerzos, tales como larguerillos y largueros, que pueden fabricarse usando el método y el compactador desvelados. Los ejemplos de sistemas de alto nivel 204 incluyen uno o más de un sistema de propulsión 208, un sistema eléctrico 210, un sistema hidráulico 212 y un sistema ambiental 214. Puede incluirse cualquier número de otros sistemas.
- 20 Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación pueden aplicarse a otras industrias, como las industrias marítima y automotriz.

Los sistemas y métodos incorporados en el presente documento pueden emplearse durante una cualquiera o más de las etapas del método de producción y servicio 184. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso de producción 192 pueden fabricarse o manufacturarse de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 186 está en servicio. Además, una o más realizaciones de aparato, realizaciones de método, o una combinación de las mismas, pueden utilizarse durante las etapas de producción 192 y 194, por ejemplo, facilitando sustancialmente el ensamblaje o reduciendo el coste de una aeronave 186. De manera similar, una o más de las realizaciones de aparato, realizaciones de método, o una combinación de las mismas, pueden utilizarse mientras la aeronave 186 está en servicio, por ejemplo, y sin limitación, para el mantenimiento y servicio 200.

25

30

La descripción de las diferentes realizaciones ventajosas se ha presentado con fines de ilustración y descripción, y no pretende ser exhaustiva o limitarse a las realizaciones en la forma desvelada. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos en la materia. Además, diferentes realizaciones ventajosas pueden proporcionar diferentes ventajas en comparación con otras realizaciones ventajosas. La realización o realizaciones seleccionadas se eligen y se describen con el fin de explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica, y para permitir que otros expertos en la materia comprendan la divulgación de diversas realizaciones con diversas modificaciones que sean adecuadas para el uso específico contemplado.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Un compactador (30) para su uso en la fabricación de una estructura de material compuesto alargada contorneada (50), **caracterizado por:**
- 5 al menos una primera sección (32) flexible a lo largo de su longitud dentro de un primer plano (44); y  
al menos una segunda sección (34) acoplada con la primera sección (32) y flexible a lo largo de su longitud dentro del primer plano (44) y dentro de un segundo plano (46), incluyendo la segunda sección (34) del compactador (30) una primera parte generalmente plana (36) y una segunda parte (38) adaptada para recibirse dentro de una cavidad en la estructura de material compuesto (50), incluyendo la primera parte (36):
- 10 una pluralidad de tiras de refuerzo que se extienden transversalmente a través de la anchura de la primera parte y espaciadas a lo largo de la longitud de la primera parte, incluyendo las tiras de refuerzo resina reforzada con fibra unidireccional,  
unas ranuras entre las tiras de refuerzo, y  
un material flexible en las ranuras, e incluyendo el material flexible un caucho sintético.
- 15 2. El compactador de la reivindicación 1, en el que los planos primero y segundo (44, 46) son generalmente ortogonales entre sí.
3. El compactador de la reivindicación 1 o 2, en el que:
- la segunda parte (38) incluye una pluralidad de hendiduras que se extienden transversalmente en la misma, y las hendiduras están sustancialmente alineadas con las ranuras en la primera parte (36).
- 20 4. El compactador de cualquier reivindicación anterior, en el que la segunda sección (34) incluye una pluralidad de juntas de caucho flexibles a lo largo de su longitud que permiten que la segunda sección (34) se flexione dentro del segundo plano (46).
5. El compactador de cualquier reivindicación anterior, en el que la segunda sección (34) incluye unas tiras alternas de refuerzo y de caucho a lo largo de su longitud.
- 25 6. El compactador de cualquier reivindicación anterior, que comprende además una junta de empalme entre las secciones primera y segunda (32, 34).
7. Un método para usar un compactador (30) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para fabricar un rigidizador de material compuesto (50), que comprende:
- 30 formar (164) un apilamiento de rigidizador de material compuesto;  
poner (166) el compactador en contacto con el apilamiento de rigidizador;  
adherir (168) el apilamiento de rigidizador al compactador;  
usar (170) el compactador para transportar y colocar el apilamiento de rigidizador sobre una superficie; y  
usar (172) el compactador para compactar el apilamiento de rigidizador contra la superficie.
8. El método de la reivindicación 7, en el que adherir el apilamiento de rigidizador al compactador incluye:
- 35 generar un vacío dentro del compactador, y  
usar el vacío para aspirar el apilamiento de rigidizador contra el compactador.
9. El método de la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que aspirar el apilamiento de rigidizador contra el compactador incluye generar una fuerza de aspiración atrayendo aire a través de los lados del compactador en contacto con el apilamiento de rigidizador.
- 40 10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que usar el compactador para colocar el apilamiento de rigidizador incluye adaptar el compactador a la geometría de la superficie permitiendo que el compactador se flexione dentro de dos planos generalmente ortogonales.



