

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 760 944**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/22** (2006.01)  
**B29C 70/44** (2006.01)  
**B29D 99/00** (2010.01)  
**B29C 70/56** (2006.01)  
**B29C 53/02** (2006.01)  
**B29L 31/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2016** E 16180509 (8)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019** EP 3162544

54 Título: **Método y dispositivo para producir refuerzos laminados de material compuesto contorneados con arrugamiento reducido**

30 Prioridad:

**06.10.2015 US 201514876475**

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

**18.05.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**OFFENSEND, CHRISTOPHER DAVID;  
KAJITA, KIRK B.;  
DAVIS, KIERAN P. y  
SOJA, MATTHEW R.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 760 944 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 producir refuerzos laminados de material compuesto contorneados con arrugamiento reducido.

### Información de antecedentes

#### 5 1. Campo:

La presente divulgación se refiere, en general, a la fabricación de refuerzos laminados de material compuesto, y se ocupa más específicamente de un método y un dispositivo para producir refuerzos contorneados que reducen el arrugamiento de capas.

#### 2. Antecedentes:

10 Los refuerzos laminados de material compuestos contorneados, como los larguerillos con forma cóncava, pueden fabricarse usando una combinación de operaciones de formación primaria y secundaria. Por ejemplo, puede usarse una formación de punzón para formar una carga de material compuesto plana en un refuerzo recto que tiene una forma de sección transversal deseada tal como, sin limitación, una sección transversal en forma de sombrero. En una operación de formación secundaria, el larguerillo se forma a lo largo de su longitud sobre una herramienta de formación curva usando un compactador semiflexible sustancialmente recto que tiene una sección transversal en forma de sombrero. La presión atmosférica aplicada al compactador a través de una bolsa de vacío, y opcionalmente, la presión de la autoclave, forma el refuerzo sobre la herramienta de formación curva, impartiendo la curvatura deseada al refuerzo. Durante la operación de formación secundaria, el esfuerzo de flexión se genera dentro del refuerzo a medida que se adapta al contorno de la herramienta de formación. Este esfuerzo de flexión puede provocar un pandeo local de las fibras de material compuesto en el laminado en bruto, produciendo un arrugamiento no deseado en la parte curada, específicamente en las zonas cercanas al radio interior del refuerzo contorneado.

25 Por consiguiente, existe una necesidad de un método y un dispositivo para reducir el arrugamiento de laminado durante el contorneado de los refuerzos laminados de material compuesto controlando el esfuerzo en el plano en aquellas zonas del laminado que pueden estar sujetas a pandeo.

El documento US 2013/0327472 A1 se titula método para producir una pieza de sección curva de material compuesto a partir de una preforma rectilínea de capas de fibras. El documento US 2015/0197065 A1 se titula dispositivo para transportar, colocar y compactar refuerzos de material compuesto.

### Sumario

30 Las realizaciones desveladas proporcionan un método y un dispositivo para producir unos refuerzos laminados de material compuesto contorneados que reducen o eliminan el arrugamiento de capas provocado por el esfuerzo de compresión inducido en el laminado a medida que se contornea. Al reducir o eliminar sustancialmente el arrugamiento de capas, puede mejorarse el rendimiento estructural del refuerzo y pueden reducirse los costes de reparación, retrabajo, inspección y certificación.

35 En una realización, el arrugamiento de capas se reduce o se elimina aumentando la tensión en el radio exterior de un compactador usado para formar el laminado sobre una superficie de herramienta contorneada. El esfuerzo de tensión en el radio exterior del compactador aumenta cortando unas ranuras en el radio exterior del compactador. Las ranuras permiten que el laminado se selle al compactador y permite fuera del plano el movimiento del laminado sin introducir un esfuerzo de compresión en el radio interior del refuerzo. La supresión del esfuerzo de compresión a lo largo del radio interior se logra manteniendo la tensión en el radio exterior del laminado a medida que se forma sobre la herramienta de curado contorneada. Las ranuras en el radio exterior del compactador permiten que el compactador se extienda a lo largo del radio exterior, aplicando de este modo tensión al radio exterior. El esfuerzo de tensión resultante en el radio exterior contrarresta el esfuerzo de compresión en el radio interior producido cuando el refuerzo se forma sobre la superficie contorneada de la herramienta de curado.

45 De acuerdo con la divulgación, el esfuerzo de compresión en el radio interior del refuerzo contorneado se reduce o se elimina empleando un refuerzo contorneado que tiene una curvatura mayor que la curvatura de la superficie de herramienta contorneada en la que se forma el refuerzo. El compactador curvo aumenta la tensión aplicada al radio interior del compactador. El esfuerzo de tensión resultante en el radio interior del refuerzo a medida que el refuerzo se adapta a la superficie de herramienta, contrarresta el esfuerzo de compresión en el radio interior del refuerzo generado por el proceso de formación. El esfuerzo de tracción aplicado al refuerzo se mantiene durante todo el proceso de formación del contorno y continúa durante el curado del refuerzo.

De acuerdo con una realización desvelada, se proporciona un método para fabricar un refuerzo laminado de material compuesto contorneado. El método comprende ensamblar una carga laminada de material compuesto sustancialmente plana, formar la carga laminada de material compuesto en un refuerzo sustancialmente recto que tenga una forma de sección transversal deseada, y formar un contorno en el refuerzo que tenga un radio interior y un radio exterior. El método también incluye reducir el esfuerzo de compresión en el radio interior durante la formación del contorno. El ensamblaje de la carga laminada de material compuesto incluye acumular unos segmentos de capa preimpregnados que tienen cada uno una orientación de fibra de 0°. La acumulación de los segmentos de capa preimpregnados incluye superponer los segmentos de capas. La formación del contorno en el refuerzo incluye colocar el refuerzo recto sobre una superficie de herramienta curva, colocar un compactador en el refuerzo recto y usar el compactador para compactar el refuerzo contra la superficie de herramienta curva. La reducción del esfuerzo de compresión en el radio interior incluye aumentar el esfuerzo de tensión en el radio exterior del compactador. El aumento del esfuerzo de tensión en el radio exterior del compactador se realiza formando una serie de hendiduras en el radio exterior del compactador. La reducción del esfuerzo de compresión en el radio interior del refuerzo de laminado de material compuesto se realiza usando el compactador para aplicar tensión a las extremidades exteriores del refuerzo de laminado de material compuesto.

De acuerdo con la divulgación, se proporciona un método para fabricar un refuerzo de sombrero laminado de material compuesto contorneado. El método comprende formar una carga laminada de material compuesto sustancialmente plana en un refuerzo sustancialmente recto que tiene una sección transversal en forma de sombrero, usando el compactador para formar un contorno en el refuerzo y permitiendo que el compactador se extienda a medida que el compactador forma el contorno en el refuerzo. El contorno tiene un radio interior y un radio exterior, y el uso del compactador para formar el contorno incluye compactar el refuerzo contra una herramienta que tenga una superficie de herramienta curva que coincide sustancialmente con el radio interior. El método también incluye reducir el pandeo fuera del plano del refuerzo en una zona del radio interior del refuerzo produciendo un esfuerzo de tensión en el radio exterior que reduce el esfuerzo de compresión en la zona del radio interior del refuerzo. La producción del esfuerzo de tensión incluye formar una serie de hendiduras en el compactador que permiten que un radio interior del compactador se extienda a medida que el compactador forma el refuerzo contra la superficie de herramienta curva. En una variación, la producción del esfuerzo de tensión incluye aplicar tensión al radio interior del refuerzo. La aplicación de tensión al radio interior del refuerzo incluye usar el compactador para aplicar la tensión, en el que el compactador está contorneado y tiene una curvatura que es mayor que la curvatura de la superficie de herramienta curva. El método comprende además curar el refuerzo, en el que la producción del esfuerzo de tensión continúa durante todo el curado del refuerzo.

De acuerdo con la divulgación, se proporciona un dispositivo para formar un refuerzo laminado de material compuesto contorneado. El dispositivo comprende un compactador adaptado para formar y compactar un refuerzo laminado de material compuesto contra una superficie de herramienta, teniendo el compactador una curvatura mayor que la curvatura de la superficie de herramienta. El compactador puede extenderse y está configurado para aplicar tensión al refuerzo a medida que el refuerzo se forma contra la superficie de herramienta. El compactador tiene una sección transversal en forma de sombrero que incluye una parte de tapa, un par de partes de brida, un par de partes de banda que conectan la tapa con las partes de brida. La parte de tapa incluye una serie de hendiduras separadas en la misma. El compactador también incluye una sección de radio interior y una sección de radio exterior, y la sección de radio interior incluye una serie de hendiduras que permiten que se flexione el compactador.

De acuerdo con una realización desvelada adicional se proporciona un dispositivo para formar un refuerzo laminado de material compuesto contorneado que tiene una sección transversal en forma de sombrero. El dispositivo comprende un compactador adaptado para formar el refuerzo laminado de material compuesto sobre una superficie de herramienta curva. El compactador incluye una parte de tapa, un par de partes de brida y un par de partes de banda que conectan la parte de tapa con las partes de brida. El compactador incluye además una serie de hendiduras separadas en el mismo que se extienden a través de las partes de brida y al menos parcialmente en las partes de banda para impartir un esfuerzo de tensión al refuerzo laminado de material compuesto cuando el refuerzo se forma sobre la superficie de herramienta curva. El dispositivo también puede incluir una placa de soporte adaptada para recubrir y transmitir una fuerza de formación a las partes de brida. La placa de soporte puede estar formada de un material sustancialmente flexible. La placa de soporte también puede incluir una pluralidad de hendiduras que permiten que la placa de soporte se flexione y se adapte a las partes de brida a medida que el compactador forma el refuerzo laminado de material compuesto sobre la superficie de herramienta curva.

