

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 830 259**

51 Int. Cl.:

B29C 33/04 (2006.01)

B29C 53/82 (2006.01)

B29C 70/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2016** **E 16171182 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2020** **EP 3112114**

54 Título: **Método y aparato para reducir la fuerza de extracción tras el curado de un mandril de herramienta**

30 Prioridad:

22.06.2015 US 201514746023

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

03.06.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HOFFMAN, PETER L. y
MCCOWIN, PETER D.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 830 259 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 aparato para reducir la fuerza de extracción tras el curado de un mandril de herramienta

Campo

5 La presente divulgación se refiere, en general, a la fabricación de estructuras compuestas y, más particularmente, a métodos y aparatos para reducir una fuerza de extracción requerida para retirar un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta tras un ciclo de curado de una estructura laminada compuesta.

Antecedentes

10 La fabricación de una estructura compuesta puede implicar la aplicación de calor y presión de compactación a una estructura laminada compuesta durante un ciclo de curado. Algunas estructuras laminadas compuestas pueden incluir una cavidad que debe soportarse durante la aplicación de presión de compactación. Con este fin, puede proporcionarse un mandril de herramienta dentro de la cavidad de estructura laminada compuesta. Por ejemplo, puede disponerse una pluralidad de capas compuestas alrededor del mandril de herramienta para formar la estructura laminada compuesta que puede estar sujeta entonces al ciclo de curado con el mandril de herramienta dentro de la estructura laminada compuesta. Después de que se cure la estructura laminada compuesta, el mandril de herramienta puede retirarse aplicando una fuerza de tensión de extracción sobre el extremo de mandril para sacar el mandril de herramienta de la cavidad de estructura laminada compuesta.

20 En algunos casos, la retirada de un mandril de herramienta de una estructura laminada compuesta puede resistirse por la fricción de gran adhesión que puede existir en la interfaz entre el mandril de herramienta y la cavidad de estructura laminada compuesta. Tal fricción de gran adhesión puede desarrollarse durante el curado como resultado de depósitos de resina entre la superficie exterior del mandril de herramienta y la superficie interior de la cavidad de estructura laminada compuesta. Puede no ser deseable aplicar una gran fuerza de extracción sobre el mandril de herramienta para superar la fricción de gran adhesión o bien para la estructura compuesta curada o bien para el mandril de herramienta.

25 Tal como puede observarse, existe una necesidad en la técnica de un aparato y un método para reducir la magnitud de la fuerza de extracción requerida para retirar un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta tras el curado de la estructura laminada compuesta.

El documento EP2772345 describe un mandril extensible sintonizable por presión para fabricar una estructura compuesta.

Sumario

30 Las necesidades anteriormente observadas asociadas con la retirada de un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta se abordan y se simplifican específicamente por la presente divulgación que proporciona un mandril de herramienta que tiene un cuerpo de mandril para una cavidad de estructura laminada compuesta. El cuerpo de mandril puede incluir una red de paso de fluido para pasar un medio fluido a través del cuerpo de mandril. La red de paso de fluido puede tener una zona de paso en sección transversal conformada para fomentar la conductividad térmica entre el medio fluido y el mandril de herramienta y provocar un cambio en una forma de mandril en sección transversal para facilitar la retirada del mandril de herramienta de la cavidad de estructura laminada compuesta.

35 En una realización adicional, se da a conocer un mandril de herramienta que incluye un cuerpo de mandril que tiene una red de paso de fluido formada en el cuerpo de mandril. El mandril de herramienta puede incluir una interfaz de fluido acoplada de manera operativa al cuerpo de mandril para suministrar un medio fluido desde una fuente de fluido hasta la red de paso de fluido. La red de paso de fluido puede tener una zona de paso en sección transversal conformada para fomentar la transferencia de calor entre el medio fluido y el mandril de herramienta y provocando un cambio en una forma de mandril en sección transversal para facilitar la retirada del mandril de herramienta de la cavidad.

40 Además, se da a conocer un método de método de extracción de un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta. El método puede incluir el procesamiento de una estructura laminada compuesta que tiene un mandril de herramienta situado en una cavidad de estructura laminada compuesta. El mandril de herramienta puede tener una red de paso de fluido. El método puede incluir, además, controlar la contracción térmica del mandril de herramienta. Además, el método puede incluir romper la fricción de gran adhesión entre el mandril de herramienta y la cavidad de estructura laminada compuesta en respuesta al control de la contracción térmica del mandril de herramienta.

Las características, funciones y ventajas que se han comentado pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en aún otras realizaciones, detalles adicionales de las cuales pueden observarse con referencia a la siguiente descripción y los dibujos a continuación.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características de la presente divulgación resultarán más evidentes tras hacer referencia a los dibujos en los que números similares se refieren a partes similares en la totalidad del documento y en los que:

- la figura 1 es una ilustración de un diagrama de bloques funcional de un sistema para reducir la fuerza de extracción requerida para retirar un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta de una estructura compuesta;
- 5 la figura 2 es una ilustración de vista en perspectiva de un panel de revestimiento compuesto rigidizado que incluye una o más estructuras compuestas que pueden fabricarse usando uno o más ejemplos de un mandril de herramienta y un método dado a conocer en el presente documento;
- la figura 3 es una ilustración de vista desde un extremo de una parte de un panel de revestimiento compuesto rigidizado tomada a lo largo de la línea 3 de la figura 2 y que ilustra un montante de refuerzo compuesto de sección triangular acoplado a un revestimiento compuesto;
- 10 la figura 4 es una ilustración de vista desde un extremo de un montante de refuerzo compuesto tomada a lo largo de la línea 4 de la figura 3 y que ilustra el montante de refuerzo compuesto de sección triangular;
- la figura 5 es una ilustración en despiece ordenado del montante de refuerzo compuesto de la figura 4 compuesto de una estructura laminada primaria en forma de V, una estructura laminada de envoltura con forma triangular y una estructura laminada de base plana ensamblada con un par de productos de relleno de radio;
- 15 la figura 6 es una ilustración de vista desde un extremo de un ejemplo de un mandril de herramienta de la presente divulgación situado dentro de una cavidad de estructura laminada compuesta del montante de refuerzo compuesto de la figura 5 instalado en una herramienta de curado y embolsado al vacío antes del curado;
- la figura 7 es una ilustración de vista desde un extremo del montante de refuerzo compuesto de la figura 6 después del curado y antes de la extracción de mandril y que ilustra un hueco de vértice entre cada vértice del mandril y el radio interior correspondiente de la cavidad de estructura laminada compuesta;
- 20 la figura 8 es una ilustración de vista en perspectiva de un ejemplo de un mandril de herramienta que tiene una interfaz de fluido en un primer extremo de mandril y un ajuste de retorno en un segundo extremo de mandril;
- la figura 9 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 9 de la figura 8 y que ilustra el ajuste de retorno en el segundo extremo de mandril acoplado de manera fluida dos o más pasos de flujo primarios de manera que el medio fluido en al menos uno de los pasos de flujo primarios fluye opuesto al medio fluido en otro de los pasos de flujo primarios;
- 25 la figura 10 es una ilustración esquemática del mandril de herramienta de las figuras 8 y 9 que muestra el flujo del medio fluido en una salida de la interfaz de fluido en el primer extremo de mandril;
- la figura 11 es una ilustración de vista en perspectiva de un ejemplo de un mandril de herramienta que tiene una interfaz de fluido en cada uno de un primer extremo de mandril y un segundo extremo de mandril;
- 30 la figura 12 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 12 de la figura 11 y que ilustra la interfaz de fluido montada al primer extremo de mandril y una interfaz de fluido montada al segundo extremo de mandril;
- la figura 13 es una ilustración esquemática del mandril de herramienta de las figuras 11 y 12 que muestra el flujo del medio fluido en el primer extremo de mandril y fuera del segundo extremo de mandril;
- 35 la figura 14 es una ilustración de un ejemplo de un mandril de herramienta que tiene un paso de flujo primario situado próximo a un vértice del mandril de herramienta y que tiene un paso de flujo secundario con una configuración tortuosa;
- la figura 15 es una ilustración de un ejemplo de un mandril de herramienta que tiene un paso de flujo secundario con una parte con forma de bulbo;
- la figura 16 es una ilustración de un ejemplo de un mandril de herramienta que tiene un paso de flujo secundario que incluye una serie de muescas paralelas orientadas transversales al paso de flujo secundario;
- 40 la figura 17 es una ilustración de un ejemplo de un mandril de herramienta dentro de una cavidad de estructura laminada compuesta de un montante de refuerzo compuesto antes del curado y que ilustra un paso de flujo primario situado próximo a una parte central del mandril de herramienta y que incluye pasos de flujo secundarios que se extienden hacia cada uno de los vértices del mandril de herramienta;
- 45 la figura 18 es una ilustración del mandril de herramienta y el montante de refuerzo compuesto de la figura 17 después del curado y antes de la extracción de mandril y que ilustra un hueco de vértice entre cada vértice del mandril y el radio interior correspondiente de la cavidad de estructura laminada compuesta;
- la figura 19 es una ilustración del mandril de herramienta antes del curado y que tiene un canal de flujo de fluido que acopla un par de pasos de flujo primarios;
- 50 la figura 20 es una ilustración ampliada de una parte del mandril de herramienta tomada a lo largo de la línea 20 de la figura 19 y que ilustra una pluralidad de canales terciarios que se extiende lateralmente desde el canal de flujo de fluido;

la figura 21 es una ilustración del mandril de herramienta y el montante de refuerzo compuesto de la figura 19 después del curado y antes de la extracción de mandril y que ilustra el hueco de vértice en cada uno de los vértices y un hueco sin vértice en una parte sin vértice del mandril de herramienta;

5 la figura 22 es una ilustración ampliada de una parte del mandril de herramienta tomada a lo largo de la línea 22 de la figura 21 y que ilustra el hueco de vértice entre el vértice del mandril de herramienta y el radio interior de la cavidad de estructura laminada compuesta;

la figura 23 es una ilustración de un ejemplo de un mandril de herramienta dentro de un montante de refuerzo compuesto de sección en U profunda antes del curado;

10 la figura 24 es una ilustración del mandril de herramienta de la figura 23 después del curado y antes de la extracción de mandril y que ilustra un hueco de vértice entre cada vértice y el radio interior correspondiente de la cavidad de estructura laminada compuesta;

la figura 25 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método de extracción de un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta;

15 la figura 26 es una ilustración de una aeronave que incluye una o más estructuras compuestas que pueden fabricarse usando uno o más ejemplos del mandril de herramienta y/o método dado a conocer en el presente documento;

la figura 27 es una ilustración de un diagrama de flujo de una metodología de producción y servicio de aeronave; y

la figura 28 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada

20 Haciendo referencia ahora a los dibujos en los que las proyecciones tienen el objetivo de ilustrar diversas realizaciones de la presente divulgación, se muestra en la figura 1 una ilustración de un diagrama de bloques funcional de un sistema para reducir la fuerza de extracción para retirar un mandril de herramienta 300 de una cavidad de estructura laminada compuesta 130 de una estructura compuesta 100. En algunos ejemplos, la estructura compuesta 100 puede configurarse como una estructura laminada compuesta 118 formada a partir de una pluralidad de capas compuestas 120 (figura 3) tal como se describe a continuación. Sin embargo, en otros ejemplos, la estructura compuesta 100 puede configurarse como una estructura compuesta no laminada (no mostrada) tal como puede formarse usando una preforma de fibra de una sola capa (no mostrada) envuelta alrededor de un mandril de herramienta 300 y que puede preimpregnarse con material de matriz (no mostrado) o proporcionarse como material textil seco (no mostrado) para la infusión con material de matriz (no mostrado) antes del curado.

30 La figura 1 ilustra una estructura laminada compuesta 118 situada dentro de un autoclave 204. La estructura laminada compuesta 118 puede incluir una cavidad de estructura laminada compuesta 130. Un mandril de herramienta 300 puede situarse dentro de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. El mandril de herramienta 300 puede incluir un cuerpo de mandril 302. Una red de paso de fluido 326 puede formarse dentro del cuerpo de mandril 302 para pasar un medio fluido 400 a través del cuerpo de mandril 302. La red de paso de fluido 326 puede incluir uno o más pasos de flujo primarios 330. La red de paso de fluido 326 puede incluir, además, uno o más pasos de flujo secundarios 332. En algunos ejemplos, un paso de flujo primario 330 y/o un paso de flujo secundario 332 puede situarse próximo a un vértice 310 del mandril de herramienta 300.

40 Haciendo referencia todavía a la figura 1, puede proporcionarse un medio fluido 400 a la red de paso de fluido 326. El medio fluido 400 puede contenerse dentro de una fuente de fluido 452 que puede acoplarse de manera fluida a una interfaz de fluido 410 por un conducto de fluido 454. La interfaz de fluido para 10 puede montarse al mandril de herramienta 300. El flujo del medio fluido 400 en la red de paso de fluido 326 puede controlarse por un controlador de fluido 450. El medio fluido 400 puede ser un gas 404, un líquido 402, un material de cambio de fase 406 o cualquier otro tipo de medio fluido 400 que puede facilitar la transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400.

45 En la figura 1, la estructura laminada compuesta 118 que contiene el mandril de herramienta 300 puede situarse contra una herramienta de curado 200 para curar la estructura laminada compuesta 118. En algunos ejemplos, la estructura laminada compuesta 118 puede curarse dentro de un autoclave 204. Una bolsa de vacío 210 puede sellar la estructura laminada compuesta 118 a la herramienta de curado 200 usando el sellador de bordes 214. Una fuente de vacío 216 puede acoplarse de manera fluida a la bolsa de vacío 210 usando un conducto de vacío 218 para aplicar un vacío (no mostrado) a la bolsa de vacío 210 para facilitar la aplicación de presión de autoclave 208 a la estructura laminada compuesta 118. También puede aplicarse calor 206 para facilitar el curado de la estructura laminada compuesta 118 a una temperatura elevada.

50 Tras el curado de la estructura laminada compuesta 118, puede introducirse un medio fluido 400 en la red de paso de fluido 326 del mandril de herramienta 300 tal como mediante una interfaz de fluido 410. La red de paso de fluido 326 puede tener una zona de paso en sección transversal 328 con un tamaño y una forma para facilitar la conductividad térmica (por ejemplo, la transferencia de calor) entre el medio fluido 400 y el mandril de herramienta 300. La transferencia de calor entre el medio fluido 400 y el mandril de herramienta 300 puede provocar un cambio en una forma de mandril en

sección transversal 306 debido a la contracción térmica o la expansión térmica del mandril de herramienta 300. Por ejemplo, después del curado de la estructura laminada compuesta 118, puede introducirse un medio fluido 400 en la red de paso de fluido 326 a una temperatura que es inferior a la temperatura del mandril de herramienta 300. La transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 puede provocar la contracción térmica de la forma de mandril en sección transversal 306 que puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 desde la cavidad de estructura laminada compuesta 130, tal como se describe en mayor detalle a continuación.

En otros ejemplos, puede introducirse un medio fluido 400 (figura 1) en la red de paso de fluido 326 (figura 1) a una temperatura que es mayor que la temperatura del mandril de herramienta 300 (figura 1). Por ejemplo, antes de o durante el curado, puede introducirse un medio fluido 400 en el mandril de herramienta 300 para calentar el interior del mandril de herramienta 300 para provocar la expansión térmica de la forma de mandril en sección transversal 306 (figura 1). La expansión térmica de la forma de mandril en sección transversal 306 puede facilitar o fomentar la aplicación de presión de compactación (no mostrada) a la estructura laminada compuesta y que puede facilitar o aumentar la aplicación de presión de autoclave 208 (figura 1) a la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) durante el curado.

En otro ejemplo no mostrado, el medio fluido 400 (figura 1) puede ser un material de cambio de fase 406 (figura 1) configurado para cambiar de un estado líquido (no mostrado) a un estado sólido o semisólido (no mostrado) tras el calentamiento del material de cambio de fase 406 debido a un calentamiento exterior de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) hasta una temperatura de curado (no mostrada) tal como en un horno (no mostrado) o un autoclave 204 (figura 1). Con respecto a esto, puede introducirse el material de cambio de fase 406 en la red de paso de fluido 326 (figura 1) de un mandril de herramienta 300 (figura 1) antes de o durante un ciclo de curado. Un aumento en la temperatura del material de cambio de fase 406 debido al calentamiento exterior en un autoclave 204 puede dar como resultado que el material de cambio de fase 406 pase de un estado líquido a un estado sólido o semisólido con una expansión térmica correspondiente del material de cambio de fase 406 dentro de la red de paso de fluido 326. La expansión térmica del material de cambio de fase 406 dentro de la red de paso de fluido 326 puede provocar que las superficies exteriores del mandril de herramienta 300 aumenten la presión de compactación (no mostrada) que puede aplicarse al exterior de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) durante el curado tal como mediante la presión de autoclave (figura 1) sobre la estructura laminada compuesta 118.

Tras el curado, puede interrumpirse el calentamiento exterior (no mostrado) de la estructura laminada compuesta 118 provocando una reducción en la temperatura de la estructura laminada compuesta 118 y el material de cambio de fase 406. El material de cambio de fase 406 puede pasar de un estado sólido o semisólido (no mostrado) a un estado líquido (no mostrado) con la contracción térmica correspondiente del material de cambio de fase 406. La contracción térmica del mandril de herramienta 300 y el material de cambio de fase 406 contenido dentro del mandril de herramienta 300 puede facilitar o permitir la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1).

La figura 2 es una ilustración de vista en perspectiva de un panel de revestimiento compuesto rigidizado 102 que tiene una o más estructuras compuestas 100 que pueden fabricarse usando el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) dado a conocer en el presente documento. El panel de revestimiento compuesto rigidizado 102 puede incluir un revestimiento compuesto 104 y una pluralidad de montantes de refuerzo compuestos 106 que pueden acoplarse al revestimiento compuesto 104. Los montantes de refuerzo compuestos 106 pueden extenderse a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) del revestimiento compuesto 104. En el ejemplo mostrado, cada uno de los montantes de refuerzo compuestos 106 se forma como una estructura laminada compuesta 118 de sección triangular 108 que tiene una cavidad de estructura laminada compuesta con forma triangular 130. Sin embargo, debe observarse que el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) dados a conocer en el presente documento pueden implementarse para fabricar estructuras compuestas 100 de cualquier tamaño, forma y configuración en sección transversal, que tiene una cavidad que requiere soporte durante la compactación y el curado de la estructura compuesta 100.