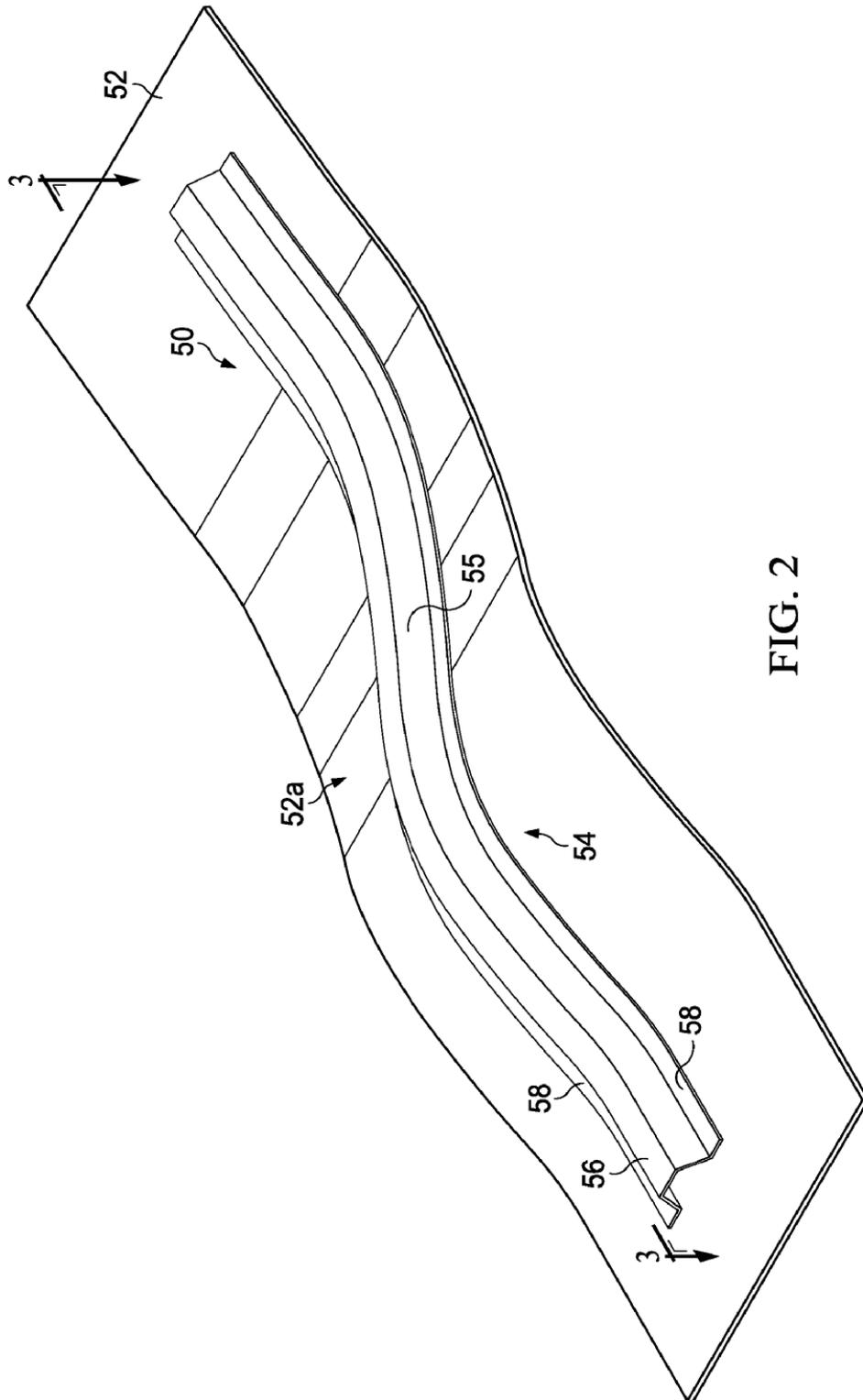


FIG. 2

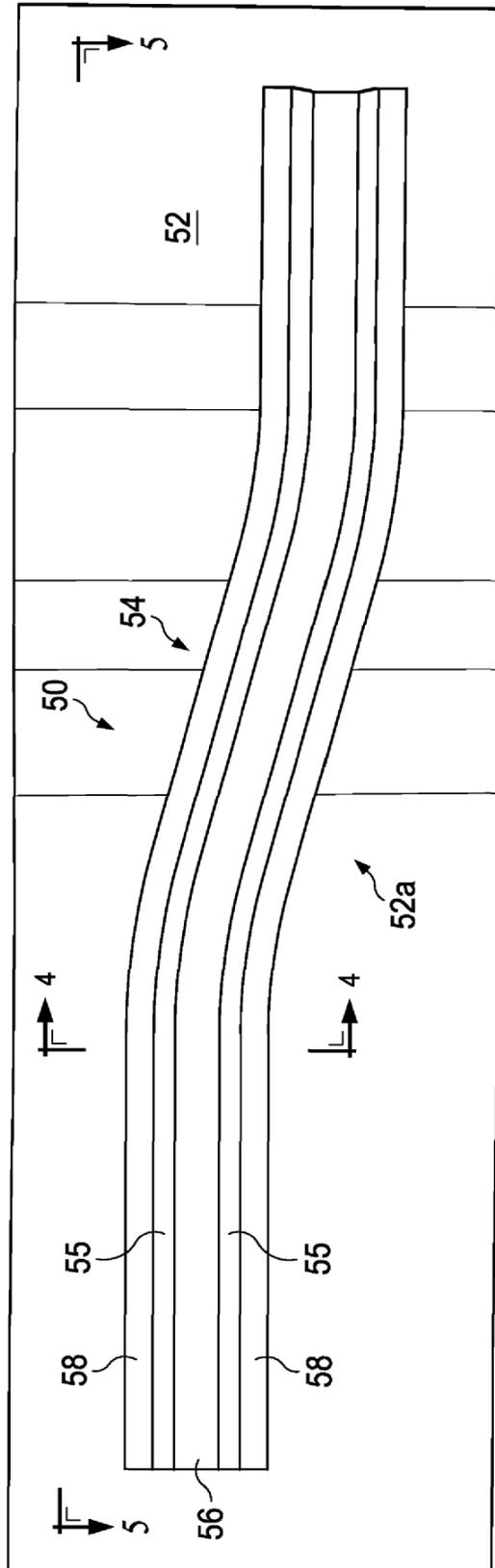
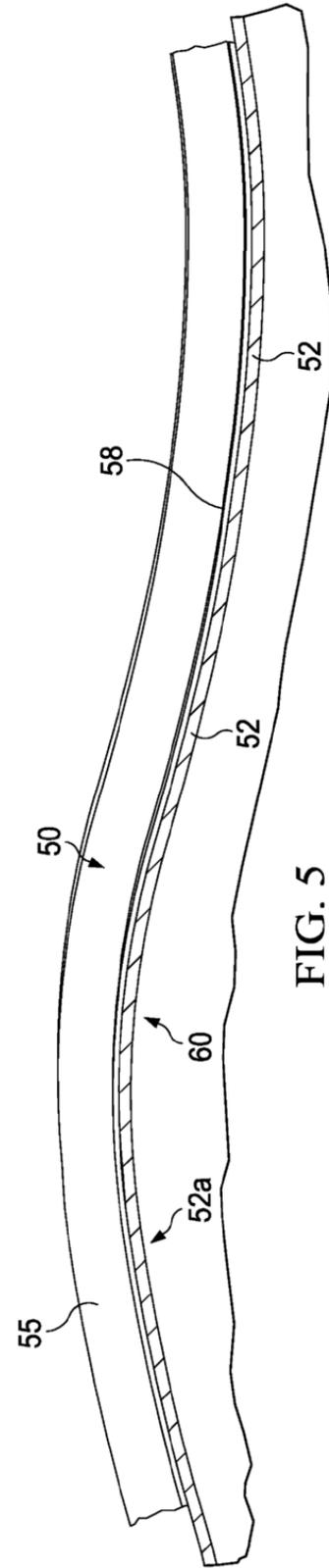