Las características, funciones y ventajas pueden conseguirse independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en otras realizaciones más en las que pueden verse detalles adicionales haciendo referencia a la siguiente descripción y a los dibujos.

### Breve descripción de los dibujos

Las características novedosas que se creen características de las realizaciones ilustrativas se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ilustrativas, así como un modo de uso preferido, los objetivos adicionales y las ventajas de las mismas, se entenderán mejor haciendo referencia a la siguiente

descripción detallada de una realización ilustrativa de la presente divulgación cuando se lee junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración de una vista en perspectiva de un larguerillo de sombrero contorneado.

5 La figura 2 es una ilustración de una vista en perspectiva que muestra la conversión de una carga laminada de material compuesto plana en un larguerillo recto que tiene una sección transversal en forma de sombrero.

La figura 3 es una ilustración de una vista lateral longitudinal que muestra un conjunto de herramienta que emplea una realización de un compactador.

La figura 4 es una ilustración similar a la figura 3, pero mostrando ensamblados y formados al compactador y al larguerillo sobre la herramienta de formación, para mayor claridad no se muestra una bolsa de vacío.

10 La figura 5 es una ilustración de una vista en sección tomada a lo largo de la línea 5-5 en la figura 4, pero que también muestra una placa de soporte y una bolsa de vacío.

La figura 6 es una ilustración de una vista en perspectiva del compactador mostrado en las figuras 3, 4 y 5, después de haberse conformado a la curvatura de la herramienta de formación.

15 La figura 7 es una ilustración de una vista en planta de una placa compactadora opcional que forma parte del conjunto de herramienta mostrado en la figura 5.

La figura 8 es una ilustración de una vista en alzado lateral del compactador mostrado en la figura 7, útil para explicar la reducción del esfuerzo de compresión a lo largo del radio interior del compactador.

La figura 9 es una ilustración del larguerillo contorneado, útil para explicar la reducción del arrugamiento de las zonas de radio interior del larguerillo.

20 La figura 10 es una ilustración de una vista lateral longitudinal de una realización alternativa del compactador y de una herramienta de formación que tiene múltiples superficies de herramienta planas y contorneadas.

Las figuras 11 y 12 son unas ilustraciones de vistas laterales de dos segmentos contiguos de capas discontinuas de 0°.

25 La figura 13 es una ilustración de un conjunto de herramienta de formación que emplea una realización alternativa del compactador.

La figura 14 es una ilustración del conjunto de herramienta de formación mostrado en la figura 13, en el que el compactador se ha arrastrado parcialmente hacia la herramienta de formación.

La figura 15 es una ilustración de la zona designada como "figura 15" en la figura 14, pero en la que una parte de la herramienta de formación se ha separado para ilustrar mejor el esfuerzo de tensión en la tapa del larguerillo.

30 La figura 16 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para fabricar un refuerzo laminado de material compuesto contorneado que tiene un arrugamiento reducido.

La figura 17 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para fabricar un refuerzo de sombrero laminado de material compuesto contorneado.

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

35 La figura 19 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

### Descripción detallada

40 Haciendo referencia en primer lugar a la figura 1, la divulgación proporciona un método y un dispositivo para producir un refuerzo laminado de material compuesto contorneado 20 que tiene una curvatura 30 a lo largo de su eje longitudinal 32. En el ejemplo ilustrado, el refuerzo 20 es un larguerillo de sombrero que tiene una sección transversal con forma de sombrero 22, sin embargo, los principios de las realizaciones desveladas pueden aplicarse a una amplia gama de refuerzos alargados que tienen cualquiera de las diversas formas de sección transversal, que incluyen pero no se limitan a formas de sección transversal en C, J, Z y T.

La sección transversal con forma de sombrero 22 comprende una tapa 24 conectada a un par de bridas giradas hacia el exterior 26 por un par de bandas 28. El refuerzo ilustrado 20 es de forma cóncava, con la tapa 24 que se localiza a lo largo del radio interior 34 de la curvatura 30 y las bridas 26 que se localizan a lo largo del radio exterior 36. Como se usa en el presente documento junto con el refuerzo contorneado 20, "radio interior" y "radio exterior" se refieren respectivamente a las secciones interior y exterior del refuerzo 20, o en otras palabras, aquellas capas de material compuesto que se encuentran cerca del radio interior 34 y aquellas capas que se encuentran cerca del radio exterior 36 del refuerzo 20. En algunas realizaciones, la tapa 24 puede estar localizada a lo largo del radio exterior 36, mientras que las bridas 26 se localizan a lo largo del radio interior 34. En otras realizaciones más, el refuerzo 20 puede tener más de una curvatura 30, así como unas secciones rectas a lo largo de su longitud.

En una realización, el refuerzo contorneado 20 mostrado en la figura 1 puede producirse usando una combinación de operaciones de formación primaria y secundaria. La figura 2 ilustra una operación de formación primaria en la que se ensambla una carga laminada de material compuesto plana 38 y un punzón formado en un refuerzo recto 42 que tiene una sección transversal en forma de sombrero. Sin embargo, pueden emplearse otros procesos para formar la carga 38 en un refuerzo recto 42 que tiene la forma de sección transversal deseada. La carga 38 comprende una pila de capas de preimpregnado 40 que tienen diversas orientaciones de fibra, que incluyen capas de 0° 40a, dispuestas de acuerdo con un programa de capas predeterminado adecuado para la aplicación. Como se tratará más adelante, opcionalmente, algunas o todas las capas de 0° grados 40a pueden ser discontinuas, por ejemplo, en forma de segmentos de capa 70, para ayudar en el posterior contorneado del refuerzo recto 42.

La atención se dirige ahora a las figuras 3-6, que ilustran un compactador 44 y una herramienta de formación 46 que puede usarse en una operación de formación secundaria para formar el refuerzo recto 42 (figura 2) a un contorno deseado, tal como la forma cóncava mostrada en la figura 1. La herramienta de formación 46, que puede comprender una herramienta de curado en la que se cura el refuerzo 20, tiene una superficie de herramienta curva 48 conformada para que coincida sustancialmente con la curvatura deseada 30 (figura 1) del refuerzo 20. El compactador 44 se usa para formar el refuerzo 42 hacia abajo sobre la superficie de herramienta 48 y, que se tratará más adelante con más detalle, está configurado para evitar la introducción de altos niveles de esfuerzo de compresión a lo largo del radio interior 34 (es decir, la tapa 24) del refuerzo 20 que puede conducir a un arrugamiento de capas no deseado. El compactador 44 tiene una forma de sección transversal que coincide sustancialmente con la sección transversal en forma de sombrero del refuerzo 20. El compactador incluye una parte de tapa 50 conectada con un par de partes de brida 52 por un par de partes de banda 54. El compactador 44 puede formarse de cualquier material adecuado, tal como, sin limitación, un material compuesto, que tenga suficiente resistencia y rigidez para aplicar una presión de compactación al refuerzo en bruto 42 en respuesta a una fuerza de formación aplicada **F**.

El compactador 44 incluye una serie de hendiduras separadas longitudinalmente 56 en el mismo que se extienden completamente a través de cada una de las partes de brida 52 y parcialmente en las partes de banda 54. Durante una operación de formación, la fuerza de formación aplicada **F** dobla el compactador 44 y el refuerzo 42 sobre la herramienta 46, haciendo que tomen la forma de la superficie de herramienta 48. A medida que el compactador recto 44 se dobla sobre la superficie de herramienta curva 48, el radio exterior 65 del compactador 44 se coloca en tensión, haciendo que sufra un alargamiento axial, conocido como esfuerzo de tensión, mientras que el radio interior 55 se coloca en compresión y experimenta una compresión axial, conocida como esfuerzo de compresión. Las hendiduras 56 en las partes de brida 52 se extienden cuando se tensan durante el proceso de formación. La extensión de las hendiduras 56 da como resultado un aumento en la cantidad de alargamiento o esfuerzo de tensión en el radio exterior 65. El esfuerzo de tensión aumenta en el radio exterior 65 (las partes de brida 52) se contrarresta y por lo tanto se reduce el esfuerzo de compresión en la parte de tapa de compactador 50. El aumento en el esfuerzo de tensión en las partes de brida 52 del compactador 44 se transfiere a las bridas 26 del refuerzo en bruto 42, lo que a su vez reduce el esfuerzo de compresión en la tapa de refuerzo 24 y el arrugamiento de capas concomitante.