La figura 3 es una ilustración de vista desde un extremo de una parte del panel de revestimiento compuesto rigidizado 102 de la figura 2 que muestra un montante de refuerzo compuesto 106 acoplado al revestimiento compuesto 104. El montante de refuerzo compuesto 106 puede unirse o curarse conjuntamente con el revestimiento compuesto 104. En el ejemplo mostrado, el revestimiento compuesto 104 puede formarse como una estructura laminada de capas compuestas 120. Asimismo, el montante de refuerzo compuesto 106 puede formarse como una estructura laminada de capas compuestas 120.

La figura 4 es una ilustración de vista desde un extremo del montante de refuerzo compuesto 106 de la figura 3 retirado del revestimiento compuesto 104 (figura 3) y que muestra el montante de refuerzo compuesto 106 formado como una estructura laminada compuesta 118 de sección triangular 108. En el ejemplo mostrado, la estructura laminada compuesta 118 puede incluir un par de bandas 110 que se extiende hacia abajo desde un par opuesto de salientes 112 y que define una cavidad de estructura laminada compuesta 130. Las bandas 110 pueden cruzarse entre sí formando un radio interior 132 en la intersección de las bandas 110. También puede formarse un radio interior 132 en la intersección de cada banda 110 y saliente 112. La cavidad de estructura laminada compuesta 130 puede incluir superficies planas 134 que se extienden entre los radios interiores 132.

En la presente divulgación, puede formarse una cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) en una cualquiera de una variedad de tamaños, formas y configuraciones diferentes, dependiendo de la geometría del mandril de herramienta 300 (figura 1). Con respecto a esto, una cavidad de estructura laminada compuesta 130 puede contener cualquier número de esquinas interiores (no mostradas) o radios interiores 132 (figura 4) y cualquier número de superficies planas 134 (figura 4) o partes no planas (no mostradas). Por ejemplo, la estructura laminada compuesta 118 de sección triangular 108 de la figura 4 tiene una cavidad de estructura laminada compuesta 130 que contiene tres (3) vértices 310 que forman tres (3) ángulos agudos en relación con las superficies planas 134. En un ejemplo adicional, una estructura laminada compuesta 118 de sección en U profunda 114 (figura 23) puede tener una forma en sección transversal trapezoidal que tiene cuatro (4) vértices 310 (figura 23) que forman dos (2) ángulos agudos y dos (2) ángulos obtusos en relación con las superficies planas 134 (figura 23) tal como se muestra en las figuras 23 a 24 y se describe a continuación. Los ángulos agudos pueden presentar desafíos a la hora de retirar el mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 tras el curado de la estructura laminada compuesta 118 debido a la fricción de gran adhesión que puede existir entre los vértices 310 del mandril de herramienta 300 y los radios interiores 132 (figura 4) en los ángulos agudos. Ventajosamente, el mandril de herramienta 300 dado a conocer en el presente documento proporciona un medio para la contracción térmica del mandril de herramienta 300 tal como en los vértices 310 para reducir o eliminar la fricción de gran adhesión (no mostrada) en los ángulos agudos y facilitar de ese modo la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 con una fuerza de extracción reducida (no mostrada).

La figura 5 es una ilustración en despiece ordenado de la estructura laminada compuesta 118 de sección triangular 108 de la figura 4 compuesta de una estructura laminada primaria en forma de V 122, una estructura laminada de envoltura con forma triangular 124 y una estructura laminada de base plana 126 ensamblada con productos de relleno de radio 128 (por ejemplo, tallarines). El mandril de herramienta 300 (omitido por motivos de claridad - véase la figura 6) puede implementarse para disponer la estructura laminada de envoltura 124. Por ejemplo, una pluralidad de capas compuestas 120 formada de material de matriz polimérica termoplástica o termoendurecible reforzada con fibra preimpregnada sin curar (por ejemplo, material preimpregnado - no mostrado) puede disponerse sobre el mandril de herramienta 300 para formar la estructura laminada de envoltura 124. Asimismo, pueden disponerse capas compuestas 120 sobre una cavidad de herramienta de curado 202 (véase la figura 6) para formar la estructura laminada primaria 122. Puede disponerse un apilamiento de capas compuestas 120 sobre una herramienta plana (no mostrada) para formar la estructura laminada de base 126. Los productos de relleno de radio 128 pueden formarse de capas compuestas 120, mechas o estopas de fibra unidireccionales en haz (no mostradas) u otro material. La estructura laminada compuesta 118 (por ejemplo, la estructura laminada primaria 122, la estructura laminada de envoltura 124 y/o la estructura laminada de base 126) también puede formarse de material de fibra seco (no mostrado) que puede infundirse posteriormente con resina (no mostrada) antes del curado.

La figura 6 es una ilustración de vista desde un extremo de un ejemplo de la estructura laminada compuesta ensamblada 118 de la figura 5 antes del curado. En el ejemplo mostrado, la estructura laminada compuesta 118 se instala en una cavidad de herramienta de curado 202 de una herramienta de curado 200. Sin embargo, en otras realizaciones no mostradas, la estructura laminada compuesta 118 puede instalarse sobre una herramienta de curado 200 a la que le falta una cavidad de herramienta de curado 202. Con respecto a esto, el mandril de herramienta 300 dado a conocer en el presente documento puede incluirse en una cavidad de estructura laminada compuesta 130 de una estructura laminada compuesta 118 para curarse sobre una herramienta de curado plana (no mostrada) o una herramienta de curado curva (no mostrada). Tal como se mencionó anteriormente, la estructura laminada compuesta 118 incluye un mandril de herramienta 300 que, en algunos ejemplos, puede implementarse para disponer la estructura laminada de envoltura 124 (figura 5) antes del ensamblado con la estructura laminada de base 126 (figura 5), la estructura laminada primaria 122 (figura 5) y productos de relleno de radio 128 (figura 5). En un ejemplo, el mandril de herramienta 300 puede configurarse como un mandril de herramienta de una pieza 300 que se extiende a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) del montante de refuerzo compuesto 106. Sin embargo, en una realización no mostrada, el mandril de herramienta 300 puede proporcionarse en una disposición de múltiples piezas (no mostrada) que tiene secciones longitudinales (no mostradas) unidas por los extremos para formar una red de paso de fluido continua 326 (figura 6) a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) del mandril de herramienta (figura 6).

Haciendo referencia todavía a la figura 6, el mandril de herramienta con forma de triángulo 300 puede incluir tres (3) vértices 310 que se corresponden con los tres (3) radios interiores 132 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Cada radio interior 132 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 puede tener un tamaño y una forma complementarias al tamaño y la forma de los vértices 310 del mandril de herramienta 300. Con respecto a esto, el tamaño y la forma en sección transversal de la cavidad de estructura laminada compuesta puede coincidir con la forma de mandril en sección transversal 306 como resultado de la disposición de la estructura laminada de envoltura 124 (figura 5) sobre el mandril de herramienta 300. Con respecto a esto, antes del curado y/o antes de proporcionar el medio fluido 400 a la red de paso de fluido 326 en el cuerpo de mandril 302, las superficies exteriores (no mostradas) del mandril de herramienta 300 pueden entrar en contacto estrecho con las superficies interiores (no mostradas) de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Tal como se indicó anteriormente, el cuerpo de mandril 302 incluye la red de paso de fluido 326 que puede extenderse a lo largo de la dirección longitudinal 116 (figura 2) del cuerpo de mandril 302. La red de paso de fluido 326 puede incluir uno o más pasos de flujo primarios 330, uno o más de los cuales puede incluir pasos de flujo secundarios 332, tal como se describe en mayor detalle a continuación.

El mandril de herramienta 300 puede formarse por una cualquiera de una variedad de procedimientos de fabricación diferentes. Por ejemplo, la forma de mandril en sección transversal 306 (figura 1) y la red de paso de fluido 326 (figura 6) dentro del mandril de herramienta 300 pueden formarse por un procedimiento de extrusión (no mostrado). Un procedimiento de extrusión de este tipo puede formar los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332 a lo largo de la dirección longitudinal 116 (figura 2) del mandril de herramienta 300. En algunos ejemplos, el cuerpo de mandril 302 puede tener una forma de mandril en sección transversal generalmente constante 306 (figura 1) a lo largo de la dirección longitudinal 116 (figura 2). Sin embargo, en otros ejemplos, el cuerpo de mandril 302 puede tener una forma en sección transversal no constante (no mostrada).

En la figura 6, el mandril de herramienta 300 puede incluir un paso de flujo primario 330 situado próximo a cada vértice 310. Aunque se muestra que los pasos de flujo primarios 330 tienen una forma en sección transversal circular, los pasos de flujo primarios 330 pueden proporcionarse en formas en sección transversal alternativas (por ejemplo, rectangular, triangular, cuadrada, elíptica, etc.). Además, aunque se muestra que cada uno de los pasos de flujo primarios 330 tiene un tamaño similar, uno o más de los pasos de flujo primarios 330 puede proporcionarse en un tamaño, forma y/o configuración diferente a la de los otros pasos de flujo primarios 330. Uno o más de los pasos de flujo primarios 330 puede incluir un paso de flujo secundario 332 que puede estar en comunicación fluida con el paso de flujo primario 330. En el ejemplo mostrado, cada paso de flujo secundario 332 puede extenderse desde un paso de flujo primario 330 hacia un vértice 310 del mandril de herramienta 300. El paso de flujo secundario 332 puede aumentar la zona de paso en sección transversal 328 del paso de flujo primario 330 lo que puede dar como resultado un aumento en la conductividad térmica (por ejemplo, transferencia de calor) entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 contenido dentro de o fluyendo a lo largo del paso de flujo primario 330 y/o el paso de flujo secundario 332. Con respecto a esto, los pasos de flujo secundarios 332 pueden aumentar la zona de superficie expuesta al medio fluido 400 (figura 1) facilitando una transferencia de calor más rápida desde el mandril de herramienta 300 (figura 1) hasta el medio fluido 400 similar a la zona de superficie aumentada proporcionada por aletas (no mostradas), bobinas (no mostradas) o la zona de superficie extendida (no mostrada) sobre unidades de refrigeración (no mostradas).

En la figura 6, se muestra que los pasos de flujo secundarios 332 tienen una forma de canal 334 que se extiende en una línea recta desde el paso de flujo primario 330 hacia el vértice 310. Uno o más de los pasos de flujo secundarios 332 pueden incluir opcionalmente una geometría adicional para facilitar la transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 en el paso de flujo secundario 332. Por ejemplo, los pasos de flujo secundarios 332 en la figura 6 pueden incluir una parte con forma de diamante 338 para aumentar localmente la zona de paso en sección transversal 328 del paso de flujo secundario 332. Tal como puede apreciarse, el paso de flujo secundario 332 puede proporcionarse en una cualquiera de una variedad de formas en sección transversal alternativas, ejemplos no limitativos de los que se ilustran en las figuras 14 a 18 y se describen a continuación. Además, un paso de flujo primario 330 puede incluir dos o más (no mostrados) pasos de flujo secundarios 332 que se extienden hacia afuera desde el paso de flujo primario 330.

En algunas realizaciones, los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332 pueden facilitar la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 de tal manera que provocan la contracción térmica de la forma de mandril en sección transversal 306 en relación con la cavidad de estructura laminada compuesta 130, tal como se mencionó anteriormente. Por ejemplo, puede introducirse un medio fluido 400 a una temperatura más baja que el mandril de herramienta 300 en la red de paso de fluido 326 después del curado de la estructura laminada compuesta 118. La transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 en el paso de flujo primario 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332 de la red de paso de fluido 326 pueden provocar la contracción térmica de la forma de mandril en sección transversal 306 que puede reducir o eliminar la fricción de gran adhesión (no mostrada) entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130, tal como en la ubicación de los vértices 310 que forman ángulos agudos tal como se mencionó anteriormente. La reducción o la eliminación de la fricción de gran adhesión (no mostrada) puede facilitar la retirada del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 con una fuerza de extracción reducida (no mostrada). Sin embargo, en otras realizaciones, puede introducirse un medio fluido 400 a una temperatura más alta que el mandril de herramienta 300 en la red de paso de fluido 326 tal como antes de o durante el curado de la estructura laminada compuesta 118. La transferencia de calor desde el medio fluido 400 hasta el mandril de herramienta 300 puede provocar la expansión térmica de la forma de mandril en sección transversal 306 tal como para facilitar la aplicación de presión de compactación (no mostrada) sobre las capas compuestas 120 de la estructura laminada compuesta 118 que rodea el mandril de herramienta 300.

Haciendo referencia todavía a la figura 6, el cuerpo de mandril 302 puede formarse de un material elastomérico 304 (figura 1) tal como silicona, caucho u otro material. Durante la compactación y/o el curado de la estructura laminada compuesta 118, el material elastomérico 304 del cuerpo de mandril 302 puede permitir que el cuerpo de mandril 302 ajuste la estructura laminada compuesta 118 a variaciones localizadas (no mostradas) que pueden estar presentes en el contorno (no mostrado) de la herramienta de curado 200. Además, el ajuste del cuerpo de mandril 302 puede facilitar la retirada de huecos (no mostrados) o bolsas de aire que pueden existir en la estructura laminada compuesta 118 y pueden facilitar adicionalmente la retirada de arrugas (no mostradas) de las capas compuestas 120 debido a la expansión térmica del mandril de herramienta 300 que provoca la paralelización de las fibras (no mostrada) en las capas compuestas 120. Sin embargo, el cuerpo de mandril 302 también puede formarse de material no elastomérico (no mostrado) tal como material compuesto (por ejemplo, grafito-epoxi), acero inoxidable, aluminio, Invar™ u otro material.

Haciendo referencia a la figura 6, el cuerpo de mandril 302 puede formarse de cualquier material que pueda facilitar la aplicación de presión de compactación (no mostrada) a la estructura laminada compuesta 118. Además, el cuerpo de mandril 302 puede formarse de un material que proporciona durabilidad para el uso del mandril de herramienta 300 durante múltiples ciclos de apilamiento y curado. En algunos ejemplos, el cuerpo de mandril 302 puede formarse de un material que tiene un coeficiente de expansión térmica (CTE) (no mostrado) que es compatible con el CTE (no mostrado) de la estructura laminada compuesta 118 y/o el CTE (no mostrado) de la herramienta de curado 200 para la temperatura de curado (no mostrada) de la estructura laminada compuesta 118. En todavía otros ejemplos, el cuerpo de mandril 302 puede formarse de un material que proporciona una cantidad predeterminada de crecimiento térmico (no mostrado) cuando se calienta hasta la temperatura de curado de la estructura laminada compuesta 118 para proporcionar presión de compactación adicional (no mostrada) durante el curado de la estructura laminada compuesta 118 y que puede mejorar las características de resistencia y/o rigidez (no mostradas) de la estructura laminada compuesta 118 (por ejemplo, debido a la fracción de volumen de fibras aumentada, el contenido de huecos reducido, etc.).

Haciendo referencia todavía a la figura 6, una bolsa de vacío 210 puede sellar la estructura laminada compuesta 118 a la herramienta de curado 200 usando el sellador de bordes 214 (por ejemplo, cinta obturadora de vacío - no mostrada) en preparación para la compactación y/o el curado de la estructura laminada compuesta 118. Por ejemplo, puede aplicarse el sellador de bordes 214 a la herramienta de curado 200 a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) de la estructura laminada compuesta 118 además de a lo largo de los extremos opuestos (no mostrados) de la estructura laminada compuesta 118 para sellar la estructura laminada compuesta 118 a la herramienta de curado 200. La bolsa de vacío 210 puede incluir una o más capas (no mostradas) de material para facilitar el procesamiento (por ejemplo, la compactación y/o el curado) de la estructura laminada compuesta 118. Por ejemplo, puede incluirse una capa de purga (no mostrada) para absorber la resina en exceso (no mostrada) y/o puede incluirse una capa de respiración 212 para facilitar la evacuación de humedad atrapada (no mostrada) y gases (por ejemplo, aire, sustancias volátiles) y/o permitir la aplicación de una presión de compactación uniforme (no mostrada) durante la compactación y/o el curado de la estructura laminada compuesta 118.

La figura 6 ilustra la estructura laminada compuesta embolsada al vacío 118, el mandril de herramienta 300 y la herramienta de curado 200 situados dentro de un autoclave 204 para aplicar calor 206 (figura 1) y presión de autoclave 208 (figura 1) para curar la estructura laminada compuesta 118. Un conducto de vacío 218 puede acoplar de manera fluida la bolsa de vacío 210 a una fuente de vacío 216 que puede situarse en el interior o en el exterior del autoclave 204. Sin embargo, el mandril de herramienta dado a conocer en el presente documento 300 y el método 500 (figura 25) también pueden implementarse en un procedimiento fuera de autoclave (no mostrado) usando presión atmosférica (no mostrada) que puede generarse aplicando un vacío (no mostrado) a la bolsa de vacío 210. En algunos ejemplos, puede aplicarse calor 206 (figura 1) situando la estructura laminada compuesta embolsada al vacío 118, el mandril de herramienta 300 y la herramienta de curado 200 en un horno (no mostrado).

La figura 7 es una ilustración de vista desde un extremo del montante de refuerzo compuesto 106 de la figura 6 después del curado y antes de la extracción del mandril de herramienta 300. Después del curado, puede introducirse un medio fluido 400 (figura 1) en la red de paso de fluido 326 del mandril de herramienta 300. El fluido puede fluir a través de uno o más de los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332. Tal como se indicó anteriormente, en una realización, el medio fluido 400 puede estar a una temperatura inferior a la temperatura del mandril de herramienta 300 lo que da como resultado la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400. Una reducción en la temperatura del mandril de herramienta 300 puede dar como resultado la contracción térmica de la forma de mandril en sección transversal 306.