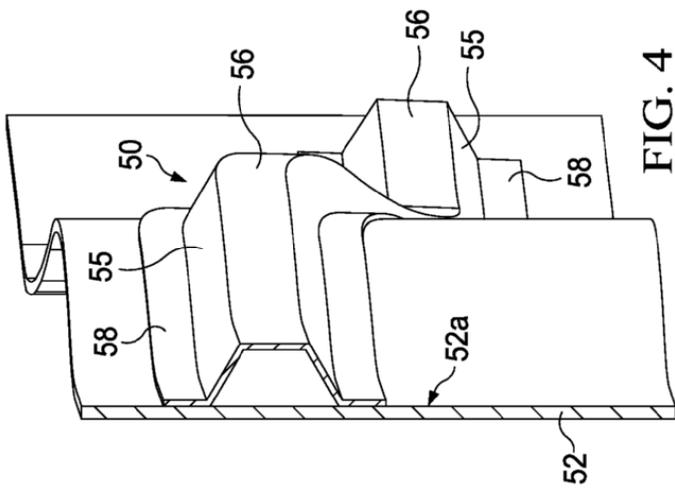
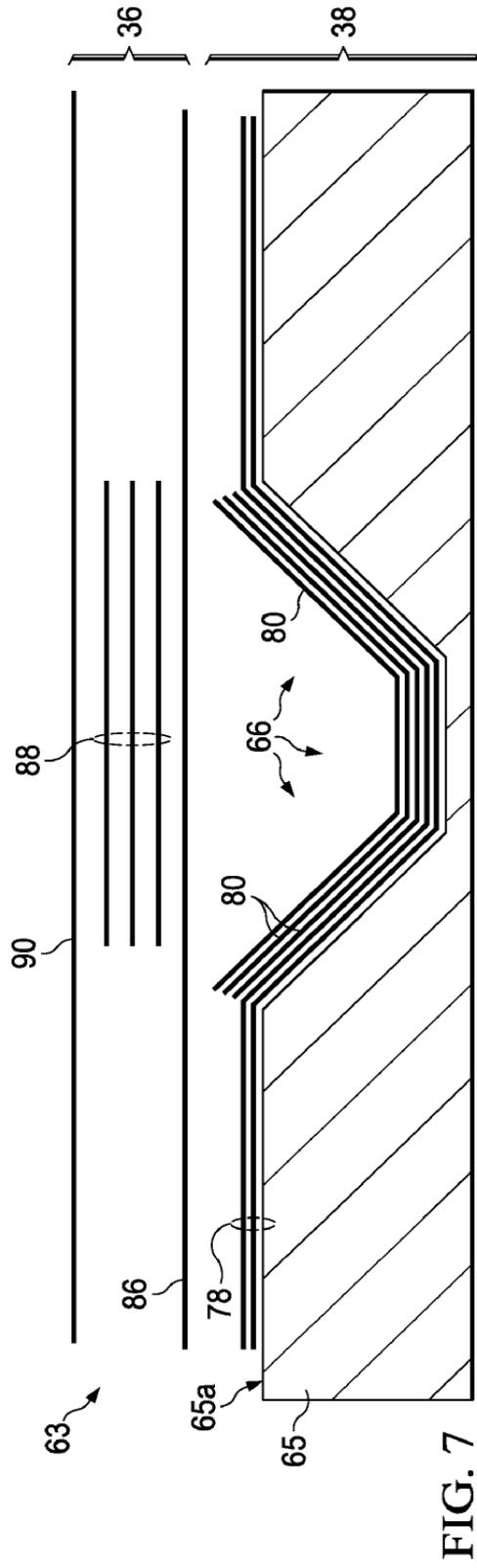
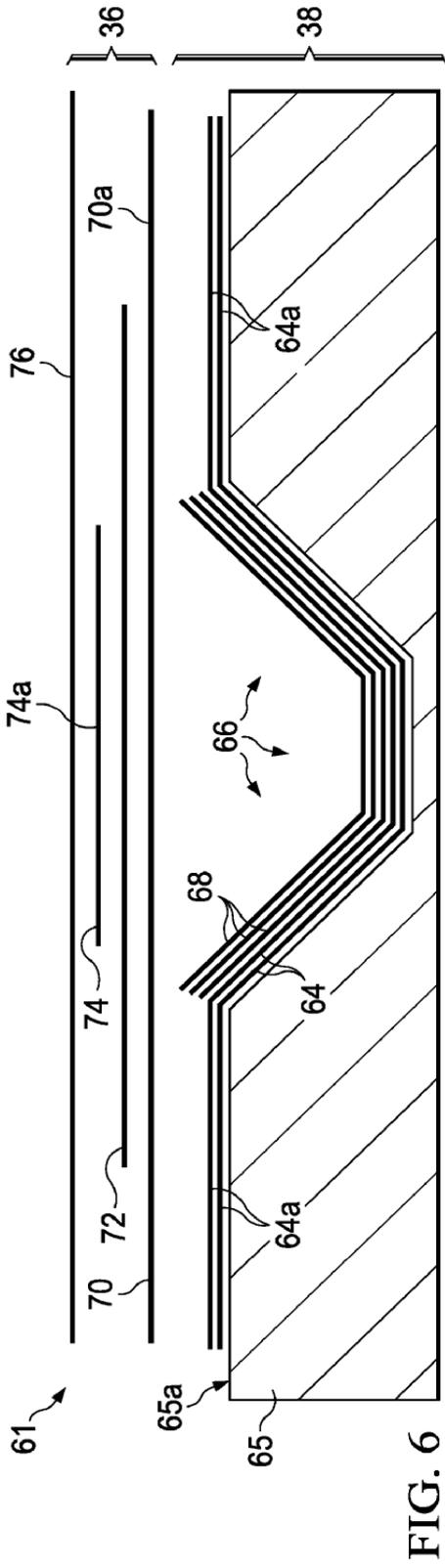