Haciendo referencia específicamente a las figuras 4 y 5, durante su uso, el refuerzo recto 42 se coloca en la superficie de herramienta 48, y el compactador 44, que está sustancialmente recto en este punto, se coloca dentro del refuerzo recto 42. Opcionalmente, en función de la aplicación, se coloca una placa de soporte 58 (figura 5) en la parte superior del compactador 44, en contacto cara a cara con las partes de brida 52 del compactador 44. A continuación, se coloca una bolsa de vacío 62 (figura 5) sobre el conjunto de la herramienta de formación 46, el refuerzo 42, el compactador 44 y la placa de soporte 58. La bolsa de vacío 62 se sella alrededor de la herramienta de formación 46, y a continuación se evacua, haciendo que la presión atmosférica aplique una fuerza de formación **F** al compactador 44. La fuerza de formación aplicada **F** se transmite desde el compactador 44 al refuerzo 42, haciendo que el refuerzo 42 se forme hacia abajo sobre la superficie de herramienta 48. Aunque no se muestra en las figuras, el proceso de formación del refuerzo puede realizarse dentro de una autoclave donde la presión de autoclave interior puede comprender parte de la fuerza de formación **F**.

A medida que se aplica la fuerza de formación **F**, el compactador 44 se dobla para adaptarse a la superficie de herramienta curva 48. Las hendiduras 56 a lo largo del radio exterior 65 (véase la figura 6) del compactador 44 se propagan durante esta flexión, permitiendo que el compactador 44 se flexione y se alargue a medida que se ajusta a

lo largo de su longitud a la curvatura de la superficie de herramienta 48. Como se ha observado anteriormente, las hendiduras 56 funcionan para aumentar el esfuerzo de tensión a lo largo del radio exterior 65 del compactador 44 debido a que permiten que el radio exterior 65 se alargue más de lo que se alargaría de otro modo en respuesta al estrés de tensión en el radio exterior 65 provocado por la fuerza de formación aplicada **F**. Debido al aumento del esfuerzo de tensión en el radio exterior 65, la tensión resultante del estrés de flexión se desplaza o se redirige hacia el interior del refuerzo 42, y se aplica en una zona dentro del refuerzo 41 que está más cerca del radio interior 55. Por ejemplo, una parte de la tensión aplicada puede desplazarse desde el radio exterior 65 y aplicarse a una zona del refuerzo 42 localizada en algún lugar entre el radio interior 55 y el radio exterior 65. La tensión que se aplica más cerca del radio interior al menos parcialmente compensa la compresión experimentada por el compactador 44 en el radio interior 55, reduciendo de este modo el esfuerzo de compresión en el radio interior 55.

Durante una operación de formación, la fuerza de formación aplicada **F** se transmite a través del compactador 44 al refuerzo 42. El compactador 44 y el refuerzo 42 están estrechamente conectados entre sí y no se deslizan sustancialmente uno en relación con otro debido a la fuerza de formación **F** que los presiona entre sí, junto con la fricción y/o las fuerzas adhesivas entre los mismos. La adhesión entre el compactador 44 y el refuerzo 42 resulta de la pegajosidad del refuerzo en bruto 42, que aumenta cuando se calienta durante la formación y/o el curado. En función de la aplicación y del material a partir del que se forma el compactador 44, puede ser necesario o deseable aumentar la adhesión y/o la fricción entre el compactador 44 y el refuerzo 42 de tal manera que estos dos componentes no se deslicen uno en relación con otro durante el proceso de formación. Puede lograrse un aumento en la adherencia y/o la fricción tratando la superficie del compactador 44 de tal manera que muestre una mayor fricción cuando se pone en contacto con el refuerzo 42, y/o interponiendo una capa de adhesivo (no mostrada) entre el compactador 44 y el refuerzo 42.

El aumento del esfuerzo de tensión que permite que el compactador 44 se alargue y se extienda a lo largo de su longitud, así como la correspondiente reducción en el esfuerzo de compresión a lo largo del radio interior 55 se transfiere desde el compactador 44 al refuerzo 42. Las hendiduras 56 también ayudan a lograr un sellado de vacío confiable alrededor del refuerzo en bruto 42. La placa de soporte 58 ayuda a aplicar uniformemente la fuerza de formación **F** a las partes de brida del compactador 52. En una realización, la placa de soporte 58 puede estar formada de un material flexible que le permita doblarse y adaptarse a la curvatura de la superficie de herramienta 48. En otras realizaciones, como se muestra en la figura 7, la placa de soporte 58 puede estar formada de un material más rígido, tal como un material compuesto, que está provisto de una serie de ranuras escalonadas 60 en el mismo para permitir que la placa de soporte 58 se flexione según sea necesario en respuesta a la fuerza de formación aplicada **F**.

Las figuras 8 y 9 ilustran, respectivamente, los contornos del compactador 44 y el refuerzo 42 después de forzarse hacia abajo sobre la superficie de herramienta curva 48, y el refuerzo recto 42 ha adoptado la forma de la superficie de herramienta 48 que está conformada para complementar la forma del refuerzo 42. A medida que el compactador 44 se adapta a la superficie de herramienta curva 48, las zonas del compactador 44 cerca del radio interior 85, y específicamente la parte de tapa 50 se colocan en compresión 66. Simultáneamente, las zonas del compactador 44 cerca del radio exterior 95, a saber, las partes de brida 52 y las secciones exteriores de las partes de banda 54, se colocan en tensión 68, haciendo que las hendiduras 56 se ensanchen y el compactador 44 se extienda. La extensión de las hendiduras 56 en el compactador 44 cerca del radio exterior 65 aumenta el esfuerzo de tensión en esta zona, y este aumento en el esfuerzo de tensión contrarresta el esfuerzo de compresión que se produce en la zona del radio interior 55. El aumento del esfuerzo de tensión cerca del radio exterior 65 y la disminución resultante del esfuerzo de compresión cerca del radio interior 55 se transfieren desde el compactador 44 al refuerzo 42, reduciendo o eliminando de ese modo el arrugamiento de capas en la tapa 24 del refuerzo 42. El aumento del esfuerzo de tensión en el radio exterior 35 del refuerzo 42 permite que las capas sucesivas más cercanas al radio interior 34 se deslicen unas en relación con otras, reduciendo de este modo el esfuerzo de compresión cerca del radio interior 34. La tensión 68 y la compresión 66 experimentadas por el compactador 44 que se transfieren al radio interior 34 y al radio exterior 35 del refuerzo 42 se mantienen durante todo el proceso de contorneado y posteriormente durante el curado.

Como se ha mencionado anteriormente, en algunas aplicaciones, el refuerzo 20 puede tener más de una curvatura 30 así como secciones rectas a lo largo de su longitud. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 10, una herramienta de formación 46 puede tener múltiples secciones de 46a-46d con superficies de herramienta 48 que tienen contornos diferentes que son respectivamente complementarios a las formas correspondientes (no mostradas) del refuerzo 20. En el ejemplo ilustrado, las superficies de herramienta 48 en las secciones 46a y 46d de la herramienta tienen curvaturas que son opuestas a la superficie de herramienta curva 48 en la sección 46b. Las superficies de herramienta contorneadas de manera opuesta 48 en las secciones 46b y 46d están conectadas por una superficie de herramienta sustancialmente recta o plana 48 en la sección 46c. La figura 10 también ilustra un compactador 44 adecuado para compactar un refuerzo recto 42 (no mostrado en la figura 10) contra la herramienta de formación 46. El compactador 44 incluye dos conjuntos de hendiduras 56a, 56c en las partes de brida 52 para reducir el esfuerzo de compresión en la parte de tapa 50 cuando se forma sobre las secciones 46a y 46d de la herramienta 46, y un tercer conjunto de hendiduras 56b en la parte de tapa 50 para reducir el esfuerzo de compresión en las partes de brida 54 cuando se forma sobre la sección 46b de la herramienta 46. La zona del

compactador 44 que forma el refuerzo 42 contra la superficie de herramienta plana 48 en la sección 46c no tiene hendiduras 56 en la misma.

Haciendo referencia ahora a las figuras 11 y 12, en algunas realizaciones, opcionalmente, las capas 40a (véase la figura 2) que tienen una orientación de 0° con las fibras de refuerzo alineadas en general con el eje longitudinal 32 (figura 1) del refuerzo 20 puede ser discontinuas. Por ejemplo, las capas discontinuas de 0° 40a pueden comprender unos segmentos de capa preimpregnados de 0° 70 (figuras 2, 11 y 12) que se superponen entre sí a lo largo del refuerzo 20. La longitud  $L$  de los segmentos de capa 70 dependerá de la aplicación y del grado de contorno de refuerzo. Durante el proceso de formación de contornos en el que se forma el refuerzo recto 42 hacia abajo sobre la superficie de herramienta de formación 48, los segmentos de capa 70 se deslizan 72 en el plano (figura 11) uno en relación con otro con el fin de facilitar la formación del radio interior 85 sobre la superficie de herramienta 48 y de ayudar a evitar el pandeo en unas arrugas fuera del plano.

La atención se dirige ahora a las figuras 13, 14 y 15 que ilustran el empleo de un compactador curvo 74 que tiene un radio de curvatura 84 que es menor que el radio de curvatura 88 de una superficie de herramienta 48 usada para el contorno de un refuerzo en bruto recta 42. Por lo tanto, el compactador 74 tiene una curvatura que es mayor que la curvatura de la superficie de herramienta 48. El compactador 74 puede formarse de cualquier material adecuado, tal como un material compuesto que tenga suficiente rigidez y firmeza para formar el refuerzo en bruto 42 hacia abajo sobre la superficie de herramienta curva 48, pero aún es extensible 92 (figuras 13 y 14) a lo largo de su longitud. El compactador 74 tiene una sección de radio interior 86 y una sección de radio exterior 87. La forma de sección transversal del compactador 74 es sustancialmente idéntica a la del refuerzo recto 42 e incluye una parte de tapa 76 conectada a un par de partes de brida 78 por un par de partes de banda 80. En esta realización, la parte de tapa 76 está provista de una serie de hendiduras separadas 82 en la sección de radio interior 86 de la misma que se extienden parcialmente en las partes de banda 80 del compactador 74.