Por ejemplo, la figura 7 ilustra un hueco de vértice 312 producido entre cada vértice 310 del mandril de herramienta 300 y el radio interior correspondiente 132 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 como resultado de la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 que fluye a través de los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332. En el ejemplo de la figura 7, la contracción térmica puede situarse en cada uno de los tres (3) vértices 310 del mandril de herramienta 300 debido a la ubicación del paso de flujo primario 330 y el paso de flujo secundario 332 próxima a cada vértice 310. La contracción térmica en otras partes del mandril de herramienta 300 que se espacian más lejos de los pasos de flujo primario y/o secundario 330, 332 puede reducirse en relación con la contracción térmica en los vértices 310. Por ejemplo, en la figura 7, puede producirse un hueco sin vértice relativamente pequeño 316 entre una parte sin vértice 314 del lado del mandril 308 y la superficie plana 134 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. En algunos ejemplos, uno o más de los lados del mandril 308 pueden permanecer en contacto con la cavidad de estructura laminada compuesta 130 mientras otras partes del mandril de herramienta 300 se contraen térmicamente debido a la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400. Por ejemplo, uno o más de los lados del mandril 308 puede permanecer en contacto con la cavidad de estructura laminada compuesta 130 en una tangente 318 del lado del mandril 308 que puede tomar una forma curvada debido a la contracción térmica localizada en los vértices 310 del mandril de herramienta 300.

Haciendo referencia todavía a la figura 7, puede seleccionarse el material de mandril (no mostrado), el tipo y la velocidad de flujo del medio fluido 400 (figura 1) y el tamaño, la forma y la ubicación de los pasos de flujo primarios 330 (figura 1) y los pasos de flujo secundarios 332 (figura 1) para conseguir un cambio deseado en la forma de mandril en sección transversal 306 (figura 1). En un ejemplo, un material de mandril (no mostrado) puede tener un CTE (no mostrado) que puede ser mayor que el CTE (no mostrado) de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) para conseguir una cantidad aumentada de contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1) y una mayor cantidad de separación

entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) en relación con la cantidad de separación que puede conseguirse usando un mandril de herramienta 300 que tiene un CTE que es sustancialmente similar al CTE de la estructura laminada compuesta 118. En otro ejemplo, puede seleccionarse un líquido 402 (figura 1) (por ejemplo, agua) como el medio fluido 400 para proporcionar mayor conductividad térmica que un gas 404 (figura 1) (por ejemplo, aire, nitrógeno) para producir una tasa relativamente más alta de transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 (figura 1) que fluye a través de los pasos de flujo primario y/o secundario 330, 332. La tasa relativamente alta de transferencia de calor proporcionada por un líquido 402 (figura 1) puede dar como resultado un hueco de vértice relativamente grande 312 (figura 7) en cada uno de los vértices 310 (figura 7) que, además, puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 desde la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

En todavía un ejemplo adicional, el medio fluido 400 (figura 1) puede ser un material de cambio de fase 406 (figura 1) que puede pasar de un estado líquido (no mostrado) a temperatura ambiente (no mostrada) a un fluido relativamente incompresible (no mostrado - por ejemplo, un estado semisólido) a o por encima de la temperatura de curado de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1). En algunos ejemplos, puede llenarse la red de paso de fluido 326 (figura 1) con el material de cambio de fase líquido 406 y, entonces, puede sellarse la red de paso de fluido 326 y puede calentarse el material de cambio de fase 406 hasta una temperatura a o por encima de la temperatura de curado de la estructura laminada compuesta 118 provocando que el material de cambio de fase 406 pase a un estado semisólido (no mostrado) o un estado sólido (no mostrado) provocando que el mandril de herramienta 300 tenga aproximadamente el mismo nivel de incompresibilidad (no mostrado) que un mandril sólido (no mostrado) desprovisto de una red de paso de fluido. Tal material de cambio de fase 406 puede proporcionar un nivel aumentado de presión de compactación (no mostrado) para facilitar la compactación y el curado de la estructura laminada compuesta 118. En todavía otros ejemplos, el medio fluido 400 puede ser un fluido relativamente incompresible (no mostrado) tal como agua (no mostrada) o una solución basada en agua (no mostrada) que permanece en un estado incompresible tal como un estado líquido (no mostrado) cuando se calienta hasta las temperaturas elevadas requeridas para la compactación y/o el curado de la estructura laminada compuesta 118.

La figura 8 es una ilustración de vista en perspectiva de un ejemplo de un mandril de herramienta 300 que tiene una interfaz de fluido 410 en un primer extremo de mandril 322 y un ajuste de retorno 424 en un segundo extremo de mandril 324. La interfaz de fluido 410 puede configurarse para montarse en el primer extremo de mandril 322 y puede proporcionar el medio fluido 400 (figura 1) a la red de paso de fluido 326. Además, la interfaz de fluido 410 en la figura 8 puede configurarse para descargar el medio fluido 400 desde la red de paso de fluido 326. En algunos ejemplos, la interfaz de fluido 410 puede tener una forma en sección transversal que puede ser sustancialmente similar a o equivalente a la forma en sección transversal del mandril de herramienta 300 y puede configurarse para instalarse con el mandril de herramienta 300 dentro de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Sin embargo, en otras realizaciones no mostradas, la interfaz de fluido 410 puede tener una forma en sección transversal que es diferente al mandril de herramienta 300 y la interfaz de fluido 410 puede configurarse para acoplarse de manera fluida al mandril de herramienta 300 pero puede situarse fuera de la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

En la figura 8, la interfaz de fluido 410 puede tener paredes de extremo opuesto 412. Una de las paredes de extremo 412 de la interfaz de fluido 410 puede configurarse para acoplarse o unirse al primer extremo de mandril 322. La pared de extremo 412 que se orienta hacia el primer extremo de mandril 322 puede incluir una cantidad de conectores 416 para su inserción en una cantidad correspondiente de pasos de flujo primarios 330 que puede formarse en el cuerpo de mandril 302. La pared de extremo opuesto 412 de la interfaz de fluido 410 también puede incluir uno o más conectores 416 que pueden funcionar como un puerto de entrada 418 y un puerto de salida 420. El puerto de entrada 418 y el puerto de salida 420 pueden acoplarse a los conductos de fluido 454 (figura 10) para proporcionar respectivamente un medio fluido 400 (figura 10) desde una fuente de fluido 452 (figura 10) hasta el mandril de herramienta 300 y descargar el medio fluido 400 desde el mandril de herramienta 300 hasta un colector de fluido 456 (figura 10). Los conectores 416 pueden proporcionarse con una o más características de acoplamiento (no mostradas) tal como lengüetas (no mostradas) para acoplarse de manera mecánica a la superficie interior (no mostrada) de los pasos de flujo primarios 330 y/o los conductos de fluido 454 (figura 10). En algunos ejemplos, la interfaz de fluido 410 puede ensamblarse de manera permanente con el mandril de herramienta 300. Por ejemplo, una pared de extremo 412 de una interfaz de fluido 410 puede unirse de manera adhesiva al primer extremo de mandril 322 usando un sellador adhesivo (no mostrado). Cuando la pared de extremo 412 de la interfaz de fluido 410 se une de manera adhesiva al primer extremo de mandril 322, el sellador adhesivo (no mostrado) puede sellar los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332 contra las fugas del medio fluido 400 (figura 10) en la interfaz entre la interfaz de fluido 410 y el primer extremo de mandril 322.

En la figura 8, el mandril de herramienta 300 puede incluir al menos dos pasos de flujo primarios, espaciados y paralelos 330 que se extienden a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) del cuerpo de mandril 302 y que contienen el medio fluido 400 que fluye en direcciones opuestas. El flujo opuesto en los dos de más pasos de flujo primarios 330 puede conseguirse incluyendo un retorno de fluido 422 en el segundo extremo de mandril 324 del mandril de herramienta 300. El retorno de fluido 422 puede configurarse para dirigir el medio fluido 400 recibido desde uno de los pasos de flujo primarios 330 hacia una dirección opuesta en otro de los pasos de flujo primarios 330. En un ejemplo no mostrado, el retorno de fluido 422 puede formarse de manera integrada en el segundo extremo de mandril 324 del cuerpo de mandril 302.

En la figura 8, el retorno de fluido 422 puede configurarse como un ajuste de retorno 424 que puede montarse al segundo extremo de mandril 324. El ajuste de retorno 424 puede incluir una o más muescas de retorno 426 que pueden configurarse para conectar de manera fluida los extremos de los pasos de flujo primarios 330 de tal manera que dirijan el medio fluido 400 recibido desde uno o más de los pasos de flujo primarios 330 hacia una dirección opuesta en otro o más de los pasos de flujo primarios 330. En una realización, el ajuste de retorno 424 puede configurarse como un ajuste metálico o como un ajuste no metálico y puede formarse por colada, moldeo por inyección, mecanizado u otros medios. El ajuste de retorno 424 puede montarse de manera extraíble o permanente al segundo extremo de mandril 324. Por ejemplo, el ajuste de retorno 424 puede unirse de manera adhesiva al segundo extremo de mandril 324 usando un sellador adhesivo (no mostrado) que puede cerrar herméticamente los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332 contra las fugas del medio fluido 400 (figura 10) en la interfaz entre el ajuste de retorno 424 y el segundo extremo de mandril 324. En algunos ejemplos, el ajuste de retorno 424 puede tener una forma en sección transversal que puede ser sustancialmente similar a la forma en sección transversal del mandril de herramienta 300 y puede configurarse para contenerse al menos parcialmente dentro de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. En otros ejemplos, el ajuste de retorno 424 puede tener una forma en sección transversal que es diferente al mandril de herramienta 300 y/o el ajuste de retorno 424 puede situarse fuera de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Tal como se indicó anteriormente, la interfaz de fluido 410 también puede unirse de manera adhesiva al primer extremo de mandril 322 usando un sellador adhesivo para cerrar herméticamente los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332 contra las fugas del medio fluido 400 (figura 10) en la interfaz entre la interfaz de fluido 410 y el primer extremo de mandril 322.

La figura 9 es una vista en sección del mandril de herramienta 300 de la figura 8 que muestra la interfaz de fluido 410 montada sobre el primer extremo de mandril 322 y el ajuste de retorno 424 montado sobre el segundo extremo de mandril 324. La interfaz de fluido 410 puede incluir un puerto de entrada 418 que puede dirigir el medio fluido 400 hasta un colector interior 414 para distribuir el medio fluido 400 a los dos (2) pasos de flujo primarios superiores 330. La interfaz de fluido 410 puede incluir un puerto de salida 420 que puede recibir el flujo de retorno de medio fluido 400 desde el paso de flujo primario inferior 330. Tal como se indicó anteriormente, el ajuste de retorno 424 puede acoplar de manera fluida dos o más pasos de flujo primarios 330 y puede dirigir el medio fluido 400 recibido desde los pasos de flujo primarios superiores 330 hacia una dirección opuesta en el paso de flujo primario inferior 330. Aunque no se muestra, el paso de flujo primario inferior 330 puede tener un diámetro más grande que los diámetros de los pasos de flujo primarios superiores 330. En un ejemplo, la zona en sección transversal del paso de flujo primario inferior 330 puede ser aproximadamente equivalente a la zona en sección transversal combinada de los pasos de flujo primarios superiores 330 de manera que la capacidad de velocidad de flujo volumétrico combinada de los pasos de flujo primarios superiores 330 coincide con el paso de flujo primario inferior 330.

La figura 10 muestra el flujo del medio fluido 400 en direcciones opuestas a través del mandril de herramienta 300. Tal como se indicó anteriormente, la interfaz de fluido 410 en el primer extremo de mandril 322 puede incluir uno o más conectores 416 que funcionan como un puerto de entrada 418 y uno o más conectores 416 que funcionan como un puerto de salida 420. El puerto de entrada 418 puede acoplarse de manera fluida a una fuente de fluido 452 por un conducto de fluido 454. El puerto de entrada 418 puede recibir el medio fluido 400 desde la fuente de fluido 452 para su distribución en uno o más de los pasos de flujo primarios 330 en el mandril de herramienta 300. El puerto de salida 420 puede acoplarse de manera fluida a un colector de fluido 456 por un conducto de fluido 454. El puerto de salida 420 puede descargar el medio fluido 400 desde uno o más de los pasos de flujo primarios 330 al colector de fluido 456 después de fluir a través del mandril de herramienta 300. Ventajosamente, situar la fuente de fluido 452 y el colector de fluido 456 en un único extremo del mandril de herramienta 300 puede simplificar el procedimiento de extracción del mandril de herramienta 300 desde un extremo de la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

Haciendo referencia todavía a la figura 10, teniendo en cuenta la posibilidad de que el medio fluido 400 que regresa al puerto de salida 420 puede estar a una temperatura a o cerca de la temperatura del mandril de herramienta 300 y, por tanto, puede verse reducida su capacidad para absorber el calor de las partes del mandril de herramienta 300 que rodean el medio fluido 400 de retorno, puede ser deseable cambiar de manera alternativa la dirección de flujo del medio fluido 400 a través de la red de paso de fluido 326 desacoplando el puerto de entrada 418 y el puerto de salida de su respectiva fuente de fluido 452 y colector de fluido 456 y reacoplando el puerto de salida 420 al medio de fluido 400 a una temperatura más fría contenido en la fuente de fluido 452 y reacoplando el puerto de entrada 418 al colector de fluido 456. De esta manera, la dirección de flujo del medio fluido 400 puede cambiarse periódicamente para permitir que se transfiera calor desde todas las partes del cuerpo de mandril 302 (figura 1) al medio fluido 400 de una manera uniforme hasta que se consigue una cantidad deseada de contracción térmica del mandril de herramienta 300 antes de aplicar una fuerza de extracción (no mostrada) para la retirada del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1).

La figura 11 es una ilustración de vista en perspectiva de un ejemplo de un mandril de herramienta 300 configurado para el flujo del medio fluido 400 a lo largo de una única dirección a través del mandril de herramienta 300. El mandril de herramienta 300 puede incluir una interfaz de fluido 410 montada al primer extremo de mandril 322 y una interfaz de fluido 410 montada al segundo extremo de mandril 324. La interfaz de fluido 410 en el primer extremo de mandril 322 y/o la interfaz de fluido 410 en el segundo extremo de mandril 324 pueden acoplarse de manera extraíble o permanente al mandril de herramienta 300 tal como por unión adhesiva de una manera descrita anteriormente. Cada interfaz de fluido 410 en los extremos de mandril primero y segundo 322, 324 puede configurarse de manera similar a la interfaz de fluido 410 descrita anteriormente con respecto a las figuras 8 a 10. Sin embargo, en el ejemplo de la figura 11, la interfaz de

fluido 410 en el primer extremo de mandril 322 puede limitarse a uno o más puertos de entrada 418 y a ningún puerto de salida 420. Asimismo, la interfaz de fluido 410 en el segundo extremo de mandril 324 puede limitarse a uno o más puertos de salida 420 y a ningún puerto de entrada 418.

La figura 12 muestra el mandril de herramienta 300 con las interfaces de fluido 410 montadas al primer extremo de mandril 322 y el segundo extremo de mandril 324. Cada una de las interfaces de fluido 410 puede incluir uno o más conectores 416 para acoplarse a los pasos de flujo primarios 330 de la red de paso de fluido 326. La interfaz de fluido 410 en el primer extremo de mandril 322 puede incluir un colector interior 414 configurado para recibir el medio fluido 400 en el puerto de entrada 418 y distribuir el medio fluido 400 en uno o más pasos de flujo primarios 330. En el ejemplo mostrado, el colector 414 puede distribuir el medio fluido 400 en tres (3) pasos de flujo primarios 330. La interfaz de fluido 410 en el segundo extremo de mandril 324 también puede incluir un colector interior 414 configurado para recibir el medio fluido 400 desde los tres (3) pasos de flujo primarios 330 y descargar el medio fluido 400 fuera del puerto de salida 420.

La figura 13 muestra el flujo del medio fluido 400 a través de los pasos de flujo primarios 330 a lo largo de una única dirección desde el primer extremo de mandril 322 hasta el segundo extremo de mandril 324. La interfaz de fluido 410 en el primer extremo de mandril 322 puede incluir un puerto de entrada 418 que recibe el medio fluido 400 desde una fuente de fluido 452 a través de un conducto de fluido 454. La interfaz de fluido 410 en el segundo extremo de mandril 324 puede incluir un puerto de salida 420 para descargar el medio fluido 400 en un colector de fluido 456 después de fluir a través del mandril de herramienta 300.

En una cualquiera de las realizaciones dadas a conocer en el presente documento, las interfaces de fluido 410 pueden retirarse del mandril de herramienta 300 antes del curado de la estructura laminada compuesta 118. Como alternativa, las interfaces de fluido 410 pueden permanecer ensambladas con el mandril de herramienta 300 y selladas a la herramienta de curado 200 bajo la bolsa de vacío 210 durante el curado de la estructura laminada compuesta 118. Después del curado de la estructura laminada compuesta 118 y la retirada de la bolsa de vacío 210, la fuente de fluido 452 y el colector de fluido 456 pueden conectarse manera fluida a las interfaces de fluido 410 usando uno o más conductos de fluido 454. Un controlador 450 (figura 1) puede acoplarse de manera operativa a la fuente de fluido 452 y puede controlar la distribución del medio fluido 400 en la red de paso de fluido 326. Por ejemplo, el controlador 450 puede incluir una bomba (no mostrada) para bombear el medio fluido 400 desde la fuente de fluido 452 a una interfaz de fluido 410.

El controlador 450 (figura 1) puede configurarse para iniciar y controlar el flujo del medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300. Con respecto a esto, el controlador 450 puede regular la velocidad de flujo del medio fluido 400 a través de la red de paso de fluido 326. En un ejemplo, el controlador 450 puede proporcionar una velocidad de flujo relativamente constante del medio fluido 400 al mandril de herramienta 300. Como alternativa, el controlador 450 puede configurarse para ajustar (por ejemplo, aumentar o disminuir) la velocidad de flujo del medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300 como un medio para ajustar la tasa de la transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400. Por ejemplo, para un medio fluido 400 a una temperatura más baja que el mandril de herramienta 300, el controlador puede aumentar la velocidad de flujo del medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300 lo que puede dar como resultado una velocidad más rápida de transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400. Una velocidad más rápida de transferencia de calor puede coincidir con la contracción térmica aumentada de la forma de mandril en sección transversal 306 y la separación aumentada entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Por ejemplo, en la figura 7, una velocidad aumentada de transferencia de calor puede dar como resultado un aumento en el tamaño del hueco de vértice 312 en cada vértice 310 lo que puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 con una fuerza de extracción reducida (no mostrada).