FIG. 3





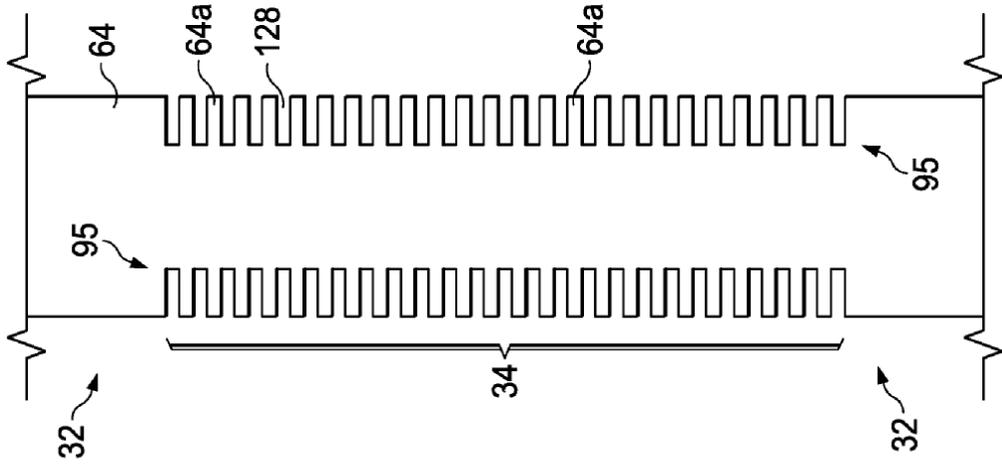


FIG. 9

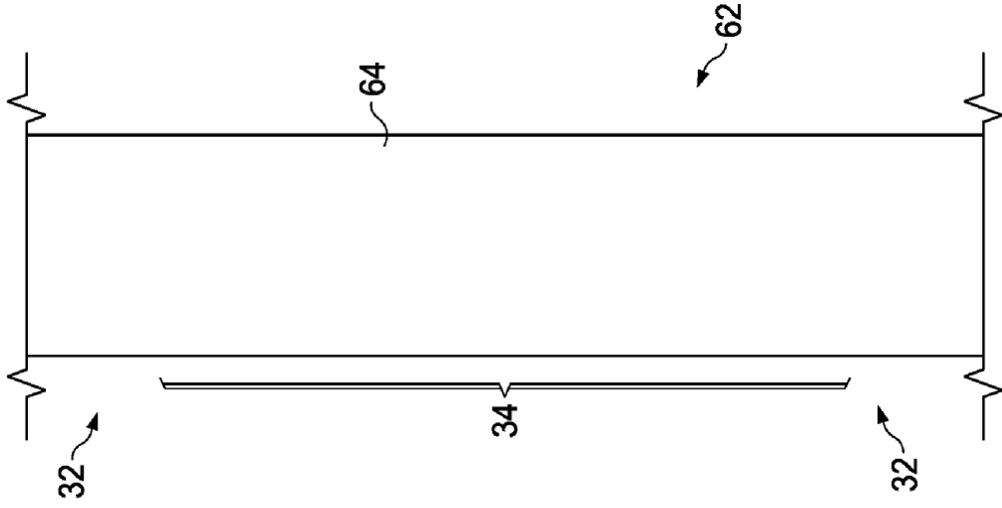


FIG. 8

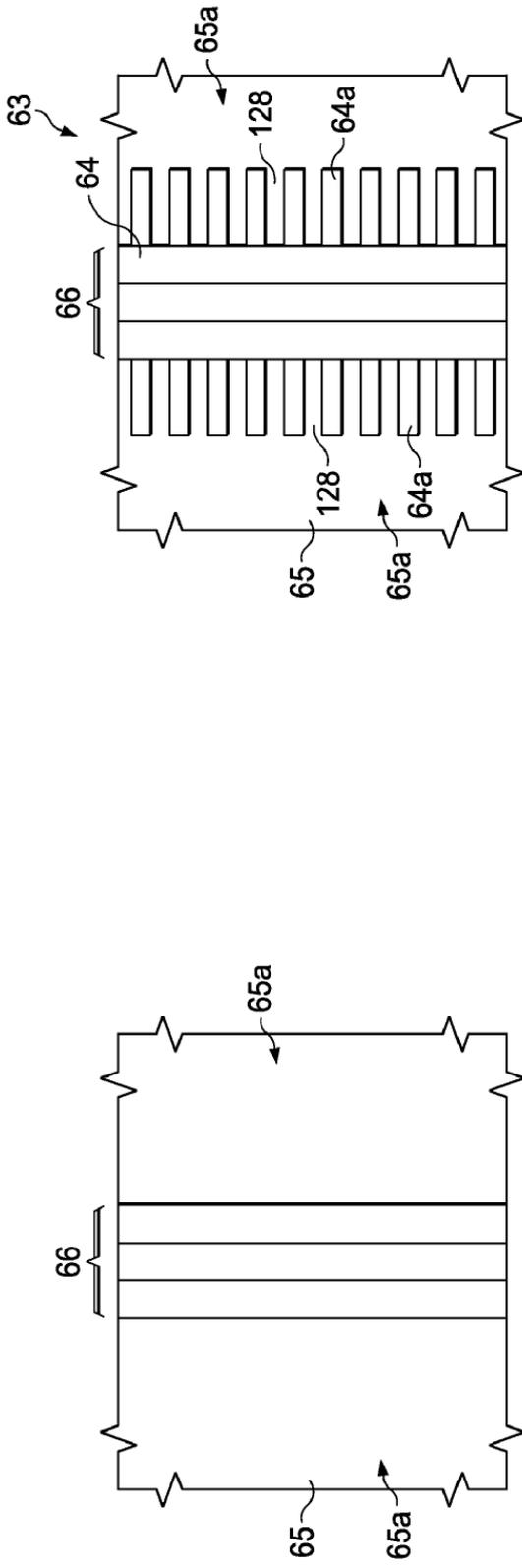


FIG. 10

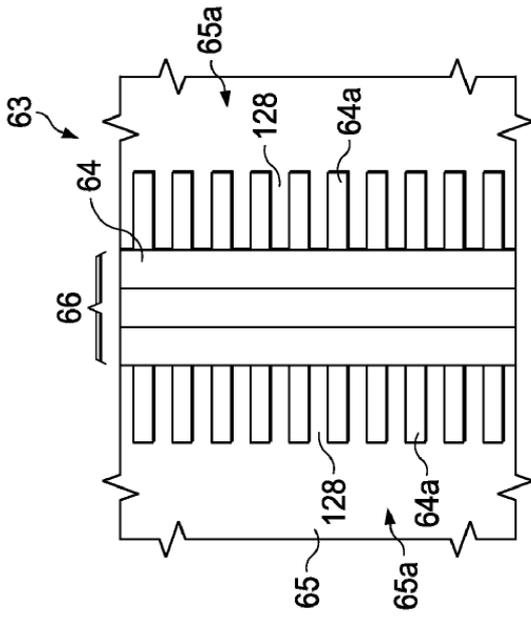