Haciendo referencia ahora específicamente a las figuras 14 y 15, durante su uso, el refuerzo en bruto 42 se coloca en la herramienta 46, y el compactador 74 se coloca sobre el refuerzo 42. Aunque no se muestra en las figuras, una bolsa de vacío está sellada sobre el compactador 74 y se evacua posteriormente. La evacuación de la bolsa genera una fuerza de formación  $F$  que fuerza al compactador 74 contra el refuerzo 42. La fuerza de formación  $F$  hace que el refuerzo 42 se forme hacia abajo sobre la superficie de herramienta curva 48. El procesamiento en autoclave puede usarse para aumentar la fuerza de formación  $F$ . Las extremidades exteriores 90 del compactador 74 se acoplan inicialmente a las extremidades exteriores 105 del refuerzo 42. Durante este acoplamiento, como resultado de la fricción entre el compactador 74 y el refuerzo 42, el compactador 74 aplica tensión 96 (figura 15) en las extremidades exteriores 105 del refuerzo 42. A medida que el compactador 74 comienza a aplanarse cuando se adapta a la superficie de herramienta 48, se genera un esfuerzo de tensión en la superficie del compactador 74 que está en contacto con la tapa de refuerzo 24. Este esfuerzo de tensión a su vez induce tensión en la tapa de refuerzo 24 que contrarresta los efectos de la carga de compresión en la tapa de refuerzo 24, ya que está conformada a la superficie de herramienta 48. Opcionalmente, aunque no se muestra en las figuras, puede colocarse una capa del material de alta fricción o un adhesivo entre el compactador 74 y el refuerzo 42 para aumentar la fricción entre estos dos componentes, y aumentar de este modo la tensión 96 aplicada por el compactador 74 al refuerzo 42.

La presencia de las hendiduras 82 en la parte de tapa 76 y de la parte de banda 80 del compactador 74 permiten un esfuerzo de tensión y la extensión 92 de las extremidades de compactador 90 a medida que el compactador 74 se flexiona y se fuerza hacia abajo sobre la superficie de herramienta curva 48. Como se ha mencionado anteriormente, la tensión 96 aplicada por el compactador 74 al radio interior 85 (figura 9) del refuerzo 42, contrarresta el esfuerzo de compresión 94 en el radio interior 85 del refuerzo 42. La reducción o la eliminación del esfuerzo de compresión 94 del compactador 74, y por lo tanto en el radio interior 85 del refuerzo 42, reduce o elimina sustancialmente el arrugamiento de capas en la tapa 24 del refuerzo 42 a medida que se forma hacia abajo sobre la superficie de herramienta 48.

La figura 16 ilustra las etapas generales de un método de formación de un refuerzo laminado de material compuesto contorneado 20. A partir de 95, se ensambla una carga laminada de material compuesto sustancialmente plana 38 después de lo cual, en la etapa 97, la carga 38 se forma en un refuerzo recto 42 que tiene una sección transversal 22 de una forma deseada. En 98, se forma una curvatura 30 en el refuerzo 42. El contorno tiene un radio interior 34 y un radio exterior 36. En 100, el esfuerzo de compresión en el radio interior 34 del refuerzo se reduce o se elimina durante la formación de la curvatura 30 en el refuerzo 42. En 102, el refuerzo contorneado 20 se cura, y en 104, la reducción del esfuerzo de compresión en el radio interior se mantiene durante el curado del refuerzo.

La figura 17 ilustra las etapas generales de un método de producción de un refuerzo de sombrero laminado de material compuesto contorneado. A partir de 106, se forma una carga laminada de material compuesto sustancialmente plana 38 en un refuerzo sustancialmente recto 42 que tiene una sección transversal en forma de sombrero 22. En 108, se usa un compactador 44 para formar un contorno en el refuerzo 42. En 110, se permite al compactador extenderse a medida que el compactador 44 está formando el contorno en el refuerzo 42.

Las realizaciones de la divulgación pueden encontrar uso en una variedad de aplicaciones potenciales,

específicamente en la industria del transporte, incluyendo por ejemplo, la industria aeroespacial, marina, aplicaciones de automoción y otras aplicaciones donde pueden usarse los refuerzos de material compuesto alargados contorneados, tales como los larguerillos contorneados. Por lo tanto, haciendo referencia ahora a las figuras 18 y 19, las realizaciones de la divulgación pueden usarse en el contexto de un método de fabricación y servicio de aeronaves 114 como se muestra en la figura 18 y una aeronave 116 como se muestra en la figura 19. Las aplicaciones de aeronaves de las realizaciones desveladas pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, larguerillos, largueros y vigas, por nombrar solo algunos. Durante la preproducción, el método a modo de ejemplo 114 puede incluir la especificación y el diseño 118 de la aeronave 116 y la adquisición de material 120. Durante la producción, tiene lugar la fabricación de componentes y el subensamblaje 122 y la integración de sistema 124 de la aeronave. A partir de aquí, la aeronave 116 puede pasar por la certificación y la entrega 126 con el fin de ponerse en servicio 128. Mientras está en servicio en un cliente, la aeronave 116 está programada para el mantenimiento y el servicio de rutina 130, que también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación, etc.

Cada uno de los procesos del método 114 puede realizarse o llevarse a cabo por un integrador de sistemas, un tercero, y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los fines de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una empresa de arrendamiento financiero, una entidad militar, una organización de servicios, etc.

Como se muestra en la figura 19, la aeronave 116 producida por el método a modo de ejemplo 114 puede incluir un fuselaje 132 con una pluralidad de sistemas 134 y un interior 136. Ejemplos de sistemas de alto nivel 134 incluyen uno o más de entre un sistema de propulsión 138, un sistema eléctrico 140, un sistema hidráulico 142 y un sistema ambiental 144. Pueden incluirse cualquier número de otros sistemas. 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 114. Por ejemplo, componentes o subensamblajes correspondientes al proceso de producción 122 y 124 pueden fabricarse o manufacturarse de una manera similar a los componentes o subensamblajes producidos mientras la aeronave 116 está en servicio 128. Además, una o más realizaciones de aparatos, realizaciones de métodos, o una combinación de las mismas pueden utilizarse durante las etapas de producción 122 y 124, por ejemplo, agilizando sustancialmente el ensamblaje o reduciendo el coste de una aeronave 116. De manera similar, una o más de las realizaciones de aparatos, realizaciones de métodos o una combinación de las mismas pueden usarse mientras la aeronave 116 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para el mantenimiento y el servicio 130.

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

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



**REIVINDICACIONES**

1. Un método para fabricar un refuerzo laminado de material compuesto contorneado (20), que comprende:

5 ensamblar una carga laminada de material compuesto sustancialmente plana (38);  
formar la carga laminada de material compuesto (38) en un refuerzo sustancialmente recto (42) que tenga una  
forma de sección transversal deseada;  
formar un contorno en el refuerzo (20) que tenga un radio interior (34) y un radio exterior (36); y  
reducir el esfuerzo de compresión en el radio interior (34) durante la formación del contorno,  
en el que formar el contorno en el refuerzo (20) incluye:

10 colocar el refuerzo recto (42) en una superficie de herramienta curva (48),  
colocar un compactador (44) en el refuerzo recto (42), teniendo el compactador (44) una curvatura mayor que  
una curvatura de la superficie de herramienta curva (48),  
usar el compactador (44) para compactar el refuerzo (42) contra la superficie de herramienta curva (48),  
en el que la reducción del esfuerzo de compresión en el radio interior (34) incluye aumentar el esfuerzo de  
tensión en el radio exterior (65) del compactador (44), en el que el aumento del esfuerzo de tensión en el  
15 radio exterior (65) del compactador (44) se realiza formando una serie de hendiduras (56) en el radio exterior  
(65) del compactador (44), o  
en el que la reducción del esfuerzo de compresión en el radio interior (34) del refuerzo laminado de material  
compuesto (20) se realiza usando el compactador (44) para aplicar tensión a las extremidades exteriores del  
refuerzo laminado de material compuesto.

20 2. El método de la reivindicación 1, en el que ensamblar una carga laminada de material compuesto (38) incluye  
acumular unos segmentos de capa preimpregnados (70), teniendo cada uno una orientación de fibra de 0°.

3. El método de la reivindicación 2, en el que acumular los segmentos de capa preimpregnados (70) incluye  
superponer los segmentos de capa preimpregnados (70).

25 4. Un dispositivo para formar un refuerzo laminado de material compuesto contorneado, que comprende:  
un compactador contorneado adaptado para formar y compactar un refuerzo laminado de material compuesto contra  
una superficie de herramienta, teniendo el compactador una curvatura mayor que la curvatura de la superficie de  
herramienta, en el que el compactador es extensible y está configurado para aplicar una tensión al refuerzo a  
medida que el refuerzo se forma contra la superficie de herramienta.