Las figuras 14 a 16 son ejemplos no limitativos de configuraciones alternativas de la geometría de los pasos de flujo secundarios 332. La figura 14 muestra un mandril de herramienta 300 que tiene tres (3) pasos de flujo primarios 330 situados respectivamente próximos a los tres (3) vértices 310 del mandril de herramienta 300. Cada paso de flujo primario 330 incluye un paso de flujo secundario 332 que se extiende desde el paso de flujo primario 330 hacia un vértice 310. En el ejemplo mostrado, el paso de flujo secundario 332 tiene una forma de canal 334 con una configuración no recta o tortuosa 336. La configuración tortuosa 336 del paso de flujo secundario 332 puede tener una longitud de paso mayor que una configuración recta (no mostrada) lo que puede dar como resultado un aumento en la zona de paso en sección transversal 328. Tal como se indicó anteriormente, una zona de paso en sección transversal relativamente grande 328 puede dar como resultado un aumento en la velocidad de flujo de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 en relación con la velocidad de flujo de calor proporcionada por una zona de paso en sección transversal más pequeña 328.

La figura 15 muestra un mandril de herramienta 300 que tiene, en general, pasos de flujo secundarios rectos 332. Cada uno de los pasos de flujo secundarios 332 tiene una forma de canal 334 que se extiende desde los pasos de flujo primarios 330. El extremo de terminal de cada paso de flujo secundario 332 incluye una parte con forma de bulbo 340. La parte con forma de bulbo 340 puede situarse próxima a un vértice 310 para proporcionar un aumento localizado en la zona de paso en sección transversal 328 cerca del vértice 310. El aumento en la zona de paso en sección transversal 328 cerca del vértice 310 puede dar como resultado un aumento local en la contracción térmica del vértice 310 debido a un aumento en la velocidad de transferencia de calor desde el vértice 310 hasta el medio fluido 400 en la parte con forma de bulbo 340.

En la figura 15, el aumento en la contracción térmica en el vértice 310 puede dar como resultado un aumento en el hueco de vértice 312 (figura 7) que puede fomentar la extracción del mandril de herramienta 300 desde la cavidad de estructura

laminada compuesta 130. El tamaño y la ubicación de la parte con forma de bulbo 340 puede seleccionarse para alterar la zona de paso en sección transversal 328 como un medio para proporcionar una velocidad deseada de transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 en el vértice 310. Tal como se indicó anteriormente, para ejemplos en los que el medio fluido 400 está a una temperatura más fría que el mandril de herramienta 300, un cambio en la velocidad de transferencia de calor entre el medio de herramienta y el medio fluido 400 puede afectar a la cantidad de contracción térmica del mandril de herramienta 300. Un aumento en la velocidad de transferencia de calor puede aumentar la cantidad de separación entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 lo que puede tener un efecto en la magnitud de la fuerza de extracción requerida para retirar el mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

La figura 16 muestra un mandril de herramienta 300 que tiene pasos de flujo secundarios 332 teniendo cada uno una forma de canal generalmente recta 334 que se extiende desde un paso de flujo primario 330 hacia un vértice 310. Cada paso de flujo secundario 332 incluye un par de muescas paralelas 342 orientadas de manera transversal a la forma de canal 334. Las variaciones en la geometría de las muescas paralelas 342 pueden afectar a la velocidad de transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 que fluye a través de los pasos de flujo secundarios 332. Por ejemplo, pueden seleccionarse la anchura, la separación, la longitud y/o la ubicación de las muescas paralelas 342 para proporcionar las características de transferencia de calor deseadas entre el vértice 310 y el medio fluido 400 y que pueden afectar a las características de contracción térmica del mandril de herramienta 300 en el vértice 310.

La figura 17 es una ilustración de un ejemplo de un mandril de herramienta 300 dentro de una cavidad de estructura laminada compuesta 130 de una estructura laminada compuesta 118 antes del curado. El mandril de herramienta 300 incluye una red de paso de fluido 326 que tiene un paso de flujo primario 330 situado próximo a una parte central 320 del mandril de herramienta 300. El mandril de herramienta 300 incluye adicionalmente tres (3) pasos de flujo secundarios 332 que se extienden hacia afuera desde el paso de flujo primario 330 hacia los tres (3) vértices 310 del mandril de herramienta 300. El único paso de flujo primario 330 en la parte central 320 puede tener un diámetro relativamente más grande que el diámetro de los múltiples pasos de flujo primarios 330 de los mandriles de herramienta 300 de las figuras 14 a 16. El diámetro relativamente más grande del único paso de flujo primario 330 en la figura 17 puede permitir que el único paso de flujo primario 330 proporcione un volumen de flujo suficiente de medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300 para conseguir la velocidad de transferencia de calor deseada entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400.

En la figura 17, cada uno de los pasos de flujo secundarios 332 tiene una forma de canal generalmente recta 334 que se extiende hacia un vértice 310 del mandril de herramienta 300. Además, cada uno de los pasos de flujo secundarios 332 incluye una serie de muescas paralelas 342 similar a la configuración descrita anteriormente respecto a la figura 16. Las muescas paralelas 342 en cada uno de los pasos de flujo secundarios 332 puede situarse en una ubicación próxima a un vértice 310 del mandril de herramienta 300. Cada paso de flujo secundario 332 puede incluir, además, una parte con forma de bulbo 340 en un extremo de terminal de la forma de canal 334 que puede dar como resultado un aumento localizado en la velocidad de transferencia de calor entre la parte del medio fluido 400 y el vértice 310 en relación con la velocidad de transferencia de calor entre el medio fluido 400 en otras partes del mandril de herramienta 300.

En cualquiera de los ejemplos del mandril de herramienta 300 (figura 1) dados a conocer en el presente documento, la red de paso de fluido 326 (figura 1) puede incluir uno o más pasos de flujo secundarios 332 (figura 1) que pueden configurarse de manera diferente a otros pasos de flujo secundarios 332 (figura 1) en la misma red de paso de fluido 326 (figura 1). Asimismo, uno cualquiera o más de los pasos de flujo primarios 330 (figura 1) en una red de paso de fluido 326 (figura 1) puede configurarse de manera diferente a uno o más de los otros pasos de flujo primarios 330 (figura 1) en la misma red de paso de fluido 326 (figura 1). La geometría de los pasos de flujo primarios 330 (figura 1) y/o los pasos de flujo secundarios 332 (figura 1) puede seleccionarse basándose en la cantidad de contracción térmica que se desea en una ubicación dada del mandril de herramienta 300 (figura 1). Por ejemplo, la red de paso de fluido 326 (figura 1) de un mandril de herramienta 300 (figura 1) puede configurarse de manera que la mayoría de la zona de paso en sección transversal 328 (figura 1) se sitúa próxima a uno o más de los vértices 310 (figura 1) del mandril de herramienta como un medio para proporcionar una transferencia de calor aumentada entre el mandril de herramienta 300 (figura 1) y el medio fluido 400 (figura 1) en el vértice 310 (figura 1) en relación con la transferencia de calor en otras ubicaciones del mandril de herramienta 300 (figura 1). De esta manera, la transferencia de calor aumentada puede proporcionar una contracción térmica aumentada en el vértice 310 (figura 1) para un aumento en el tamaño del hueco de vértice 312 (figura 1) en cada vértice 310 (figura 1) que puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 (figura 1) desde la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1).

La figura 18 muestra la contracción térmica del mandril de herramienta 300 en relación con la cavidad de estructura laminada compuesta 130 de la estructura laminada compuesta 118 de la figura 17 después del curado y antes de la extracción de mandril. De manera similar al ejemplo de mandril de herramienta descrito anteriormente 300 mostrado en la figura 7, la contracción térmica del mandril de herramienta 300 de la figura 18 puede situarse en cada uno de los tres (3) vértices 310 debido a la ubicación de los pasos de flujo primarios y secundarios 330, 332 en cada vértice 310. La contracción térmica del mandril de herramienta 300 en otras ubicaciones más lejos de los pasos de flujo primarios y/o secundarios 330, 332 puede reducirse en relación con la contracción térmica en los vértices 310. Sin embargo, el paso de flujo primario situado centralmente 330 puede producir un hueco sin vértice relativamente grande 316 entre el lado del mandril 308 y la superficie plana 134 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 en relación con el tamaño más pequeño del hueco sin vértice 316 en el mandril de herramienta 300 de la figura 7. De esta manera, el hueco sin vértice

relativamente más grande 316 en la figura 18 puede facilitar una reducción en la fuerza de extracción requerida para retirar el mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

La figura 19 muestra un ejemplo adicional de un mandril de herramienta 300 dentro de una cavidad de estructura laminada compuesta 130 de una estructura laminada compuesta 118 antes del curado. El mandril de herramienta 300 incluye una red de paso de fluido 326 que tiene un canal de flujo de fluido 350 formado a lo largo de un lado de mandril superior 308 del mandril de herramienta 300. El canal de flujo de fluido 350 puede conectarse de manera fluida a un par paralelo de pasos de flujo primarios espaciados 330 que puede extenderse a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) del mandril de herramienta 300. El canal de flujo de fluido 350 puede extenderse a lo largo de la dirección longitudinal 116 (figura 2) del par de pasos de flujo primarios 330. Cada uno de los pasos de flujo primarios 330 se muestra situado próximo a un vértice 310 del mandril de herramienta 300. El canal de flujo de fluido 350 se muestra orientado, en general, paralelo al lado de mandril superior 308. Aunque se muestra un único canal de flujo de fluido 350, puede proporcionarse cualquier número. Además, un mandril de herramienta 300 puede incluir uno o más canales de flujo de fluido 350 en cualquier ubicación en el mandril de herramienta 300.

La figura 20 es una vista ampliada de una parte del mandril de herramienta 300 de la figura 19 e ilustra una pluralidad de canales terciarios 354 que puede extenderse desde el canal de flujo de fluido 350. Aunque se muestran orientados de manera aproximadamente perpendicular al canal de flujo de fluido 350 y paralelos entre sí y con la misma altura y separación uniforme, los canales terciarios 354 pueden proporcionarse en una cualquiera o más orientaciones y/o en una separación no uniforme y/o una altura no uniforme. Los canales terciarios 354 pueden separarse por paredes laterales de canal 356. Cada una de las paredes laterales de canal 356 puede tener una base 358 que puede formar un hueco de canal 352 con una pared inferior del canal de flujo de fluido 350. Los huecos de canal 352 pueden tener un tamaño y una configuración para permitir el flujo del medio fluido 400 entre el par de pasos de flujo primarios 330. Además, el hueco de canal 352 puede tener un tamaño y una configuración tales que las bases 358 de las paredes laterales de canal 356 se soportan contra la parte inferior del canal de flujo de fluido 350 para soportar la estructura laminada compuesta 118 contra la presión de compactación (no mostrada) tal como puede aplicarse durante la compactación y/o el curado de la estructura laminada compuesta 118.

La figura 21 muestra el mandril de herramienta 300 y el montante de refuerzo compuesto 106 de la figura 19 después del curado y antes de la extracción de mandril. También se muestra una dirección general de contracción 360 del mandril de herramienta 300 desde cada uno de los vértices superiores 310 hacia una parte central del lado del mandril 308. La dirección de contracción 360 puede ser un resultado de la transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 que fluye a través del canal de flujo de fluido 350 y los canales terciarios 354. En una parte inferior del mandril de herramienta 300, pueden producirse huecos sin vértice 316 de tamaño relativamente pequeño entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 debido a una cantidad reducida de transferencia de calor desde la parte inferior en el medio fluido 400 debido a la distancia relativamente larga al canal de flujo de fluido 350.

La figura 22 es una vista ampliada de una parte del mandril de herramienta 300 de la figura 21. Se muestra el hueco de vértice 312 que puede producirse entre un vértice 310 y el radio interior 132 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 como resultado de la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 que fluye a través del paso de flujo primario 330. También se muestra la dirección de contracción 360 del mandril de herramienta a lo largo del lado de mandril superior 308 y que puede ser el resultado de la transferencia de calor al medio fluido 400 en el canal de flujo de fluido 350 y los canales terciarios 354.

La figura 23 muestra un ejemplo de un mandril de herramienta 300 dentro de un montante de refuerzo compuesto 106 de sección en U profunda 114 antes del curado. El mandril de herramienta 300 puede incluir cuatro vértices 310 interconectados por cuatro superficies planas 134 para definir la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Con respecto a esto, puede formarse una estructura laminada de envoltura (no mostrado) del montante de refuerzo compuesto 106 de sección en U profunda 114 disponiendo capas compuestas (no mostradas) alrededor del mandril de herramienta 300 de la misma manera descrita anteriormente con respecto a la formación de la estructura laminada de envoltura 124 (figura 5) de la estructura laminada compuesta 118 de sección triangular 108 (figura 5). El mandril de herramienta 300 en la figura 23 puede incluir un paso de flujo primario 330 y un paso de flujo secundario 332 próximo a cada uno de los vértices 310. En el ejemplo mostrado, el paso de flujo secundario 332 puede tener una forma de canal 334 con una parte con forma de diamante 338 para proporcionar un aumento local en la zona de paso en sección transversal 328 para facilitar un aumento localizado en la velocidad de transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 en los pasos de flujo primarios y secundarios 332 en los vértices 310.

La figura 24 muestra el mandril de herramienta 300 de la figura 23 después del curado y antes de la extracción de mandril. El flujo del medio fluido 400 en una temperatura más fría que el mandril de herramienta 300 puede dar como resultado la contracción térmica del mandril de herramienta 300. Con respecto a esto, puede formarse un hueco de vértice 312 entre cada vértice 310 y el radio interior correspondiente 132 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 como resultado de la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 en los pasos de flujo primarios y secundarios 330, 332 próximos a cada vértice 310. También puede producirse un hueco sin vértice más pequeño 316 en una o más partes sin vértice 314 del mandril de herramienta 300 que, además, puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

La figura 25 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método 500 de extracción de un mandril de herramienta 300 (figura 1) de una cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1). Aunque se describe el método 500 a continuación en el contexto de un montante de refuerzo compuesto 106 de sección triangular 108 (figura 4) tal como se muestra en la figura 4, el método 500 puede implementarse para fabricar una estructura laminada compuesta 118 (figura 1) de cualquier forma o configuración que tenga una cavidad 130. Ventajosamente, el método 500 puede provocar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1) para facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 (figura 1) de una estructura laminada compuesta curada 118. Por ejemplo, el método 500 puede provocar la contracción térmica en los vértices 310 (figura 1) y particularmente en ubicaciones que forman ángulos agudos (no mostrados) en la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) y que, de ese modo, reducen o eliminan la fricción de gran adhesión (no mostrada) en tales vértices 310 para facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 con una fuerza de extracción reducida (no mostrada).

En el método 500 de la figura 25 dado a conocer en el presente documento, la etapa 502 puede incluir proporcionar una estructura laminada compuesta 118 (figura 1) que tiene una cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) que contiene un mandril de herramienta 300 (figura 1). En un ejemplo, la estructura laminada compuesta 118 puede formarse disponiendo capas compuestas 120 (figura 1) alrededor de un mandril de herramienta 300 para formar una estructura laminada de envoltura 124 (figura 5) tal como se mencionó anteriormente. El método 500 puede incluir, además, disponer capas compuestas 120 en una cavidad de herramienta de curado 202 (figura 6) para formar una estructura laminada primaria 122 (figura 5) y ensamblar la estructura laminada de envoltura 124 con la estructura laminada primaria 122, una estructura laminada de base 126 (figura 5) y uno o más productos de relleno de radio 128 (figura 5) para formar una estructura laminada compuesta 118. Tal como se indicó anteriormente, las capas compuestas 120 (figura 1) pueden formarse de material compuesto preimpregnado (no mostrado) termoendurecible (no mostrado) o termoplástico (no mostrado) o las capas compuestas 120 pueden formarse de material de fibra seco (no mostrado) que puede infundirse posteriormente con resina termoendurecible (no mostrada) o resina termoplástica (no mostrada).

La etapa 504 del método 500 de la figura 25 puede incluir el procesamiento de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) con un mandril de herramienta 300 (figura 1) situado en la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1). El procesamiento de la estructura laminada compuesta 118 puede incluir la compactación y/o el curado de la estructura laminada compuesta 118 para formar una estructura compuesta 100 (figura 1). El método puede incluir aplicar una bolsa de vacío 210 (figura 1) sobre la estructura laminada compuesta 118 que contiene el mandril de herramienta 300 y sellar la bolsa de vacío 210 a una herramienta de curado 200 (figura 1) usando el sellador de bordes 214 (figura 1) tal como se mencionó anteriormente y mostrado en la figura 6. El método puede incluir, además, situar la estructura laminada compuesta embolsada al vacío 118 (figura 1) y el mandril de herramienta 300 (figura 1) en un autoclave 204 (figura 1) y aplicar calor 206 (figura 1) y/o presión de autoclave 208 (figura 1) para compactar y/o curar la estructura laminada compuesta 118 (figura 1). El mandril de herramienta 300 (figura 1) puede soportar la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) durante la aplicación de presión de autoclave 208 (figura 1). Con respecto a esto, el mandril de herramienta 300 (figura 1) puede formarse de material configurado para expandirse térmicamente en una cantidad predeterminada durante el ciclo de curado para reaccionar contra la presión de autoclave aplicada exteriormente 208 (figura 1).

Como una alternativa al curado de autoclave, el método puede incluir curar la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) en un procedimiento fuera de autoclave (no mostrado) tal como en un horno (no mostrado) en el que puede aplicarse presión de compactación (por ejemplo, presión atmosférica - no mostrada) a la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) introduciendo un vacío en la bolsa de vacío 210 (figura 1). Durante el procedimiento de curado, la temperatura de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) puede elevarse y mantenerse en una o más temperaturas de curado para uno o más periodos de espera hasta la finalización del curado después del cual pueda permitirse que se reduzca la temperatura de la estructura laminada compuesta 118 tal como interrumpiendo la aplicación de calor.

La etapa 506 del método 500 de la figura 25 puede incluir controlar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1). La etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 puede incluir pasar un medio fluido 400 (figura 1) a través de una red de paso de fluido 326 (figura 1) formada en el mandril de herramienta 300 tal como después de que la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) se haya procesado (por ejemplo, curado). El método 500 puede incluir, además, transferir calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 para provocar la contracción térmica del mandril de herramienta 300. Con respecto a esto, el método puede incluir distribuir el medio fluido 400 (figura 1) a la red de paso de fluido 326 (figura 1) en un primer extremo de mandril 322 (figura 8) del mandril de herramienta 300 (figura 1). Por ejemplo, el método puede incluir introducir el medio fluido 400 (figura 1) desde una fuente de fluido 452 (figura 10) hasta una interfaz de fluido 410 (figura 8) en el primer extremo de mandril 322 (figura 8) del cuerpo de mandril 302 (figura 8), pasar el medio fluido 400 (figura 1) a través de la red de paso de fluido 326 (figura 1) y descargar el medio fluido 400 (figura 1) a través de una interfaz de fluido 410 (figura 8) situada en un segundo extremo de mandril 324 (figura 8) opuesta al primer extremo de mandril 322 (figura 8).