FIG. 11

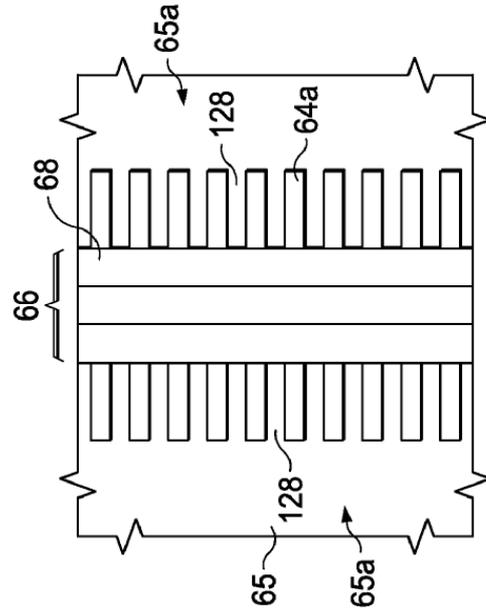


FIG. 12

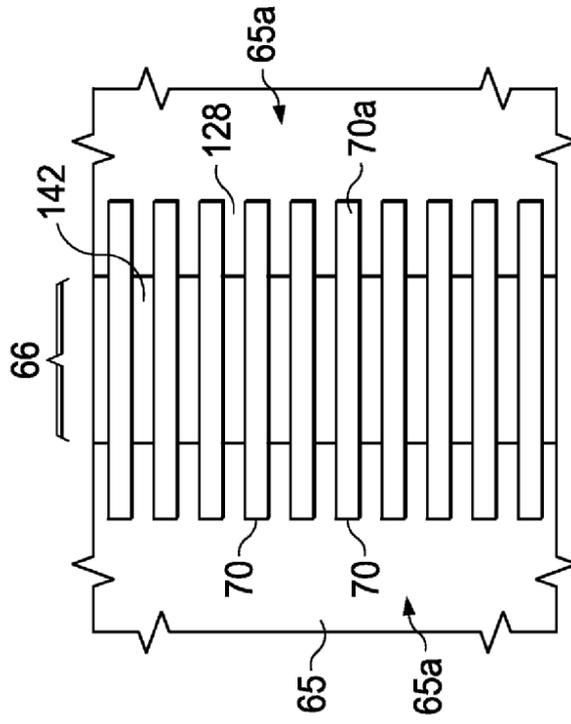


FIG. 14

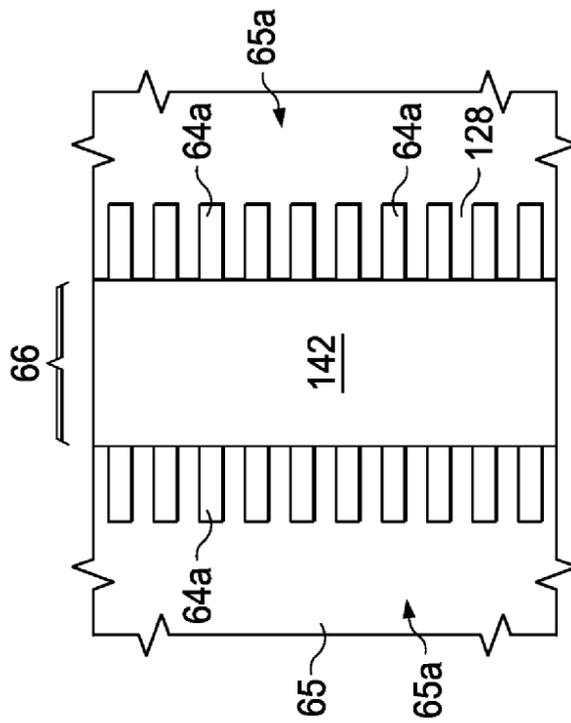


FIG. 13

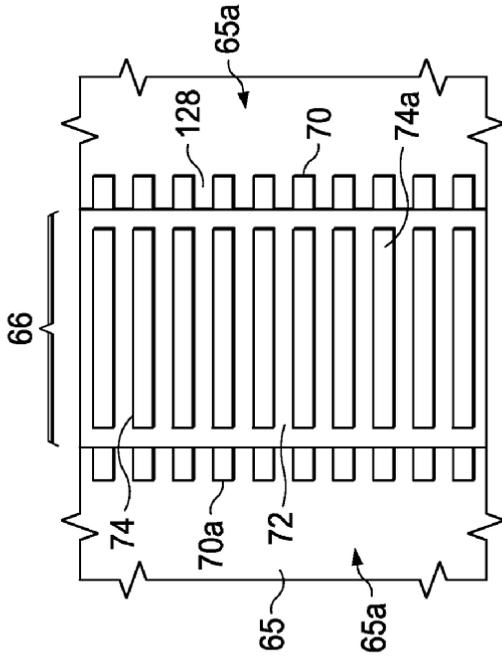