5. El dispositivo de la reivindicación 4, en el que:

30 el compactador tiene una sección transversal en forma de sombrero que incluye una parte de tapa, un par de  
partes de brida, un par de partes de banda que conectan la tapa con las partes de brida, y  
la parte de tapa incluye una serie de hendiduras separadas en la misma.

6. El dispositivo de una de las reivindicaciones 4 o 5, en el que:

35 el compactador incluye una sección de radio interior y una sección de radio exterior, y  
la sección de radio interior incluye una serie de hendiduras en la misma que permiten que se flexione el  
compactador.

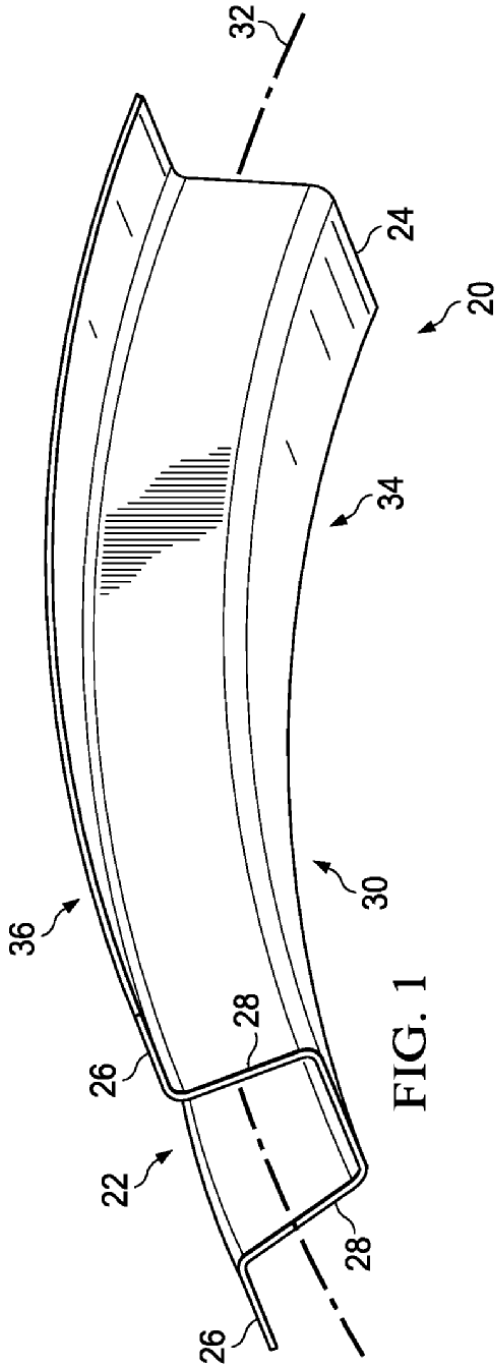


FIG. 1

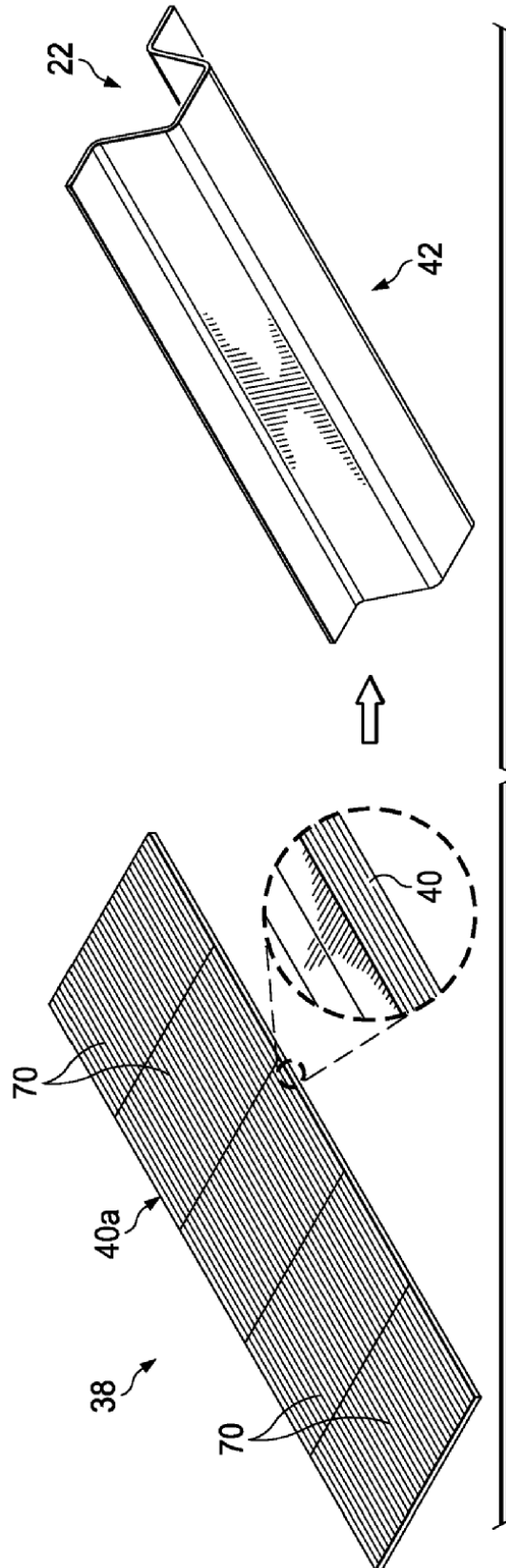


FIG. 2

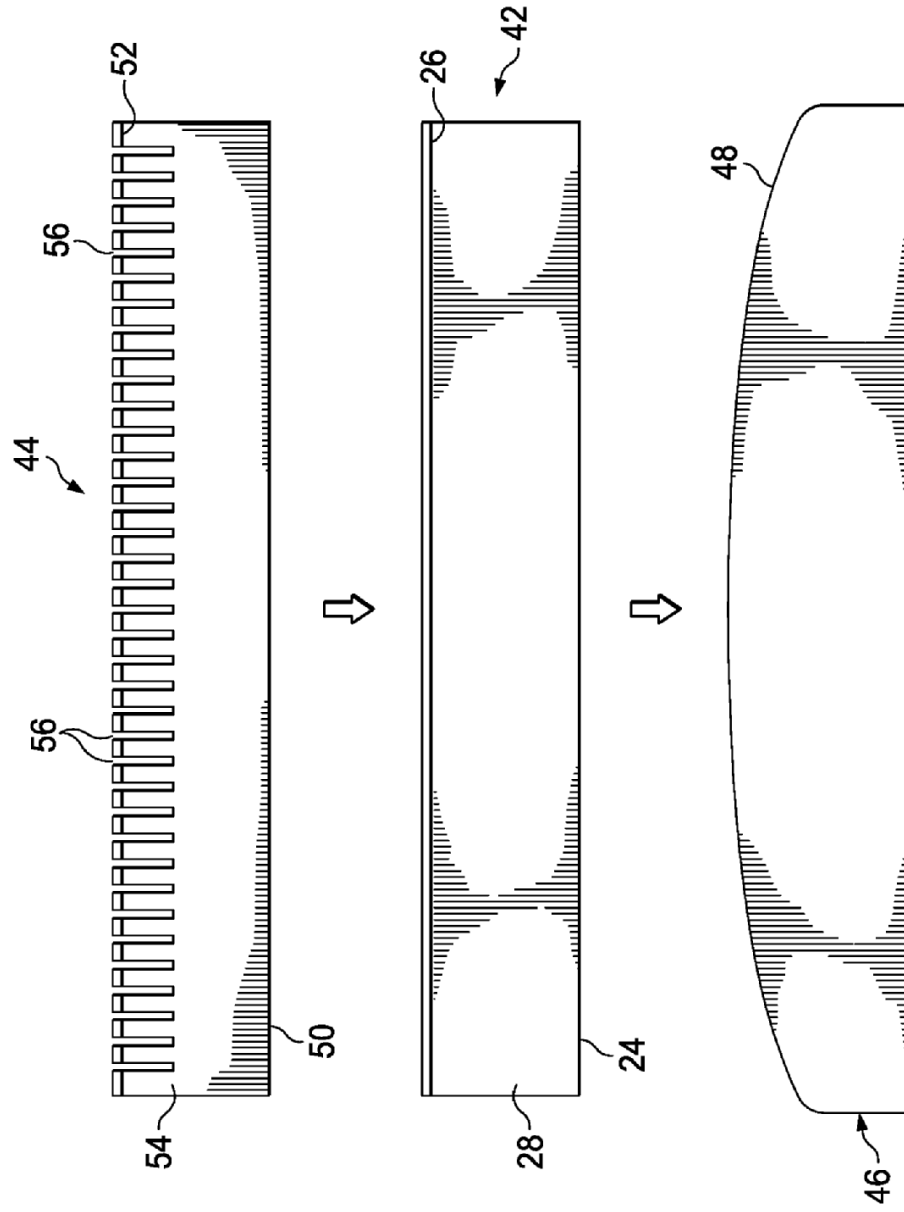


FIG. 3

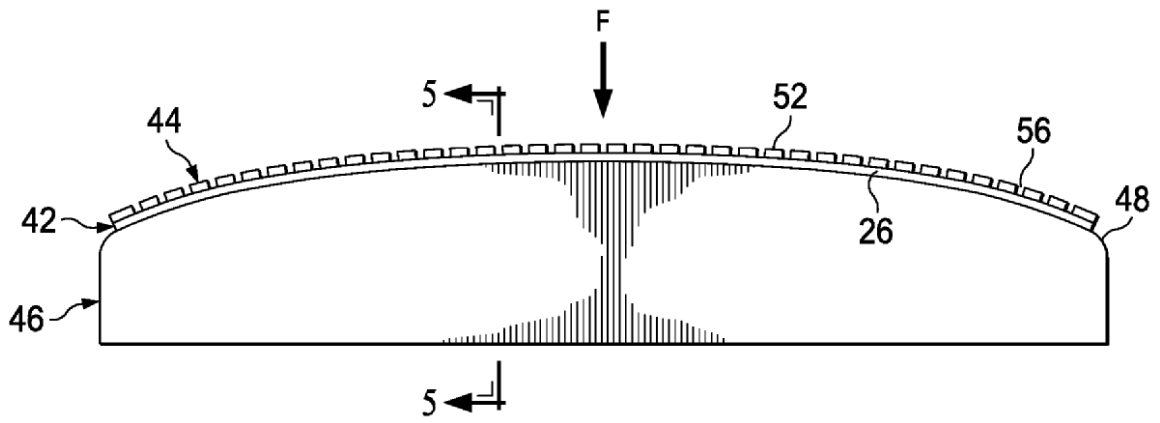


FIG. 4

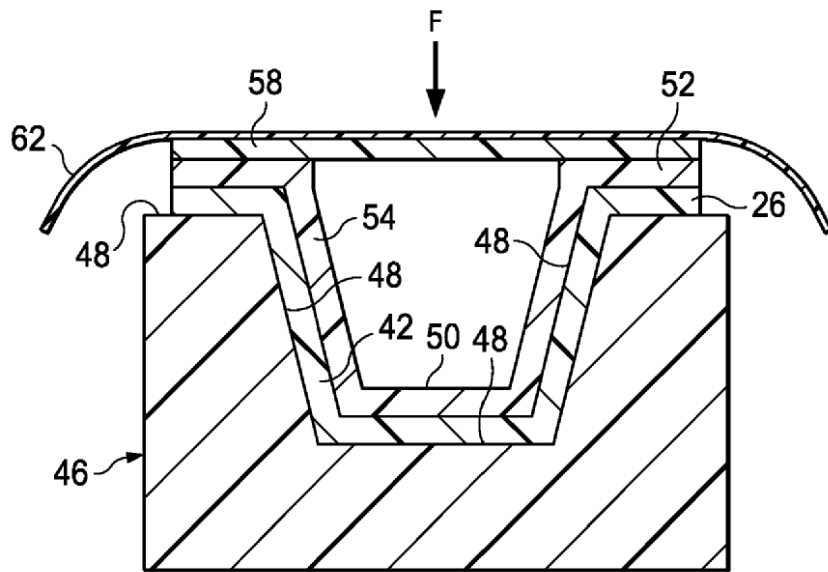
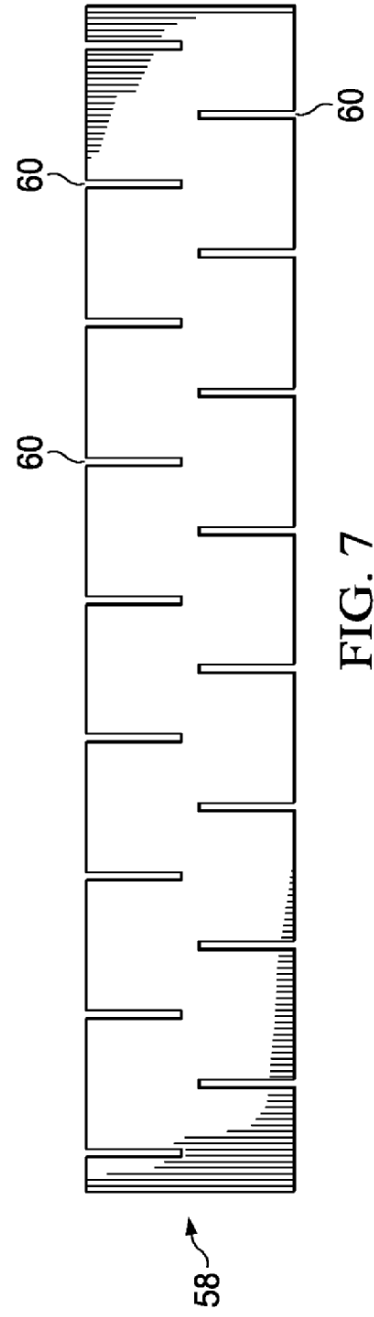
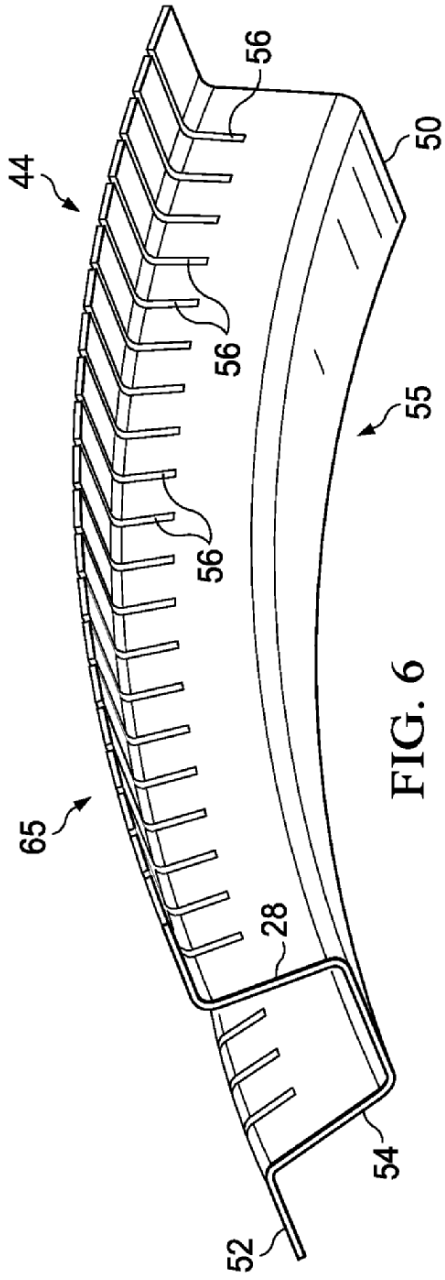