En una realización alternativa, el método puede incluir introducir el medio fluido 400 (figura 1) en la red de paso de fluido 326 (figura 1) en el primer extremo de mandril 322 (figura 8) del cuerpo de mandril 302 (figura 8) y descargar el medio fluido 400 (figura 1) desde la red de paso de fluido 326 (figura 1) en el mismo extremo de mandril en el que se introduce el medio fluido 400 (figura 1). En una disposición de este tipo, el mandril de herramienta 300 (figura 8) puede incluir un retorno de fluido 422 (figura 8) en un segundo extremo de mandril 324 (figura 8) para acoplar de manera fluida dos o más pasos de flujo primarios 330 (figura 8) para facilitar el flujo del medio fluido 400 (figura 8) en direcciones opuestas del

mandril de herramienta 300 (figura 8). Tal como se indicó anteriormente, para la realización de la figura 8, el flujo del medio fluido 400 a través de la red de paso de fluido 326 puede invertirse periódicamente cambiando periódicamente la conexión (no mostrada) del puerto de entrada 418 y el puerto de salida con la fuente de fluido 452 y el colector de fluido 456. De esta manera, la dirección de flujo del medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300 puede invertirse periódicamente hasta que se consigue una cantidad deseada de contracción térmica para el mandril de herramienta 300 (figura 8) para permitir la extracción del mandril de herramienta 300 con una fuerza de extracción reducida (no mostrada).

Tal como se indicó anteriormente, la red de paso de fluido 326 (figura 1) de un mandril de herramienta 300 (figura 1) puede incluir uno o más pasos de flujo primarios 330 (figura 1) a través de los cuales puede pasarse el medio fluido 400 (figura 1). En un ejemplo, pueden situarse uno o más pasos de flujo primarios 330 (figura 1) próximos a uno o más vértices 310 (figura 7) del mandril de herramienta 300. En otro ejemplo, el mandril de herramienta 300 (figura 1) puede incluir al menos un paso de flujo primario 330 (figura 1) situado próximo a una parte central 320 (por ejemplo, un centro geométrico - véase la figura 17) del mandril de herramienta 300 (figura 1). El método 500 puede incluir pasar el medio fluido 400 (figura 1) a través de uno o más pasos de flujo primarios 330 ya que puede situarse próximo a una parte central 320 y/o uno o más vértices 310 (figura 1) del mandril de herramienta 300. El método 500 puede incluir, además, aumentar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 cambiando la ubicación y/o la zona de paso en sección transversal 328 (figura 1) del paso de flujo primario 330. Por ejemplo, puede aumentarse el diámetro (no mostrado) de uno o más pasos de flujo primarios 330 para aumentar la zona de superficie (no mostrada) a lo largo de la cual puede transferirse calor desde el mandril de herramienta 300 en el medio fluido 400 que fluye a través de los pasos de flujo primarios 330. La zona de superficie aumentada puede aumentar la tasa de transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 hasta el medio fluido 400 lo que puede aumentar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 en la zona del paso de flujo primario 330.

En otro ejemplo, para aumentar la contracción térmica en una ubicación específica del mandril de herramienta 300 (figura 1) tal como en un vértice 310 (figura 1) del mandril de herramienta 300 (figura 1), el paso de flujo primario 330 (figura 1) puede situarse cerca del vértice 310 para permitir una transferencia de calor aumentada desde el vértice 310 hasta el medio fluido 400 en relación con la transferencia de calor en otras ubicaciones del mandril de herramienta 300. La transferencia de calor aumentada en el vértice 310 puede dar como resultado una contracción térmica aumentada en el vértice 310 que puede romper la fricción de gran adhesión (no mostrado) entre el vértice 310 (figura 1) y el radio interior 132 (figura 1) de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) lo que puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. En un ejemplo adicional, puede cambiarse la velocidad de transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 cambiando la velocidad de flujo del medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300. Por ejemplo, un aumento en la velocidad de flujo del medio fluido 400 a través del mandril de herramienta 300 puede aumentar la velocidad de transferencia de calor entre el mandril de herramienta 300 y el medio fluido 400 y lo que puede aumentar la contracción térmica en una o más ubicaciones del mandril de herramienta 300 tal como en los vértices 310 para romper la fricción de gran adhesión y, de ese modo, facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130.

Además, el método 500 puede incluir pasar el medio fluido 400 (figura 1) a través de uno o más pasos de flujo secundarios 332 (figura 1), uno o más de los cuales puede extenderse lateralmente hacia afuera desde uno o más de los pasos de flujo primarios 330 (figura 1). En el ejemplo mostrado en las figuras 6 a 7 y 14 a 18, pueden extenderse uno o más de los pasos de flujo secundarios 332 hacia un vértice 310 del mandril de herramienta 300. El método 500 puede incluir pasar el medio fluido 400 a través de uno o más pasos de flujo primarios 330 y uno o más pasos de flujo secundarios 332 que pueden extenderse lateralmente desde el paso de flujo primario 330, tal como se describió anteriormente. Por ejemplo, el método 500 puede incluir pasar el medio fluido 400 a través de un paso de flujo secundario 332 que se extiende desde el paso de flujo primario 330 hacia un vértice 310 del mandril de herramienta 300. De la misma manera descrita anteriormente con respecto a los pasos de flujo primarios 330, el método 500 puede incluir aumentar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 cambiando la ubicación y la zona de paso en sección transversal 328 (figura 1) de los pasos de flujo primarios 330 y/o los pasos de flujo secundarios 332.

En todavía otros ejemplos, el método puede incluir pasar un medio fluido 400 (figura 1) a través de un canal de flujo de fluido 350 (figura 19) acoplando de manera fluida dos o más pasos de flujo primarios 330 (figura 19) que pueden extenderse a lo largo de una dirección longitudinal 116 (figura 2) del mandril de herramienta 300 (figura 19), tal como se describió anteriormente y se ilustra en las figuras 19 a 22. En una disposición de este tipo, puede producirse contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 19) en los vértices 310 (figura 19) situados próximos a los pasos de flujo primarios 330 (figura 19). Además, puede producirse contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 19) a lo largo de un lado de mandril 308 (figura 19) próximo al canal de flujo de fluido 350 (figura 19).

El método 500 puede incluir pasar al mandril de herramienta 300 (figura 1) un medio fluido 400 (figura 1) que está a una temperatura más baja que el mandril de herramienta 300 (figura 1) para fomentar la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 (figura 1) hasta el medio fluido 400 (figura 1). Por ejemplo, puede pasarse un líquido 402 (figura 1) tal como agua relativamente fría (no mostrada) a través del mandril de herramienta 300. En otro ejemplo, puede pasarse un gas 404 (figura 1) tal como nitrógeno (no mostrado) o aire relativamente frío (no mostrado) a través del mandril de herramienta 300 (figura 1). Sin embargo, tal como se indicó anteriormente, en una realización alternativa, el método puede incluir pasar a través del mandril de herramienta 300 (figura 1) un medio fluido 400 (figura 1) que está a una temperatura más alta que el mandril de herramienta 300 (figura 1) para fomentar la expansión térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1) que puede ayudar a aumentar la presión de compactación (no mostrada) sobre la estructura laminada compuesta

118 (figura 1). Tal como se mencionó anteriormente, la presión de compactación (no mostrada) puede facilitar la evacuación de humedad y/o gas (no mostrado) tal como sustancias volátiles desde la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) y puede facilitar la retirada de arrugas (no mostrado) de las capas compuestas 120 (figura 1). Además, la presión de compactación puede fomentar la mezcla de la resina (no mostrada) de capas compuestas adyacentes 120 (figura 1) y puede conformar las superficies exteriores (no mostradas) de las capas compuestas 120 al contorno de superficie (no mostrado) de la herramienta de curado 200 (figura 1) y el mandril de herramienta 300 (figura 1).

La etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1) puede incluir cambiar la forma de mandril en sección transversal 306 (figura 1) en respuesta a la transferencia de calor 206 (figura 1) desde el mandril de herramienta 300 (figura 1) hasta el medio fluido 400 (figura 1). En un ejemplo, el cambio de la forma de mandril en sección transversal 306 (figura 1) puede incluir la contracción térmica de una o más partes del mandril de herramienta 300 (figura 1) para facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 (figura 1) de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) cuando se cura.

La etapa 508 del método 500 de la figura 25 puede incluir producir un hueco en una o más ubicaciones entre el mandril de herramienta 300 (figura 1) y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1). Por ejemplo, el método 500 puede incluir contraer térmicamente el mandril de herramienta 300 (figura 1) de tal manera que produzca un hueco de vértice 312 (figura 7) entre uno o más vértices 310 (figura 1) del mandril de herramienta 300 (figura 7) y los radios interiores correspondientes 132 (figura 1) de la estructura laminada compuesta 118 (figura 7). Con respecto a esto, la contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 7) puede reducir o eliminar la fricción de gran adhesión (no mostrada) que puede producirse entre los vértices 310 (figura 1) del mandril de herramienta 300 y los radios interiores 132 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 y que puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 (figura 1) de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1). La contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1) también puede dar como resultado un hueco sin vértice 316 (figura 1) en una o más partes sin vértice 314 (figura 1) del mandril de herramienta 300 (figura 1) y que también puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 (figura 1). En algunos ejemplos, el método 500 puede incluir contraer térmicamente uno o más de los vértices 310 (figura 1) en una cantidad mayor que una parte sin vértice 314 (figura 1) del mandril de herramienta 300 (figura 1) como resultado de la proximidad de los pasos de flujo primarios y/o secundarios 330, 332 (figura 1) a los vértices 310 (figura 1) del mandril de herramienta 300 (figura 1).

La etapa 510 del método 500 de la figura 25 puede incluir romper la fricción de gran adhesión (no mostrada) entre el mandril de herramienta 300 (figura 1) y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) en respuesta al control de la contracción térmica del mandril de herramienta 300. Tal como se indicó anteriormente, puede desarrollarse fricción de gran adhesión (no mostrado) entre el mandril de herramienta y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) durante el curado de la estructura laminada compuesta 118 (figura 1) como resultado de depósitos de resina (no mostrados) entre la superficie exterior (no mostrada) del mandril de herramienta 300 y la superficie interior (no mostrada) de la cavidad de estructura laminada compuesta 130. La etapa de romper la fricción de gran adhesión (no mostrada) entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130 puede incluir reducir o eliminar la fricción de gran adhesión en una o más ubicaciones entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 7, la transferencia de calor desde el mandril de herramienta 300 (figura 7) hasta el medio fluido 400 (figura 7) que fluye a través de la red de paso de fluido 326 (figura 7) del mandril de herramienta 300 puede dar como resultado la contracción térmica en los vértices 310 (figura 7) de ángulo agudo (no mostrado) del mandril de herramienta 300, y que puede reducir o eliminar la fricción de gran adhesión (no mostrada) en tales vértices 310 lo que puede facilitar la extracción del mandril de herramienta 300 de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 con una fuerza de extracción reducida (no mostrada).

El método 500 puede incluir, además, ajustar una o más características de flujo del medio fluido 400 (figura 1) como un medio para controlar la contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1). Por ejemplo, el método 500 puede incluir usar un controlador 450 (figura 1) para regular la velocidad de flujo del medio fluido 400 (figura 1) a través del mandril de herramienta 300 (figura 1) como un medio para alterar (por ejemplo, aumentar o disminuir) la cantidad por la cual cambia la forma de mandril en sección transversal 306 (figura 1). Por ejemplo, el método 500 puede incluir ajustar la velocidad de flujo del medio fluido 400 (figura 1) de tal manera que provoca un aumento en el enfriamiento del mandril de herramienta 300 (figura 1) para producir de ese modo un aumento en la velocidad y/o la cantidad de la contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1). Además, el método 500 puede incluir controlar la cantidad de tiempo durante el cual se hace circular el medio fluido 400 (figura 1) a través del mandril de herramienta 300 (figura 1) hasta que se consigue la cantidad deseada de contracción térmica del mandril de herramienta 300 (figura 1).

La etapa 512 del método 500 de la figura 25 puede incluir extraer el mandril de herramienta 300 (figura 1) de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1) después de contraer térmicamente una o más partes del mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o romper la fricción de gran adhesión que puede existir entre el mandril de herramienta 300 y la cavidad de estructura laminada compuesta 130. Por ejemplo, el método 500 puede incluir aplicar una fuerza de tensión (no mostrada) a un extremo del mandril de herramienta 300 (figura 1) para inducir el movimiento axial del mandril de herramienta 300 (figura 1) en relación con la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1). De esta manera, el mandril de herramienta 300 (figura 1) puede sacarse fuera de un extremo de la cavidad de estructura laminada compuesta 130 (figura 1).

La figura 26 es una ilustración de una vista en perspectiva de una aeronave 614 que incluye una o más estructuras compuestas 100 que pueden fabricarse usando uno o más ejemplos del mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) dados a conocer en el presente documento. La aeronave 614 puede incluir un fuselaje 616 que tiene una nariz 618 en un extremo delantero y un empenaje 620 en un extremo posterior. El empenaje 620 puede incluir una cola vertical 624 y una o más colas horizontales 622. Además, la aeronave 614 puede incluir un par de alas 628 que se extienden hacia afuera desde el fuselaje 616. Una o más unidades de propulsión 626 pueden incluirse con la aeronave 614. Por ejemplo, la propulsión que puede soportarse en las alas 628.

Aunque la figura 26 representa, en general, una aeronave comercial 614, el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) dados a conocer en el presente documento pueden implementarse para fabricar estructuras compuestas 100 para cualquier tipo de aeronave incluyendo aeronaves comerciales, civiles y militares incluyendo aeronaves de ala fija, aeronaves de ala giratoria y una cualquiera de una variedad de otros tipos de vehículos aéreos. Además, el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) dados a conocer en el presente documento pueden implementarse para fabricar estructuras compuestas 100 que pueden usarse en vehículos espaciales incluyendo, pero sin limitarse a, misiles, cohetes, lanzadores, satélites. Además, el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) pueden implementarse para fabricar estructuras compuestas 100 para vehículos con base terrestre incluyendo cualquier tipo de automóviles y cualquier tipo de embarcaciones. Con respecto a esto, el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) pueden implementarse para formar estructuras compuestas 100 para cualquier tipo de aplicación vehicular o no vehicular, sin limitación, incluyendo cualquier tipo de sistema, conjunto, subconjunto o estructura que incluya edificios y otras estructuras con base terrestre.

Haciendo referencia a la figura 27, pueden describirse realizaciones de la presente divulgación en el contexto de un método de fabricación y servicio de aeronave 600 tal como se muestra en la figura 27 y una aeronave 614 tal como se muestra en la figura 28. Durante la producción previa, el método a modo de ejemplo 600 puede incluir la especificación y el diseño 601 de la aeronave 614 y la adquisición de material 602. Durante la producción, tiene lugar la fabricación de componentes y subconjuntos 604 y la integración de sistemas 606 de la aeronave 614. A continuación, la aeronave 614 puede someterse a certificación y entrega 608 con el fin de ponerse en servicio 610. Mientras se encuentra en servicio 610 por un cliente, la aeronave 614 se programa para mantenimiento y servicio rutinarios 612 (que también puede incluir modificación, reconfiguración, rehabilitación y así sucesivamente).

Cada uno de los procedimientos del método 600 puede realizarse o llevarse a cabo por un integrador de sistema, un tercero y/o un operario (por ejemplo, un usuario). Con los fines de esta descripción, un integrador de sistema puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronave y subcontratistas del sistema principal; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operario puede ser una aerolínea, una empresa de alquiler, una entidad militar, una organización de servicios y así sucesivamente.

Tal como se muestra en la figura 28, la aeronave 614 producida por el método a modo de ejemplo 600 puede incluir un fuselaje 630 con una pluralidad de sistemas de alto nivel 634 y un interior 632. Los ejemplos de sistemas de alto nivel 634 incluyen uno o más de un sistema de propulsión 636, un sistema eléctrico 638, un sistema hidráulico 640 y un sistema ambiental 642. Puede incluirse cualquier número de sistemas adicionales 634. El mandril de herramienta dado a conocer en el presente documento 300 (figura 1) y el método 500 (figura 25) pueden implementarse durante la producción, fabricación de componentes y/o subconjuntos 604 de la aeronave 614 y/o durante la integración de sistemas 606 de la aeronave 614. Por ejemplo, el mandril de herramienta 300 (figura 1) y/o el método 500 (figura 25) pueden implementarse para fabricar estructuras compuestas 100 (figura 1) que pueden incorporarse en el fuselaje 630 tal como el fuselaje 616, la cola vertical 624, las colas horizontales 622 y/o las alas 628. El mandril de herramienta 300 (figura 1) y el método 500 (figura 25) también pueden implementarse para fabricar uno cualquiera o más componentes que pueden incluirse en uno o más sistemas de alto nivel 634 y/o en el interior 632 de la aeronave 614. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la invención pueden aplicarse a otras industrias, tales como la industria automotriz.

El aparato y los métodos realizados en el presente documento pueden emplearse durante cualquiera o más de las etapas del método de producción y servicio 600. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al procedimiento de producción pueden fabricarse o elaborarse de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 614 está en servicio. Asimismo, una o más realizaciones del aparato, realizaciones del método o una combinación de las mismas puede usarse durante las etapas de producción y, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamblado de o reduciendo el coste de una aeronave 614. De manera similar, una o más de las realizaciones de aparato, realizaciones de método o una combinación de las mismas pueden usarse mientras la aeronave 614 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, en mantenimiento y servicio 612.

Según un primer aspecto de la presente divulgación, se proporciona:

un mandril de herramienta para fabricar una estructura compuesta que tiene una cavidad, que comprende:

un cuerpo de mandril para una cavidad de estructura laminada compuesta;

una red de paso de fluido formada dentro del cuerpo de mandril para pasar un medio fluido a través del cuerpo de mandril;

y

teniendo la red de paso de fluido una zona de paso en sección transversal conformada para fomentar la conductividad térmica entre el medio fluido y el mandril de herramienta y provocar un cambio en una forma de mandril en sección transversal para facilitar la retirada del mandril de herramienta de la cavidad de estructura laminada compuesta.