FIG. 15

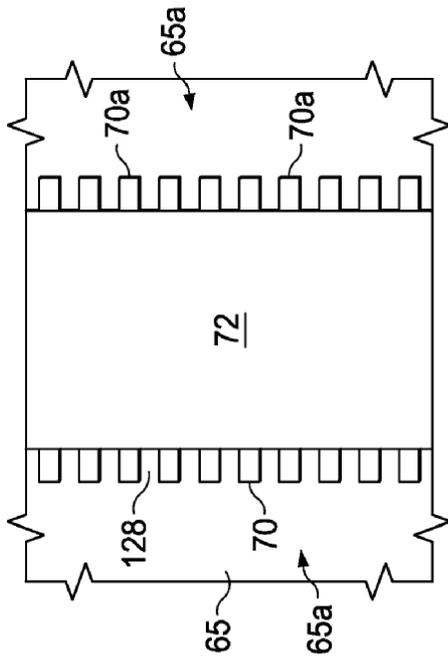


FIG. 16

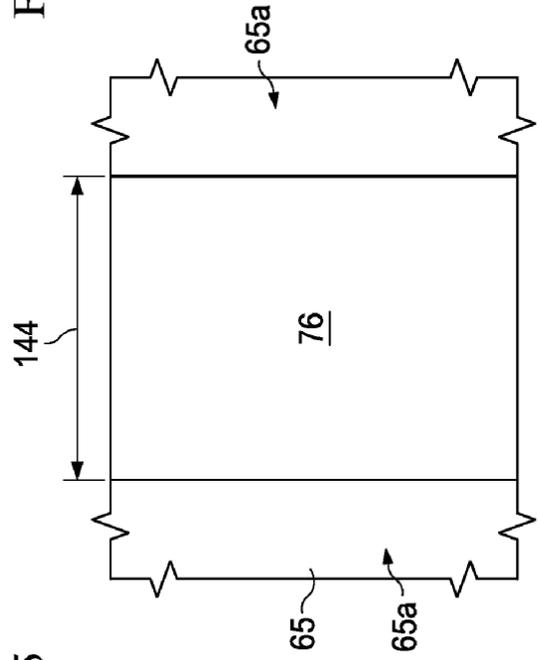


FIG. 17

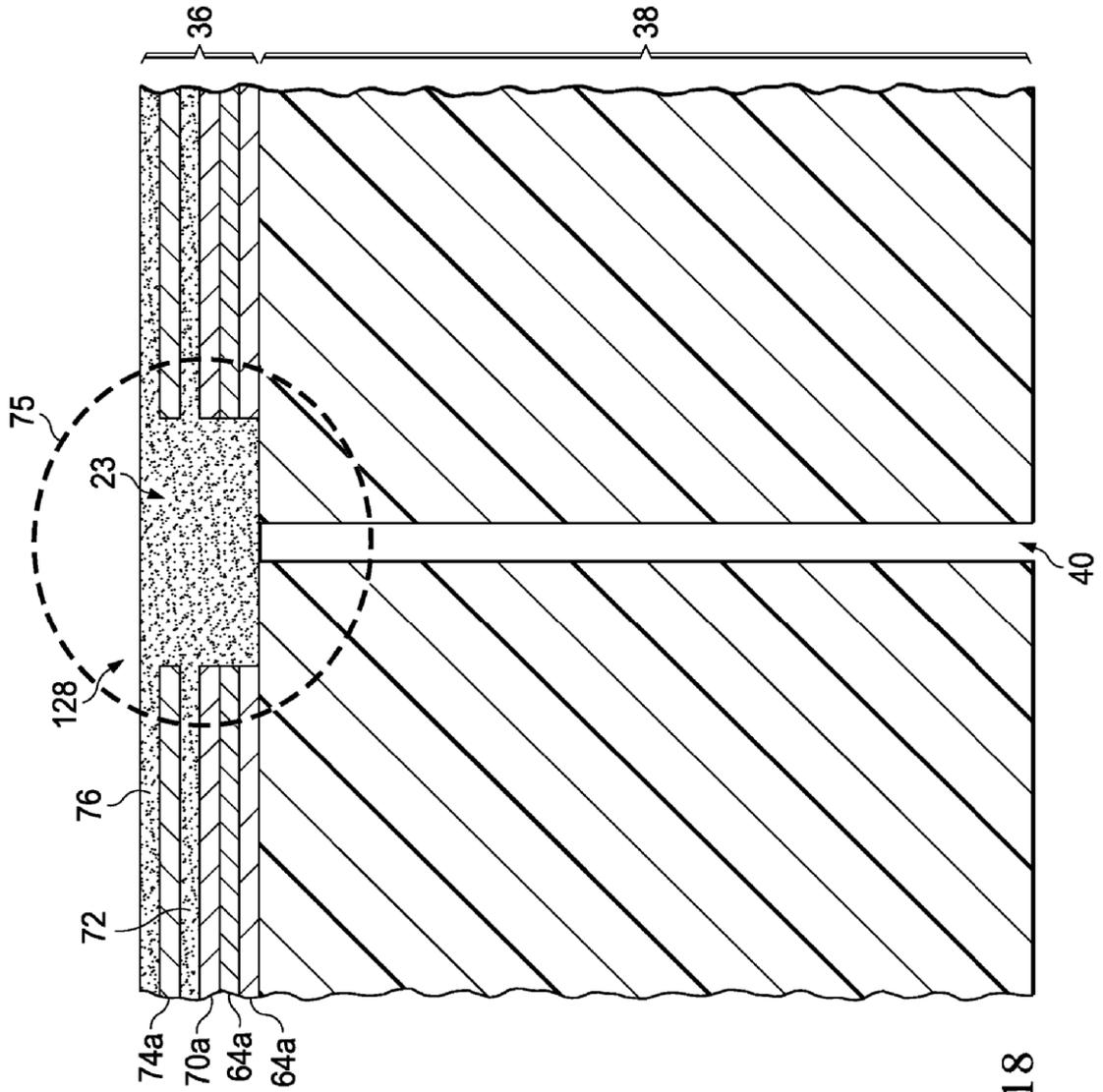


FIG. 18

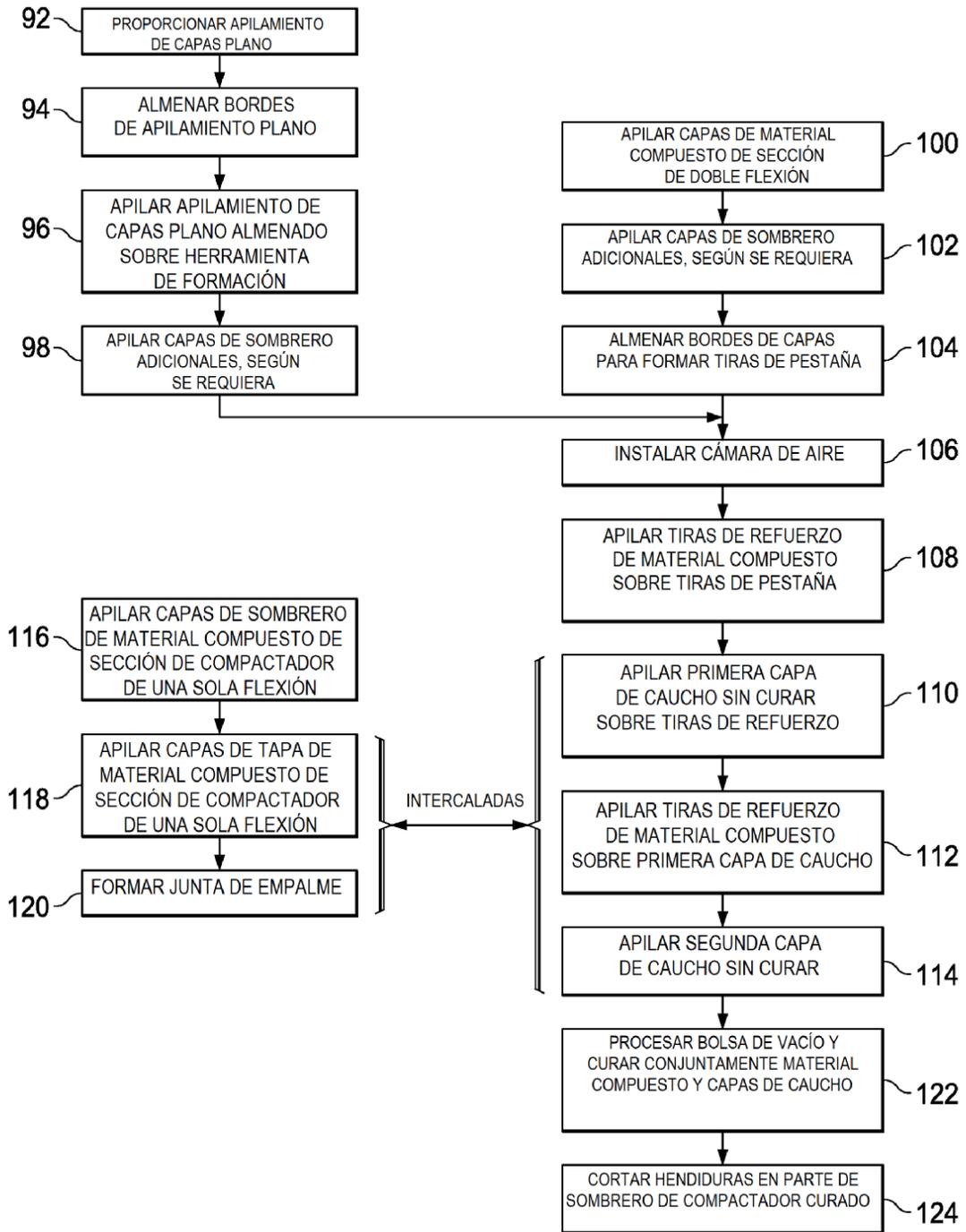


FIG. 19