FIG. 5



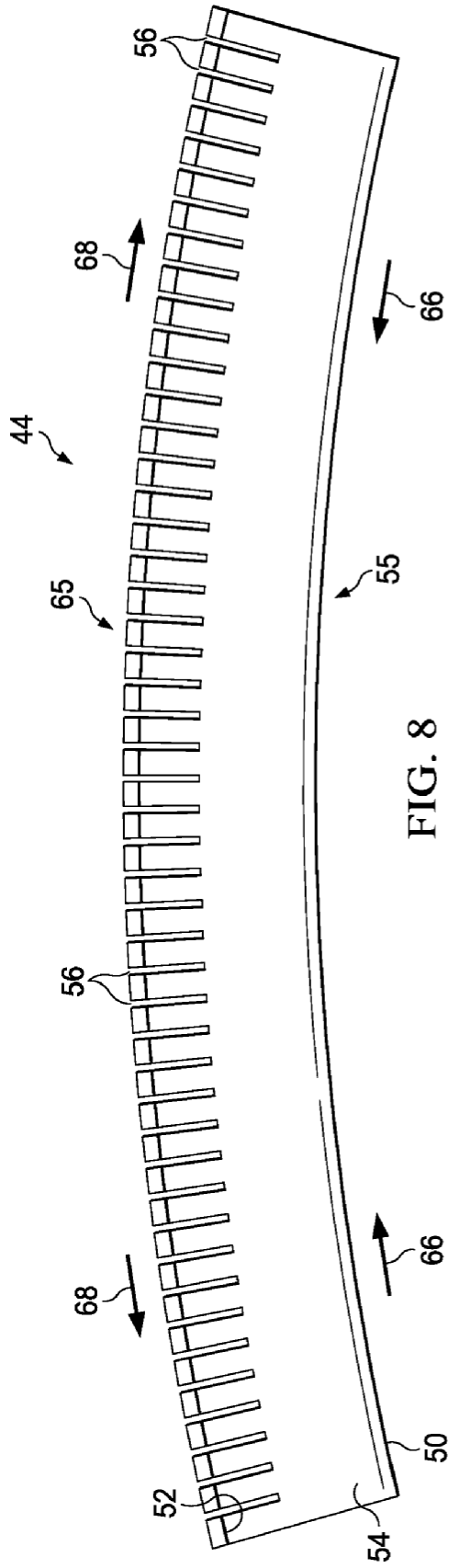


FIG. 8

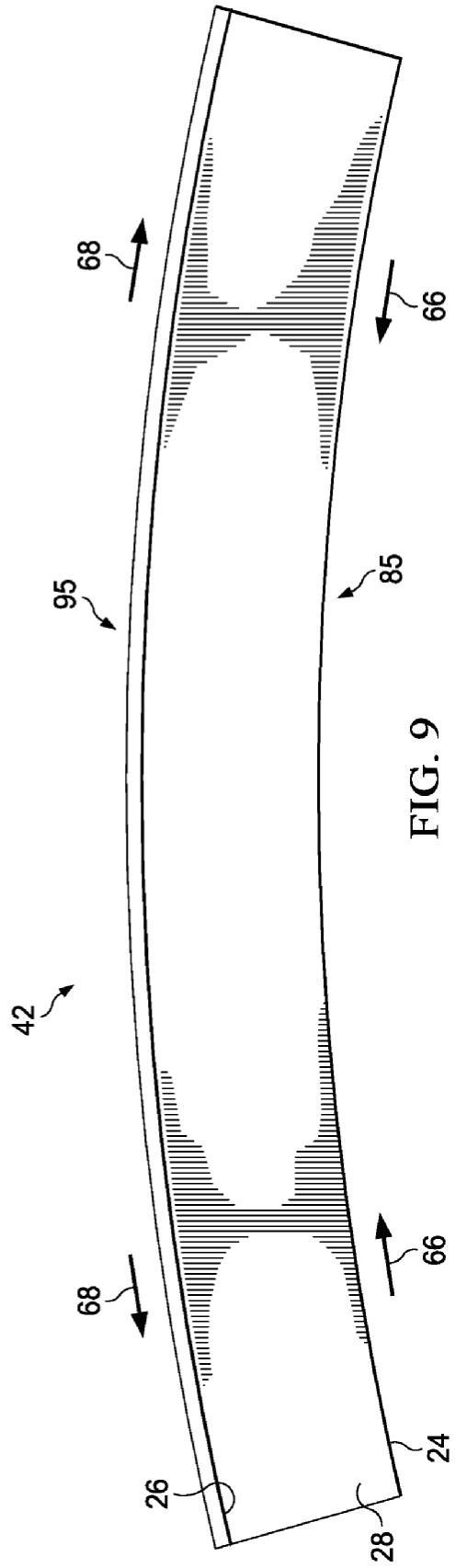


FIG. 9

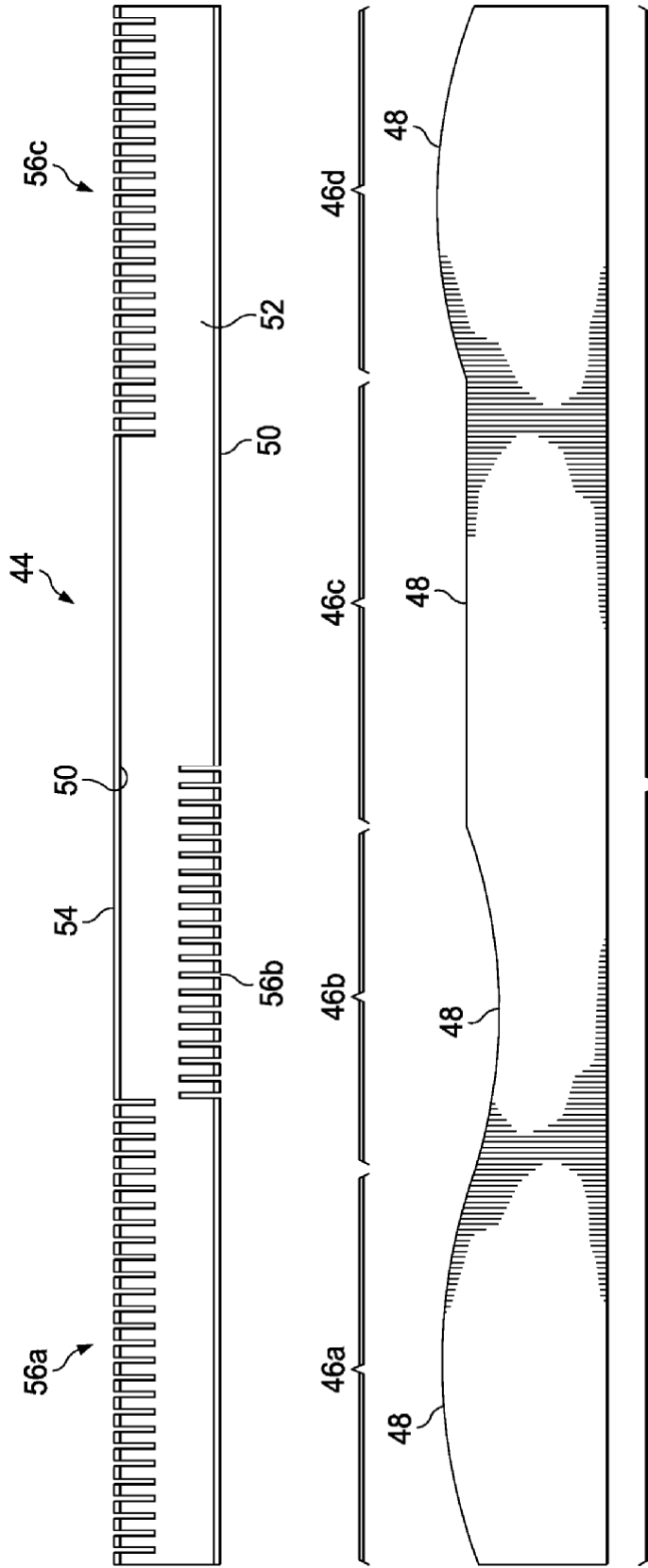


FIG. 10

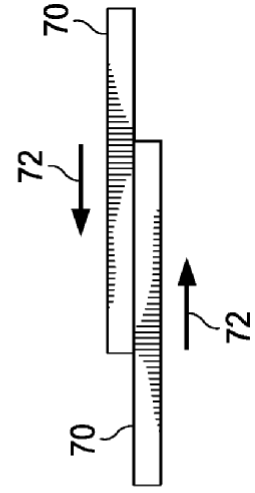


FIG. 11

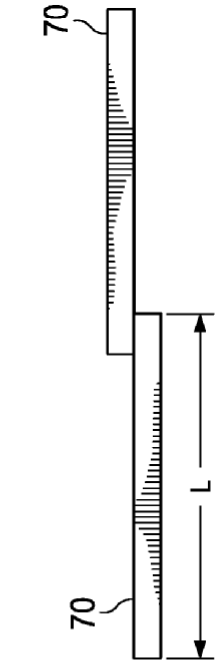


FIG. 12

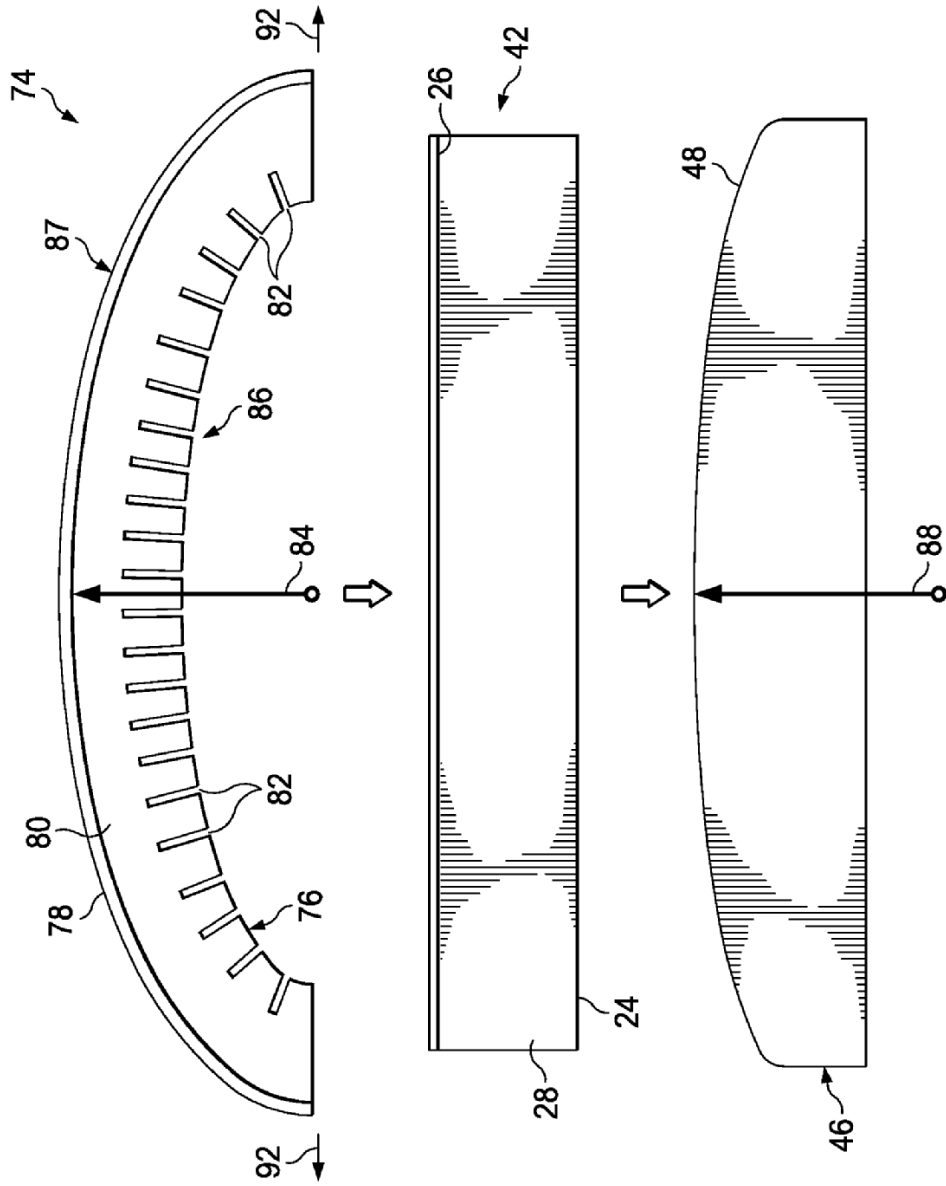