5 Opcionalmente, la red de paso de fluido incluye un paso de flujo primario situado próximo a uno de un vértice y una parte central del mandril de herramienta.

Opcionalmente, el mandril de herramienta comprende, además:

un paso de flujo secundario en comunicación fluida con el paso de flujo primario; y

extendiéndose el paso de flujo secundario desde el paso de flujo primario hacia el vértice del mandril de herramienta.

Opcionalmente, la red de paso de fluido incluye:

10 un par de pasos de flujo primarios, estando situado cada uno de los pasos de flujo primarios próximo a un vértice del mandril de herramienta; y

acoplado de manera fluida un canal de flujo de fluido el par de pasos de flujo primarios.

Opcionalmente, la herramienta comprende, además:

15 una interfaz de fluido montada sobre un primer extremo de mandril del cuerpo de mandril y configurada para proporcionar fluido a la red de paso de fluido y descargar fluido desde la red de paso de fluido.

Opcionalmente, el mandril de herramienta incluye, además:

una interfaz de fluido situada en cada uno de un primer extremo de mandril y un segundo extremo de mandril del cuerpo de mandril;

20 la interfaz de fluido en el primer extremo de mandril configurada para proporcionar el medio fluido a la red de paso de fluido; y

la interfaz de fluido en el segundo extremo de mandril configurado para descargar el medio fluido desde la red de paso de fluido.

Según la reivindicación 1, la red de paso de fluido incluye al menos dos pasos de flujo primarios; y

25 el medio fluido en uno de los pasos de flujo primarios que fluye a lo largo de una dirección opuesta al medio fluido en otro de los pasos de flujo primarios.

Opcionalmente, el medio fluido se configura para enfriar el cuerpo de mandril provocando la contracción térmica de la forma de mandril en sección transversal.

Opcionalmente, el medio fluido se configura para calentar el mandril de herramienta provocando la expansión térmica de la forma de mandril en sección transversal.

30 Opcionalmente, el cuerpo de mandril se forma de material elastomérico.

Según un segundo aspecto de la divulgación, se proporciona:

un mandril de herramienta para fabricar una estructura compuesta que tiene una cavidad, que comprende:

un cuerpo de mandril que tiene una red de paso de fluido;

35 una interfaz de fluido acoplada de manera operativa al cuerpo de mandril y que suministra un medio fluido desde una fuente de fluido hasta la red de paso de fluido; y

teniendo la red de paso de fluido una zona de paso en sección transversal conformada para fomentar la transferencia de calor entre el medio fluido y el mandril de herramienta y provocando un cambio en una forma de mandril en sección transversal para facilitar la retirada del mandril de herramienta desde la cavidad.

Según un tercer aspecto de la presente divulgación, se proporciona:

40 un método de extracción de un mandril de herramienta de una cavidad de estructura laminada compuesta, que comprende las etapas de:

procesar una estructura laminada compuesta que tiene un mandril de herramienta situado en una cavidad de estructura laminada compuesta;

controlar la contracción térmica del mandril de herramienta; y

romper la fricción de gran adhesión entre el mandril de herramienta y la cavidad de estructura laminada compuesta en respuesta al control de la contracción térmica del mandril de herramienta.

Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

pasar un medio fluido a través de una red de paso de fluido del mandril de herramienta; y

- 5 transferir calor desde el mandril de herramienta hasta el medio fluido para provocar la contracción térmica del mandril de herramienta.

Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

pasar un medio fluido a través de un paso de flujo primario situado próximo a una de una parte central y un vértice del mandril de herramienta.

- 10 Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

pasar un medio fluido a través de un paso de flujo primario del mandril de herramienta; y

aumentar la contracción térmica del mandril de herramienta cambiando una de una ubicación y una zona de paso en sección transversal del paso de flujo primario.

Opcionalmente, la etapa de pasar el medio fluido a través del paso de flujo primario incluye:

- 15 pasar el medio fluido a través del paso de flujo primario y un paso de flujo secundario que se extiende lateralmente desde el paso de flujo primario; y

aumentar la contracción térmica del mandril de herramienta cambiando una de una ubicación y una zona de paso en sección transversal de uno del paso de flujo primario y el paso de flujo secundario.

Opcionalmente, el método incluye, además:

- 20 pasar el medio fluido a través del paso de flujo secundario que se extiende desde el paso de flujo primario hacia un vértice del mandril de herramienta.

Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) incluye:

pasar un medio fluido a través de un canal de flujo de fluido acoplando de manera fluida dos o más pasos de flujo primarios del mandril de herramienta.

- 25 Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

introducir un medio fluido a una red de paso de fluido en un primer extremo de mandril; y

descargar el medio fluido desde la red de paso de fluido en el primer extremo de mandril.

Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

introducir un medio fluido a una red de paso de fluido en un primer extremo de mandril; y

- 30 descargar el medio fluido desde la red de paso de fluido en un segundo extremo de mandril opuesto al primer extremo de mandril.

Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

pasar al mandril de herramienta (300) un medio fluido que tiene una temperatura más baja que una temperatura del mandril de herramienta.

- 35 Opcionalmente, la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta incluye:

pasar un medio fluido al mandril de herramienta después de que se haya procesado la estructura laminada compuesta.

Opcionalmente, la etapa de romper la fricción de gran adhesión entre el mandril de herramienta y la cavidad de estructura laminada compuesta incluye:

- 40 producir un hueco de vértice entre un vértice del mandril de herramienta y un radio interior de la cavidad de estructura laminada compuesta.

Opcionalmente, la etapa de producir el hueco de vértice incluye:

contraer térmicamente el vértice en una cantidad mayor que una parte sin vértice del mandril de herramienta.

Opcionalmente, el método incluye, además:

extraer el mandril de herramienta de la cavidad de estructura laminada compuesta.

REIVINDICACIONES

1. Mandril de herramienta (300) para fabricar una estructura compuesta (100) que tiene una cavidad (130), que comprende:
un cuerpo de mandril (302) para una cavidad de estructura laminada compuesta (130);
- 5 una red de paso de fluido (326) formada dentro del cuerpo de mandril (302) para pasar un medio fluido (400) a través del cuerpo de mandril (302); y
teniendo la red de paso de fluido (326) una zona de paso en sección transversal (328) conformada para fomentar la conductividad térmica entre el medio fluido (400) y el mandril de herramienta (300) y provocar un cambio en una forma de mandril en sección transversal (306) para facilitar la retirada del mandril de herramienta (300) de la cavidad de estructura laminada compuesta (130); y
- 10 en el que:
la red de paso de fluido (326) incluye al menos dos pasos de flujo primarios (330) configurados para que el medio fluido (400) en uno de los pasos de flujo primarios (330) fluya a lo largo de una dirección opuesta al medio fluido (400) en otro de los pasos de flujo primarios (330).
- 15 2. Mandril de herramienta (300) según la reivindicación 1, en el que:
la red de paso de fluido (326) incluye un paso de flujo primario (330) situado próximo a uno de un vértice (310) y una parte central (320) del mandril de herramienta (300).
3. Mandril de herramienta (300) según la reivindicación 2, que comprende, además:
un paso de flujo secundario (332) en comunicación fluida con el paso de flujo primario (330); y
- 20 extendiéndose el paso de flujo secundario (332) desde el paso de flujo primario (330) hacia el vértice (310) del mandril de herramienta (300).
4. Mandril de herramienta (300) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la red de paso de fluido (326) incluye:
un par de pasos de flujo primarios (330), estando situado cada uno de los pasos de flujo primarios (330) próximo a un vértice (310) del mandril de herramienta (300); y
- 25 acoplado de manera fluida un canal de flujo de fluido (350) el par de pasos de flujo primarios (330).
5. Mandril de herramienta (300) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además:
una interfaz de fluido (410) montada sobre un primer extremo de mandril (322) del cuerpo de mandril (302) y configurada para proporcionar fluido a la red de paso de fluido (326) y descargar fluido desde la red de paso de fluido (326).
- 30 6. Mandril de herramienta (300) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende, además:
una interfaz de fluido (410) situada en cada uno de un primer extremo de mandril (322) y un segundo extremo de mandril (324) del cuerpo de mandril (302);
la interfaz de fluido (410) en el primer extremo de mandril (322) configurada para proporcionar el medio fluido (400) a la red de paso de fluido (326); y
- 35 la interfaz de fluido (410) en el segundo extremo de mandril (324) configurada para descargar el medio fluido (400) desde la red de paso de fluido (326).
7. Mandril de herramienta (300) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
el medio fluido (400) se configura o se dispone para enfriar el cuerpo de mandril (302) provocando la contracción térmica de la forma de mandril en sección transversal (306) y/o para calentar (206) el mandril de herramienta (300) provocando la expansión térmica de la forma de mandril en sección transversal (306).
- 40 8. Método de extracción de un mandril de herramienta (300) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, de una cavidad de estructura laminada compuesta (130), que comprende las etapas de:
procesar una estructura laminada compuesta (118) que tiene un mandril de herramienta (300) situado en una cavidad de estructura laminada compuesta (130);
- 45 controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300); y

romper la fricción de gran adhesión entre el mandril de herramienta (300) y la cavidad de estructura laminada compuesta (130) en respuesta a controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300);

fluyendo un medio fluido en uno de los pasos de flujo primarios en una dirección y fluyendo un medio fluido en otro de los pasos de flujo primarios en una dirección opuesta.

- 5 9. Método según la reivindicación 8, en el que la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) incluye:

pasar un medio fluido (400) a través de una red de paso de fluido (326) del mandril de herramienta (300); y

transferir calor (206) desde el mandril de herramienta (300) hasta el medio fluido (400) para provocar la contracción térmica del mandril de herramienta (300).
- 10 10. Método según la reivindicación 8 o 9, en el que la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) incluye:

pasar un medio fluido (400) a través de un paso de flujo primario (330) situado próximo a uno de una parte central (320) y un vértice (310) del mandril de herramienta (300).
- 15 11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) incluye:

pasar un medio fluido (400) a través de un paso de flujo primario (330) del mandril de herramienta (300); y

aumentar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) cambiando una de una ubicación y una zona de paso en sección transversal (328) del paso de flujo primario (330).
- 20 12. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) incluye:

pasar al mandril de herramienta (300) un medio fluido (400) que tiene una temperatura más baja que una temperatura del mandril de herramienta (300).
13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que la etapa de controlar la contracción térmica del mandril de herramienta (300) incluye:
- 25 pasar un medio fluido (400) al mandril de herramienta (300) después de que se haya procesado la estructura laminada compuesta (118).
14. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que la etapa de romper la fricción de gran adhesión entre el mandril de herramienta (300) y la cavidad de estructura laminada compuesta (130) incluye:
- 30 producir un hueco de vértice (312) entre un vértice (310) del mandril de herramienta (300) y un radio interior (132) de la cavidad de estructura laminada compuesta (130).