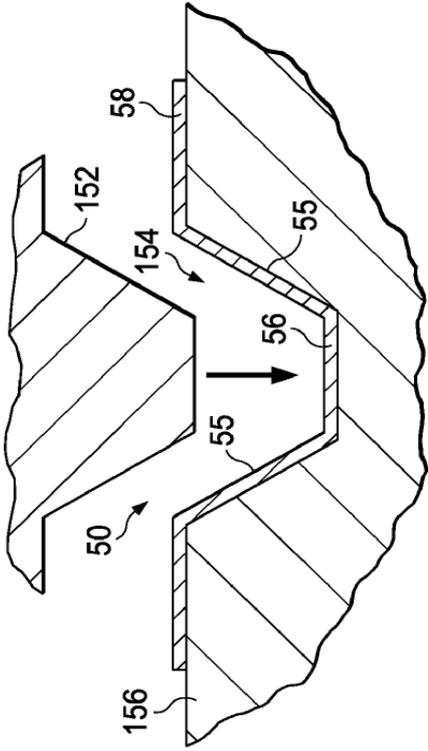


FIG. 21

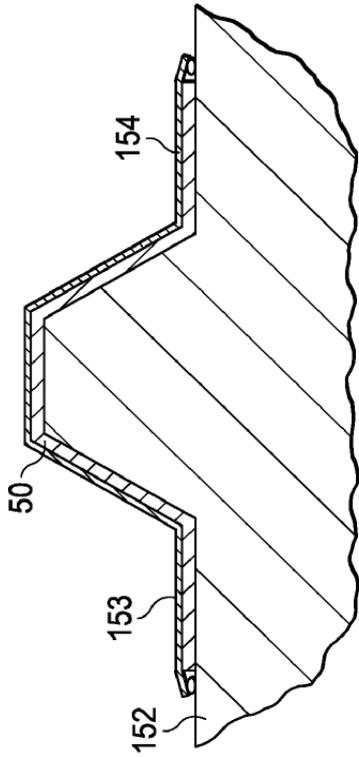


FIG. 20

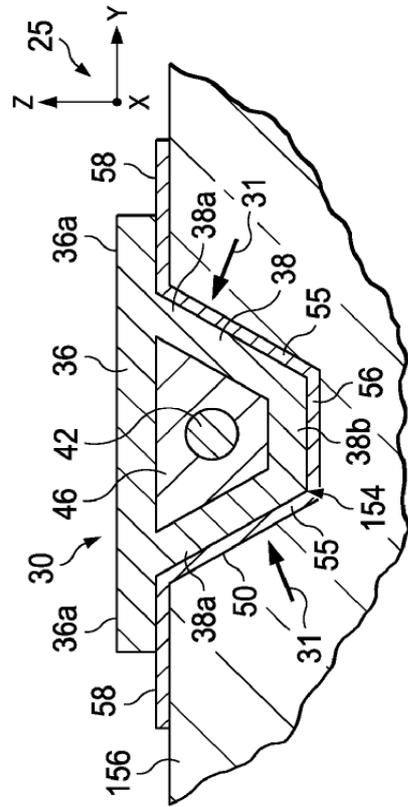


FIG. 22

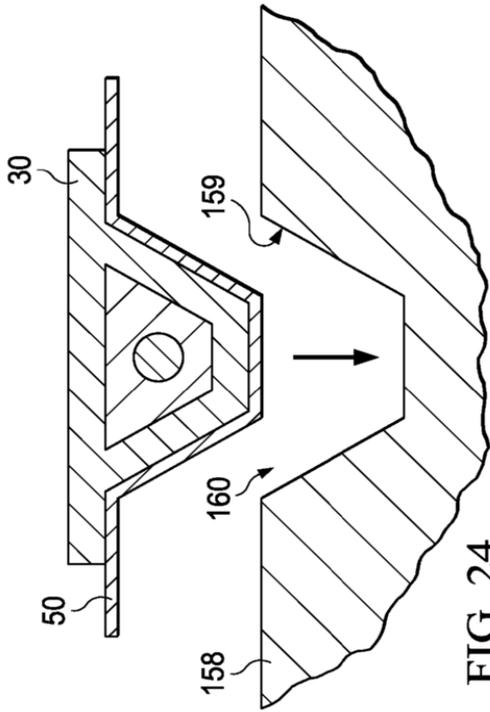


FIG. 24