FIG. 13



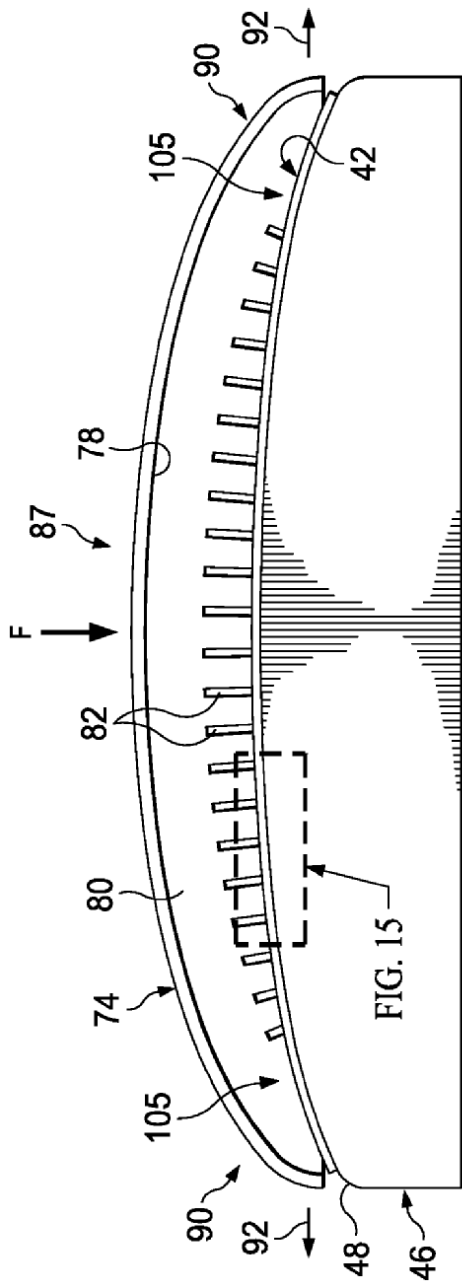


FIG. 14

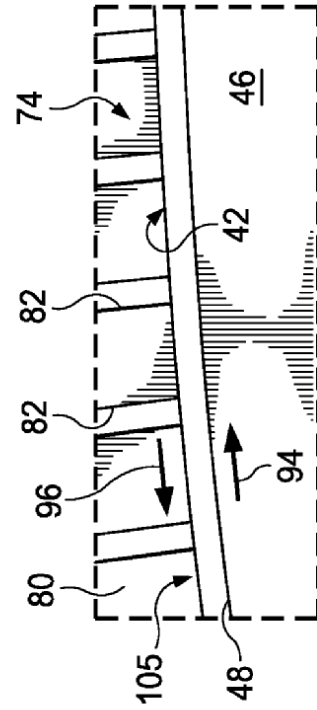


FIG. 15

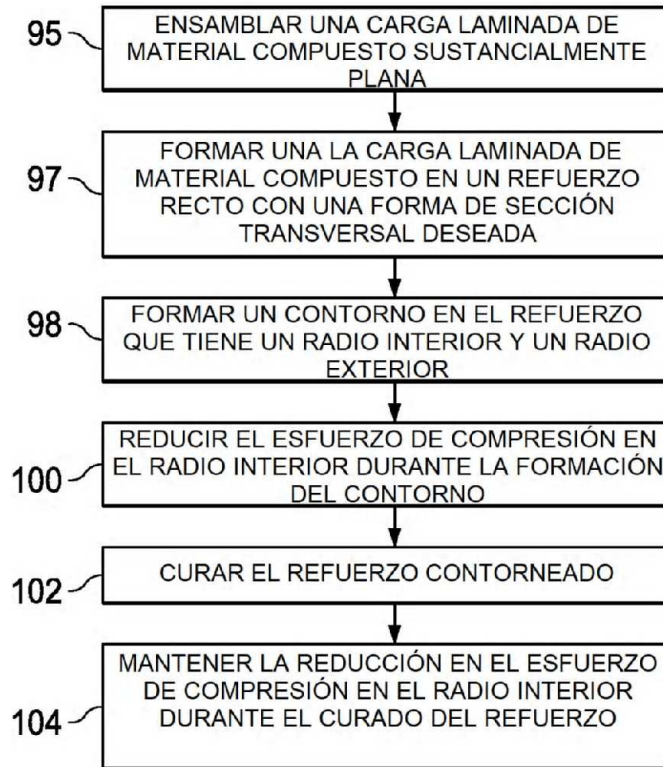


FIG. 16

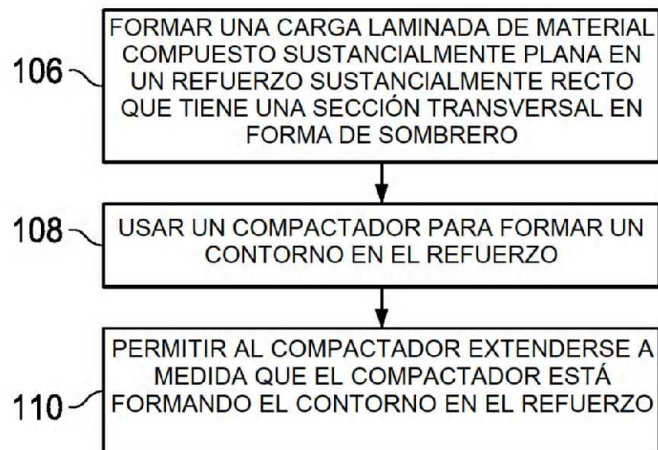


FIG. 17

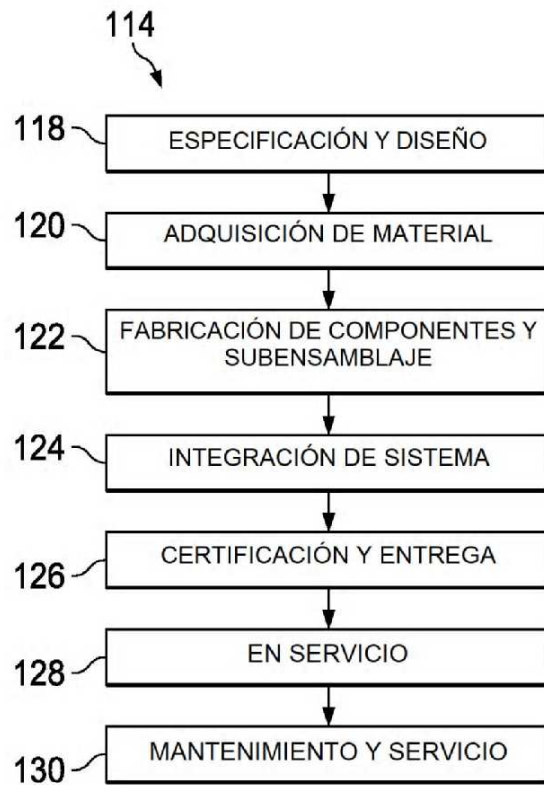


FIG. 18

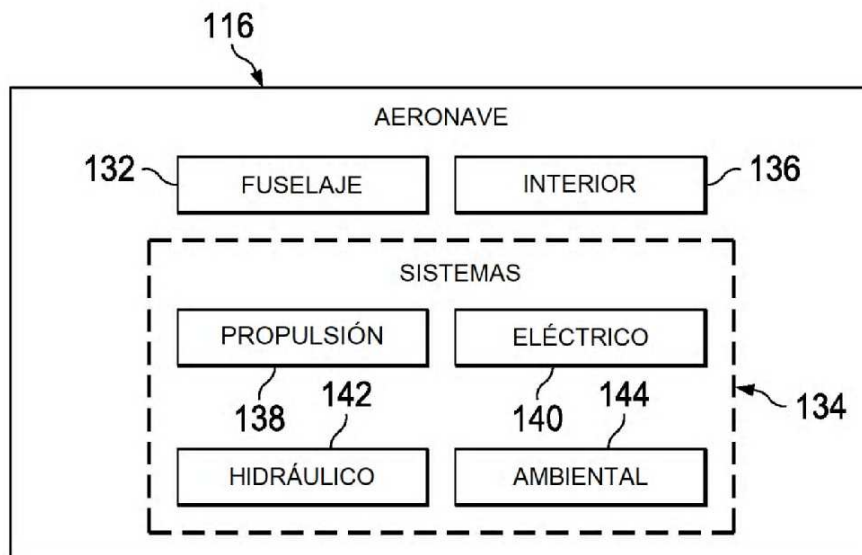


FIG. 19