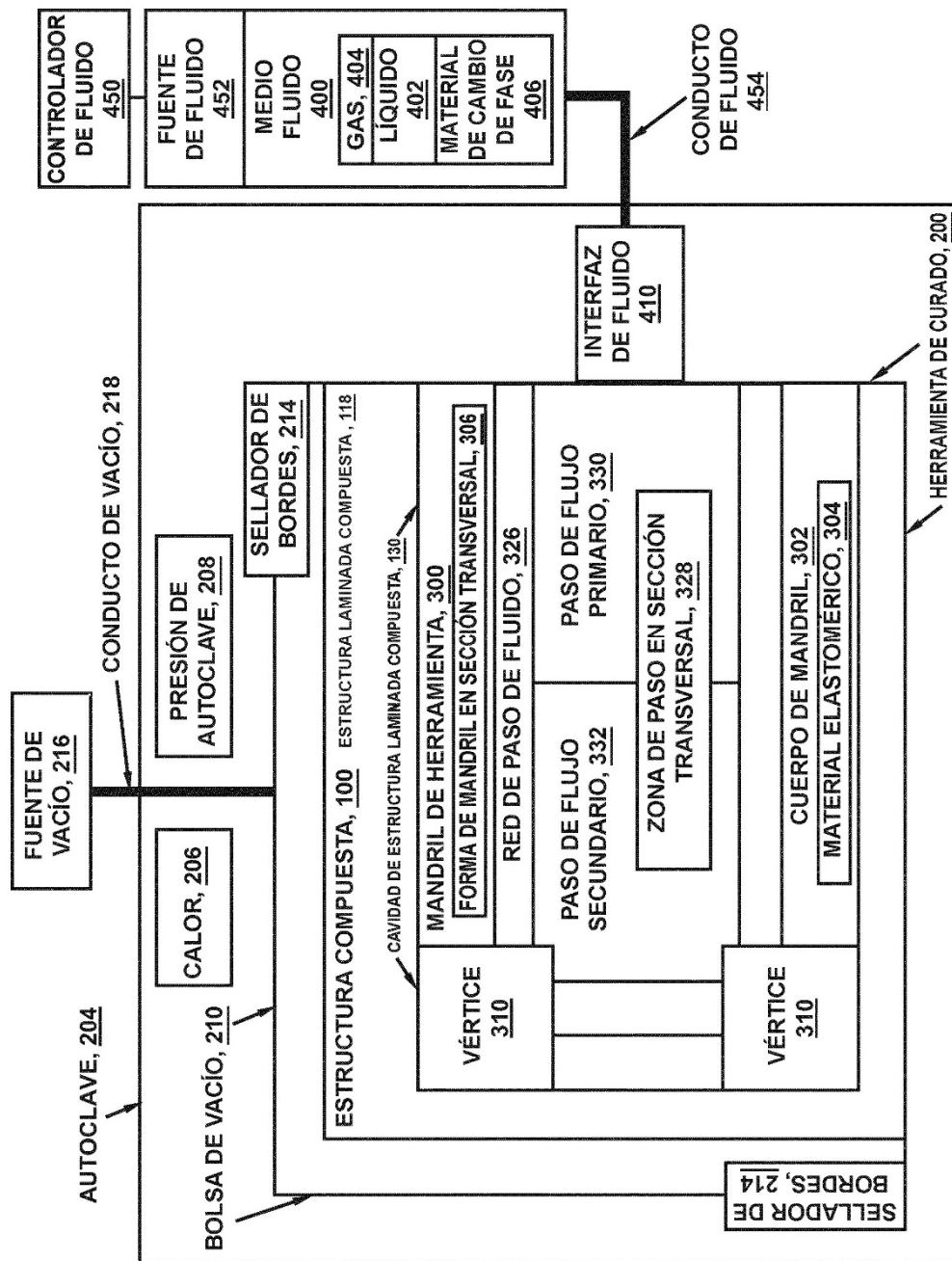


FIG. 1

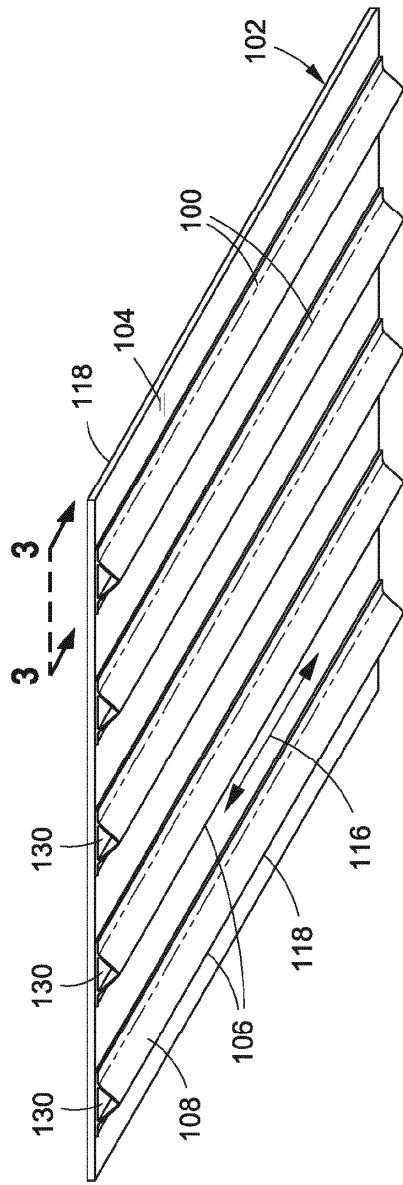


FIG. 2

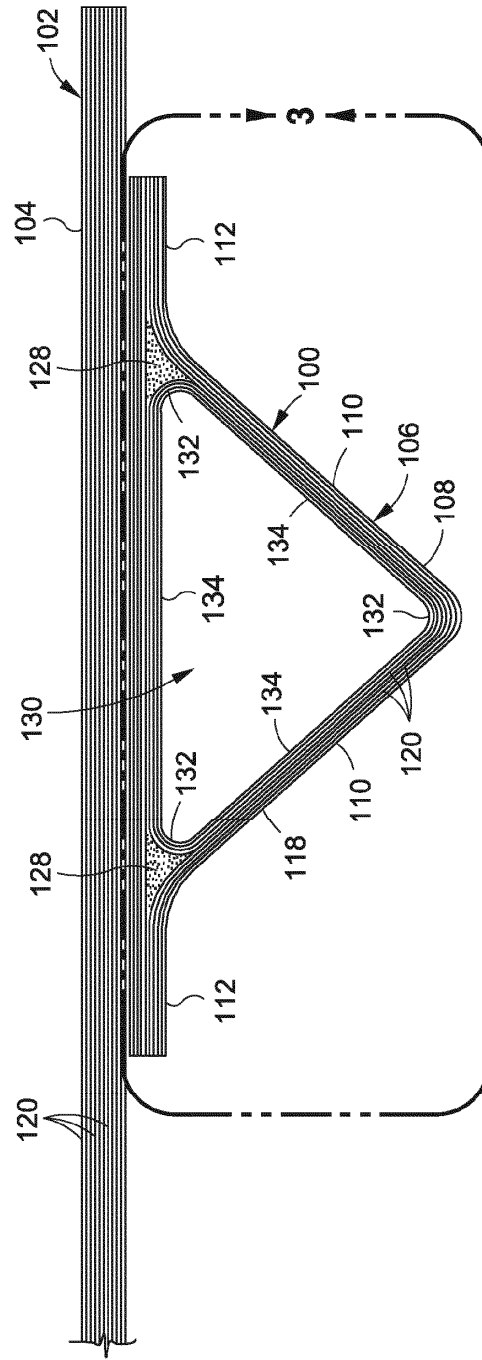


FIG. 3

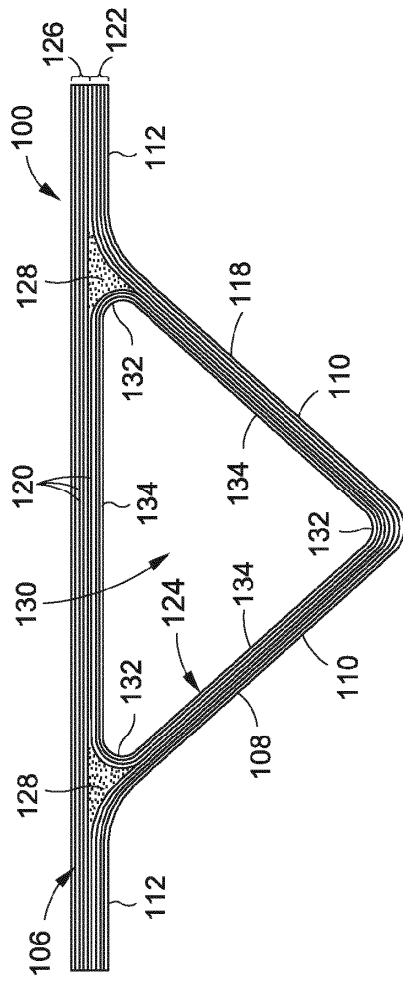


FIG. 4

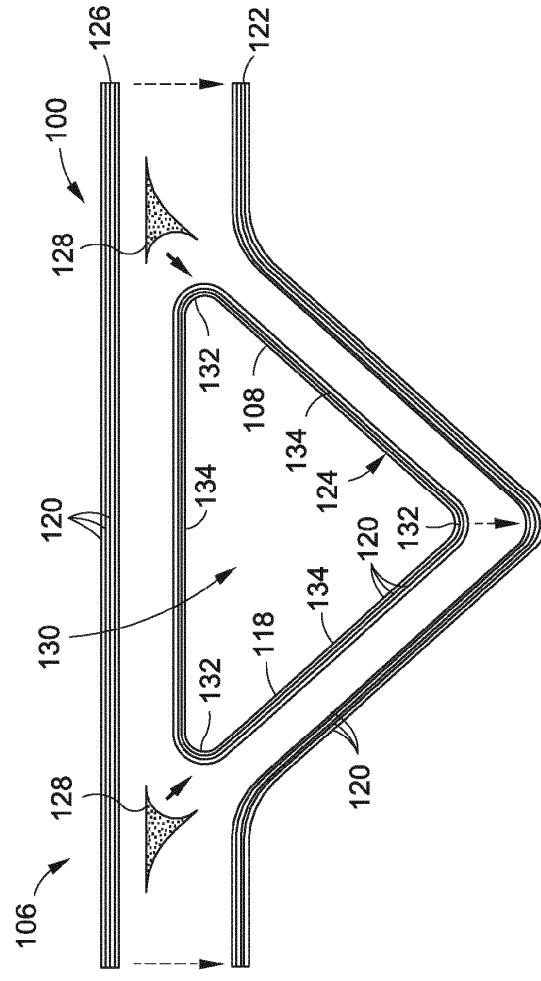


FIG. 5

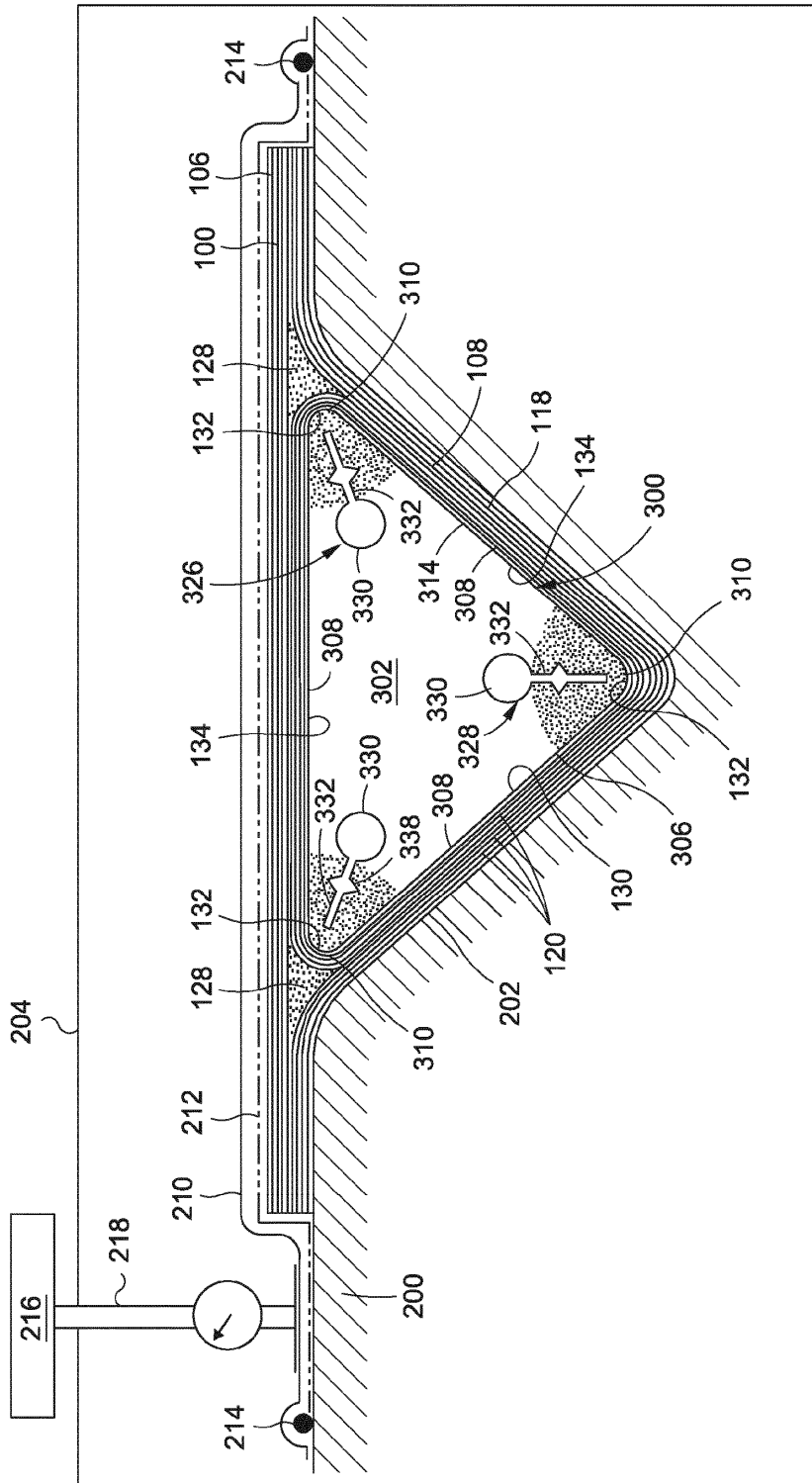
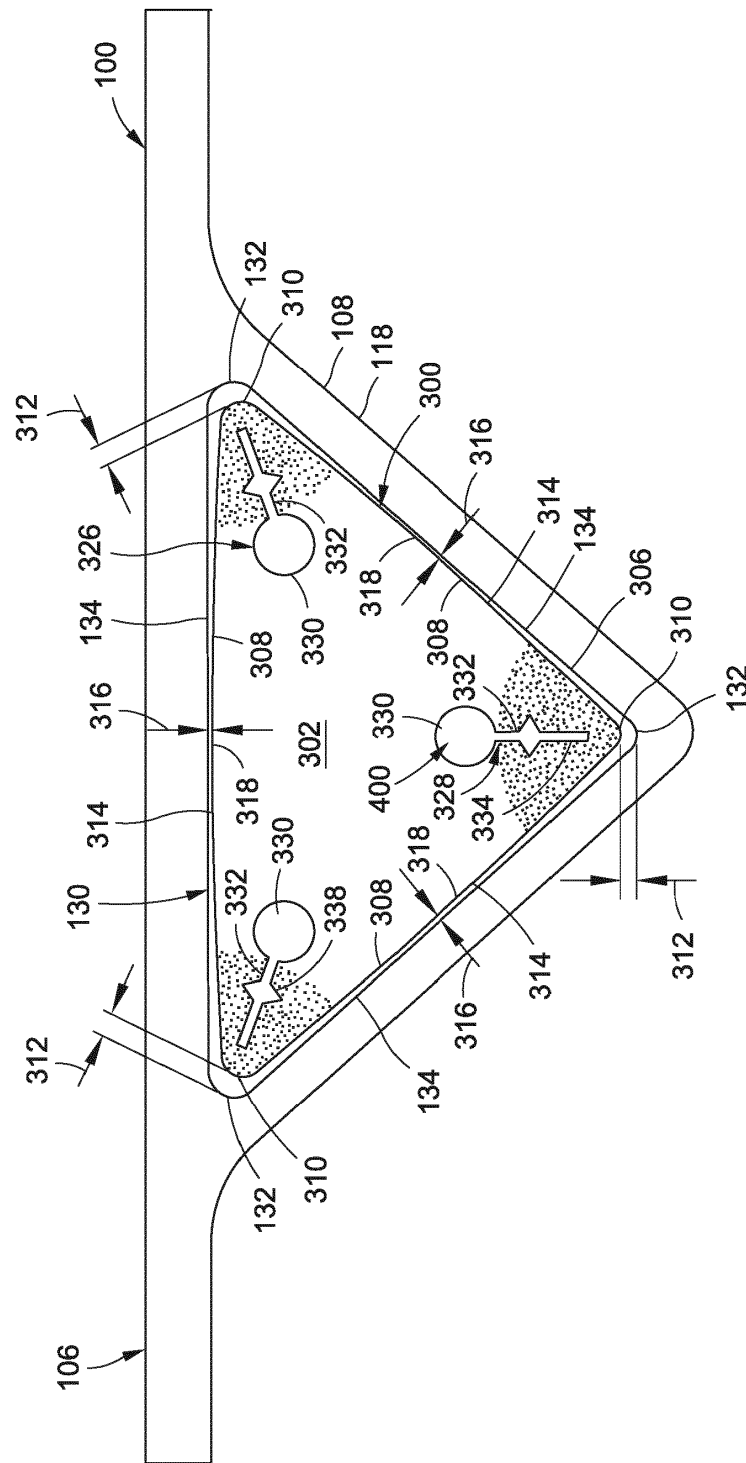
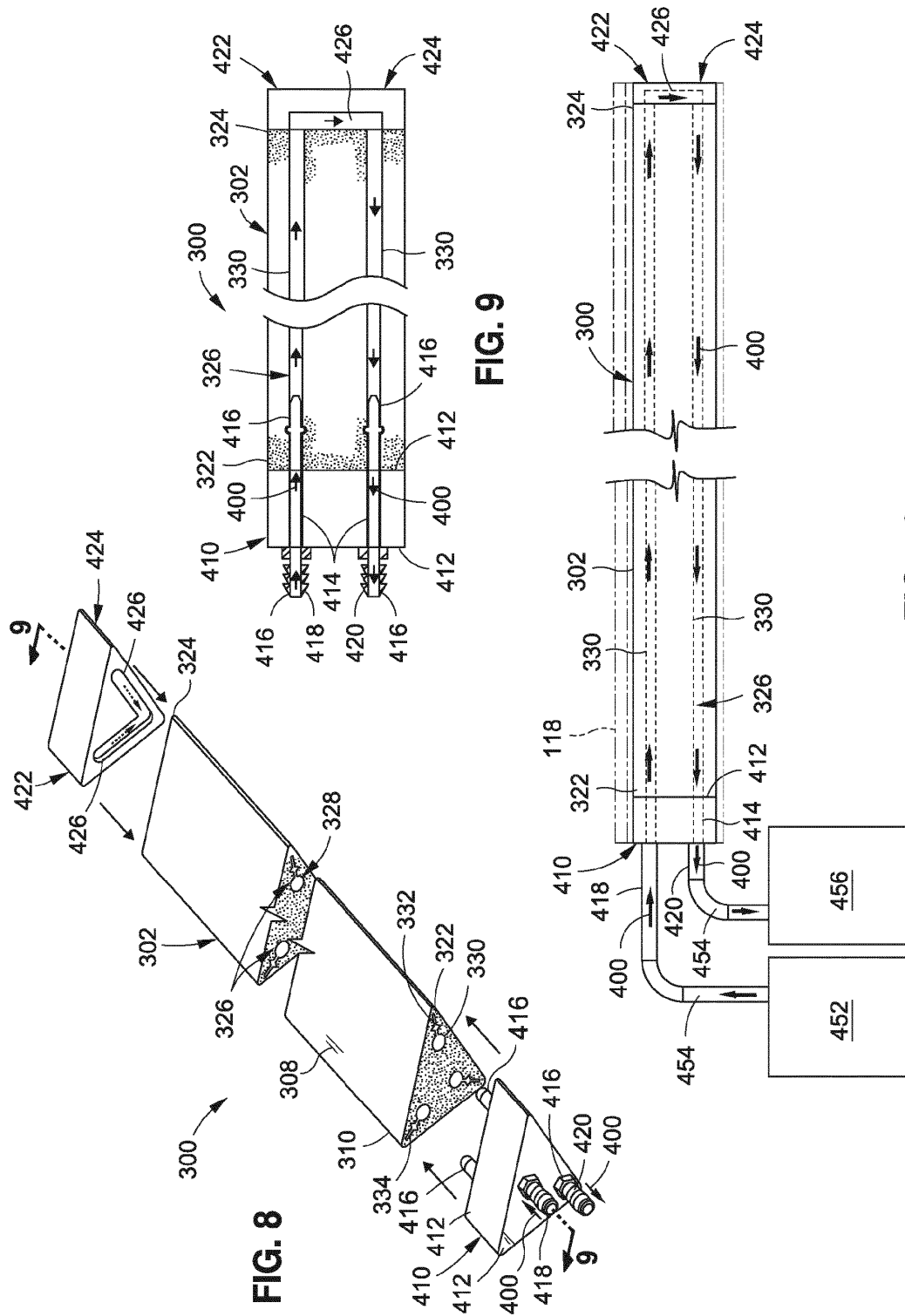