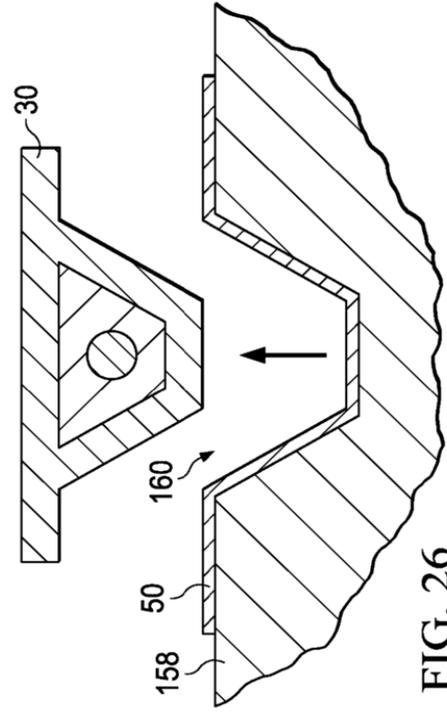


FIG. 26

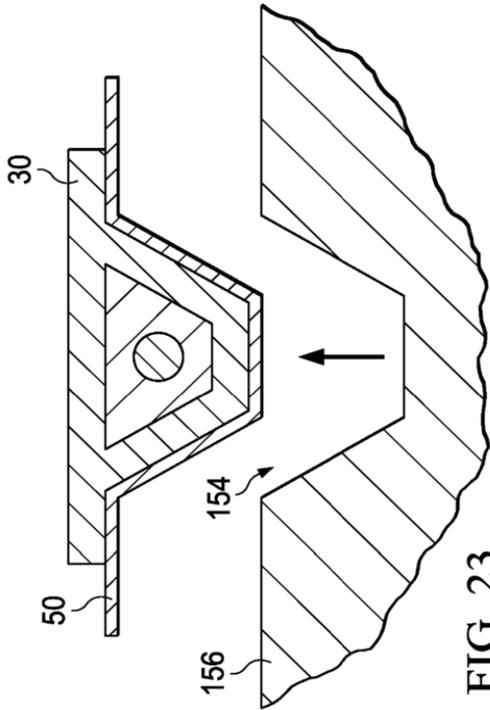


FIG. 23

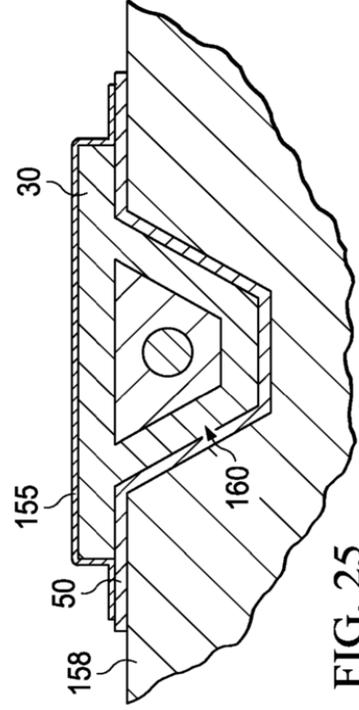


FIG. 25

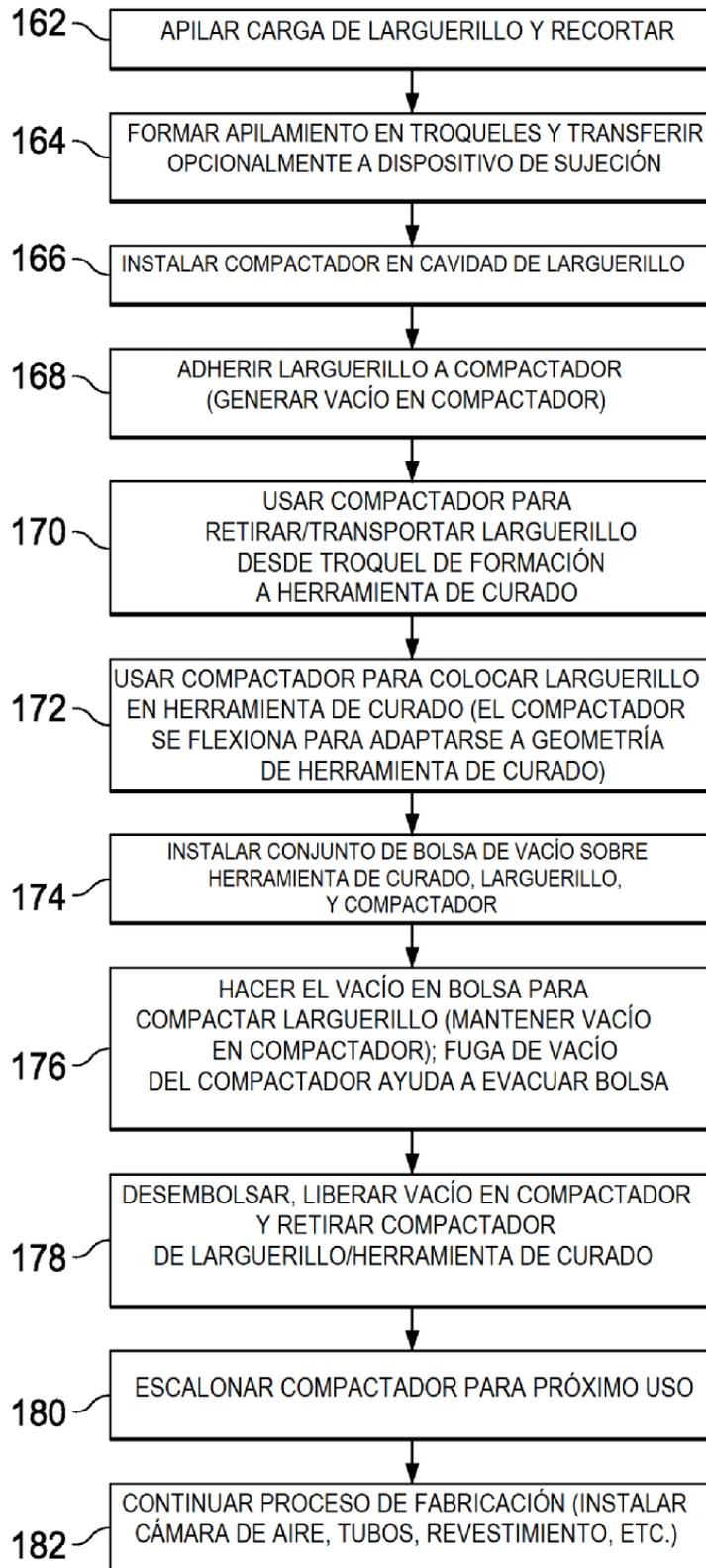


FIG. 27