FIG. 6

**Fig. 7**



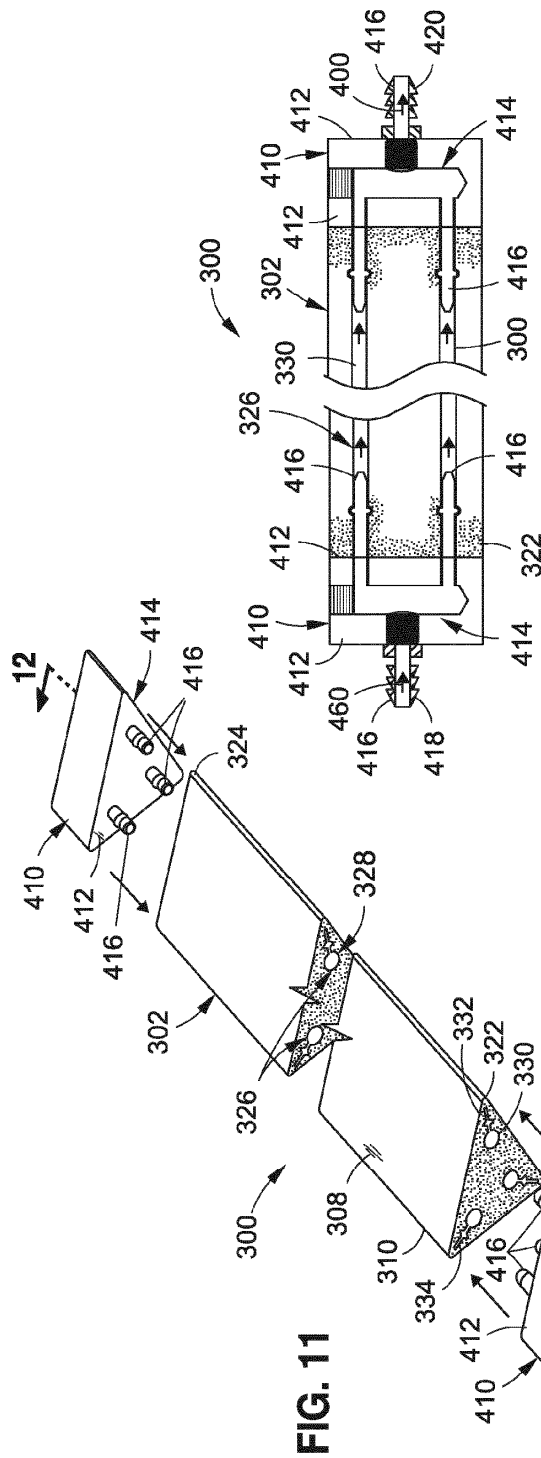


FIG. 1

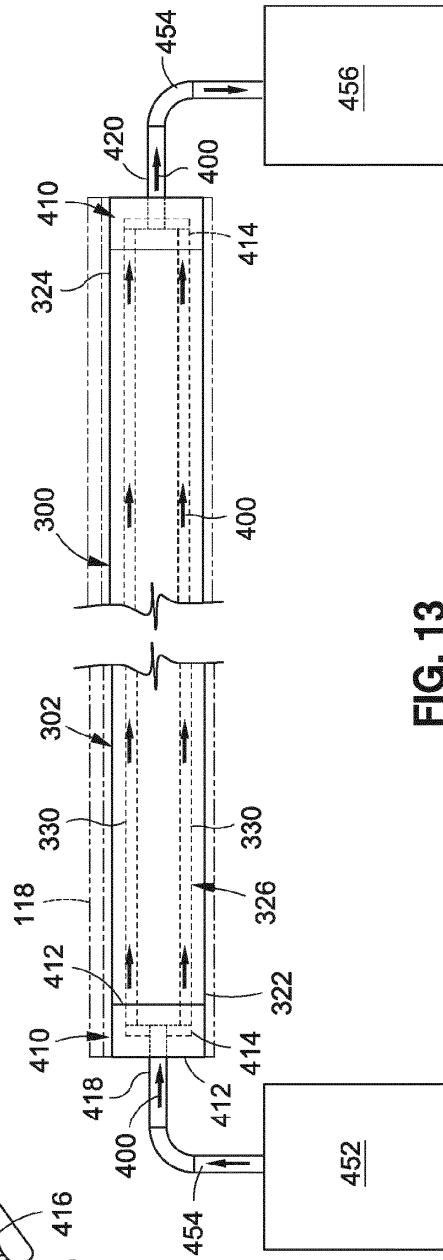
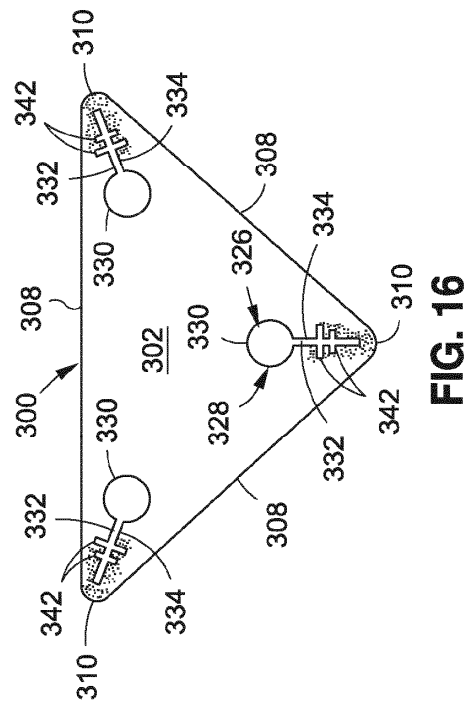
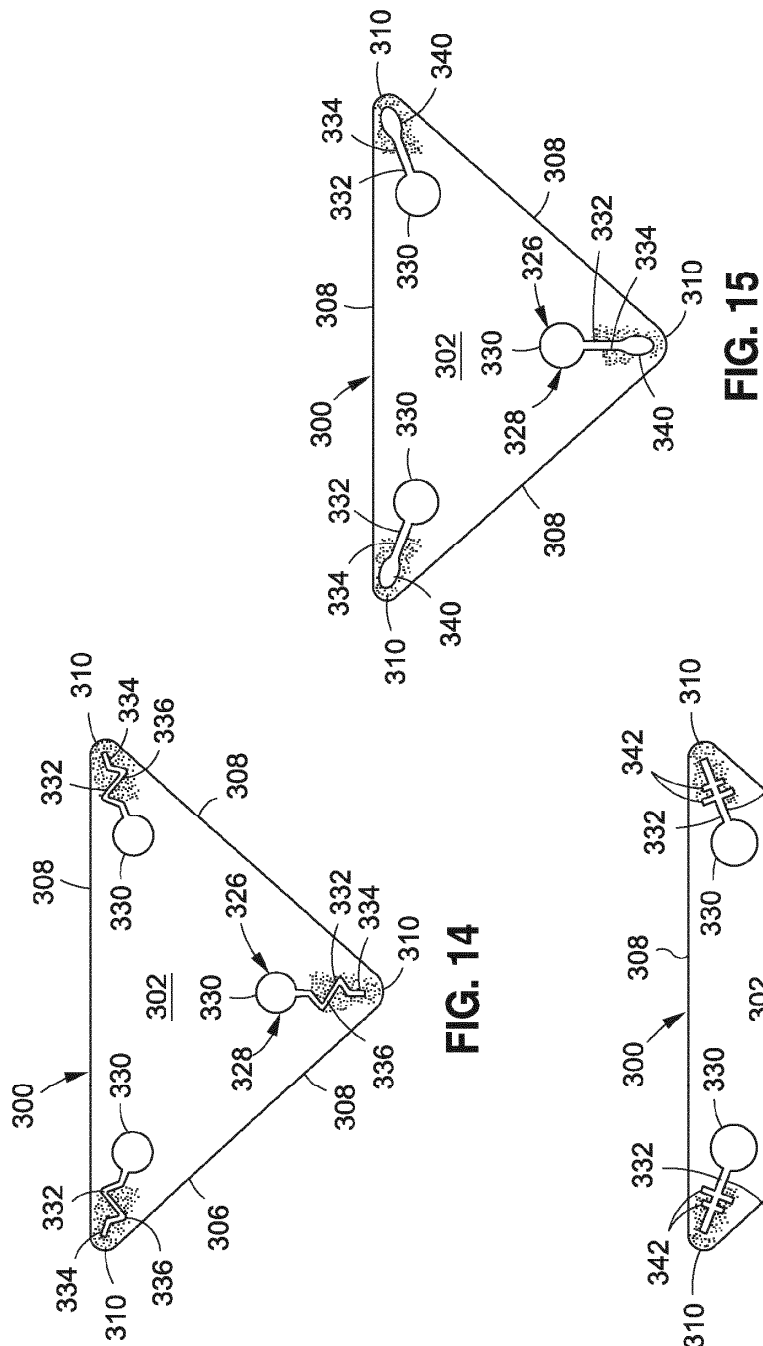


FIG. 13



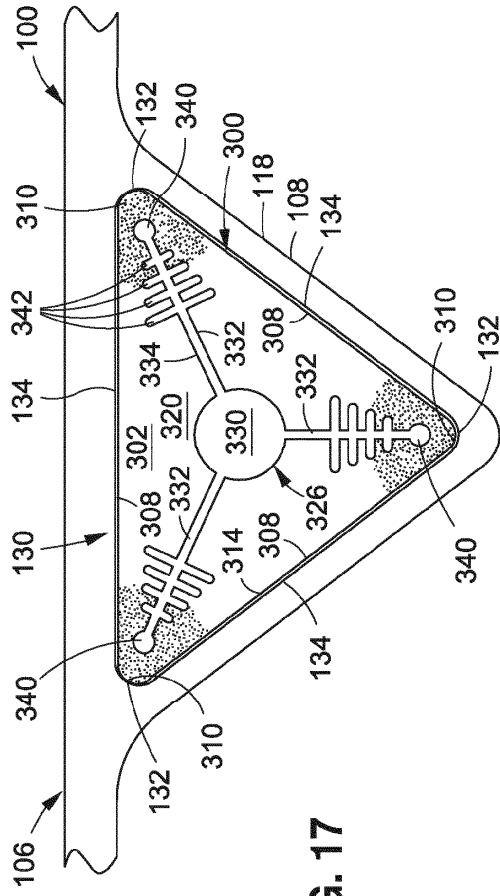


FIG. 17

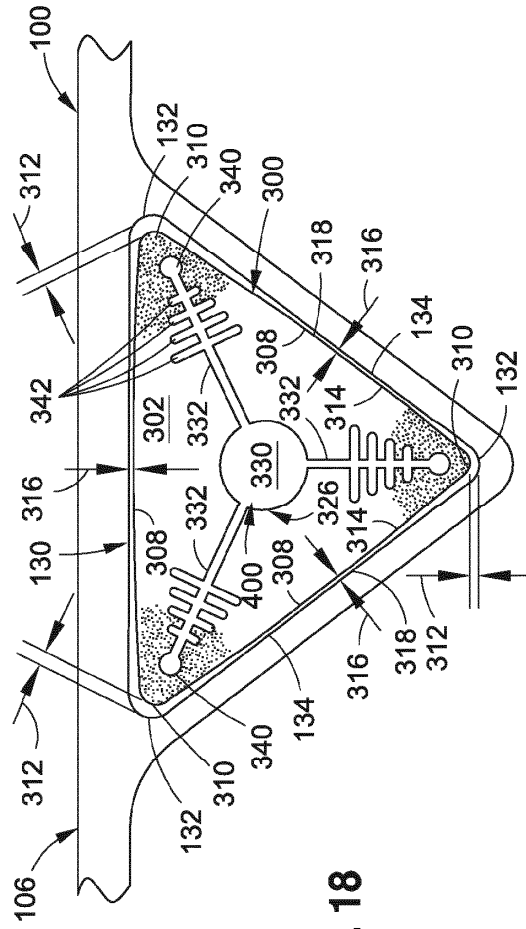


FIG. 18

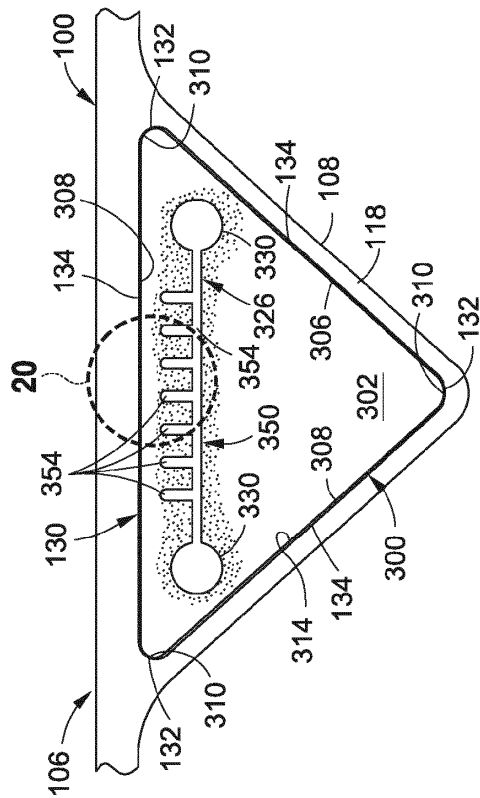


FIG. 19

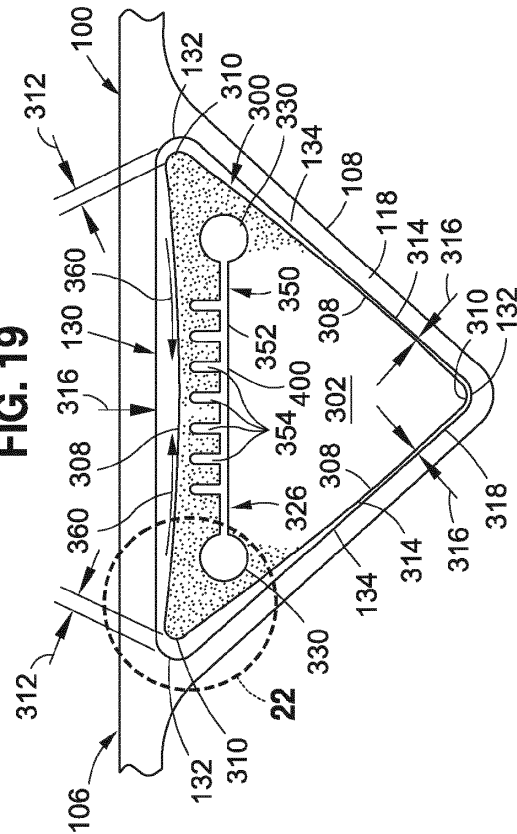


FIG. 21

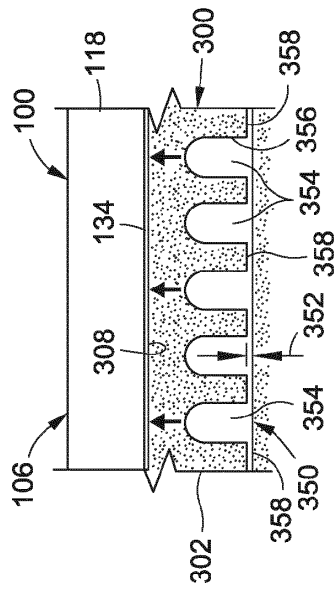


FIG. 20

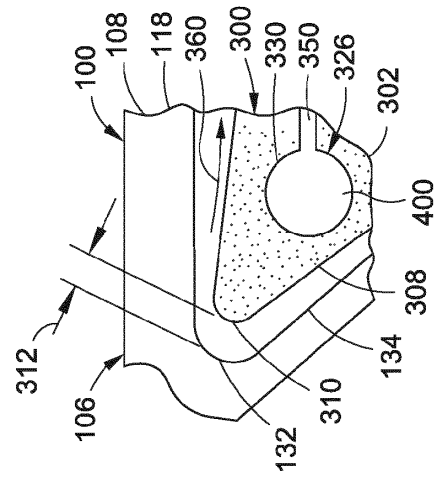


FIG. 22

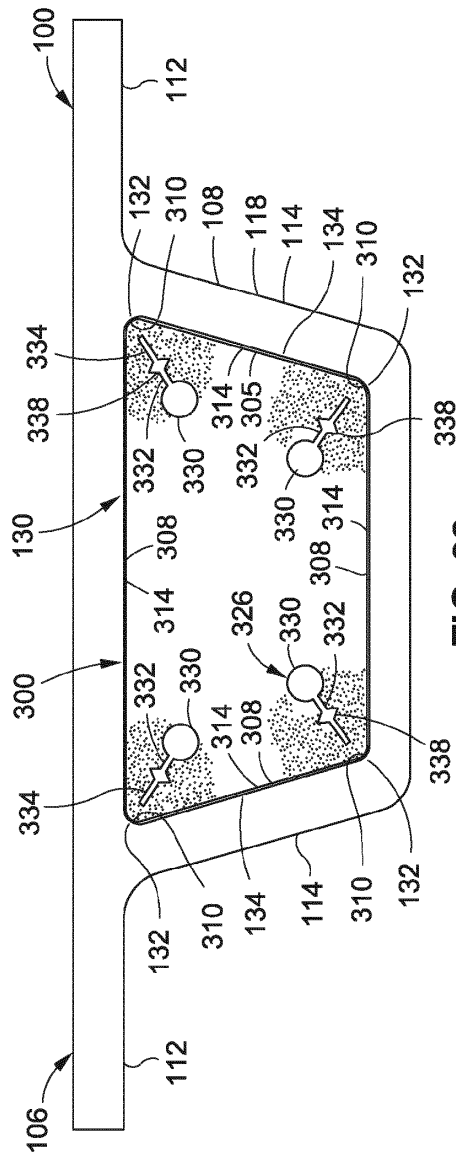


FIG. 23

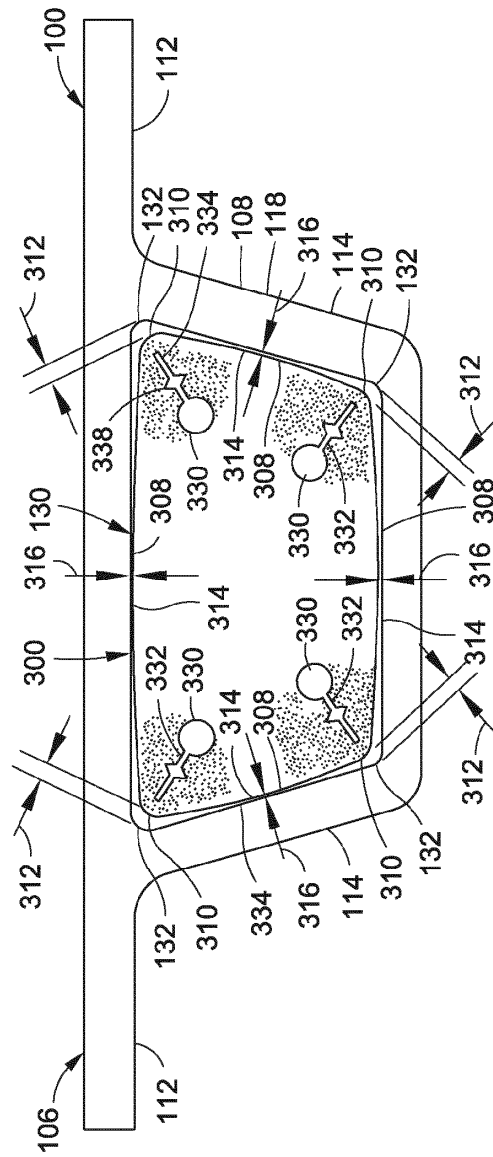


FIG. 24

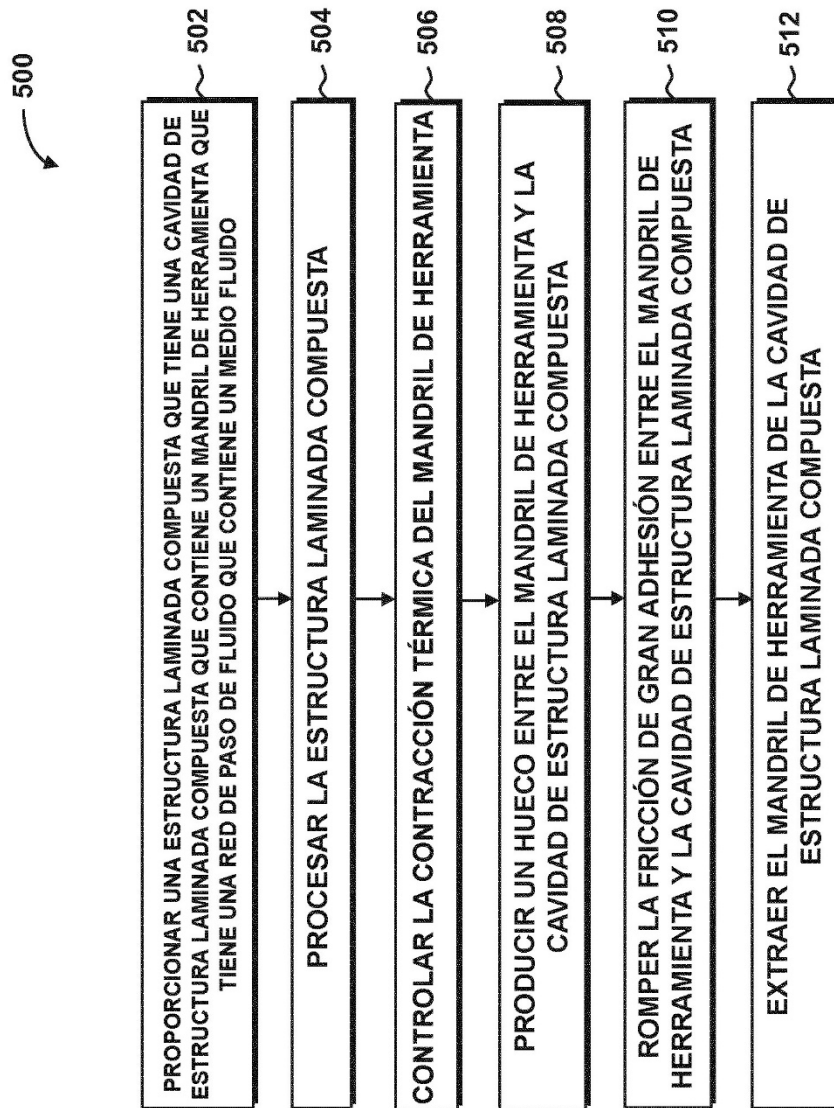


FIG. 25

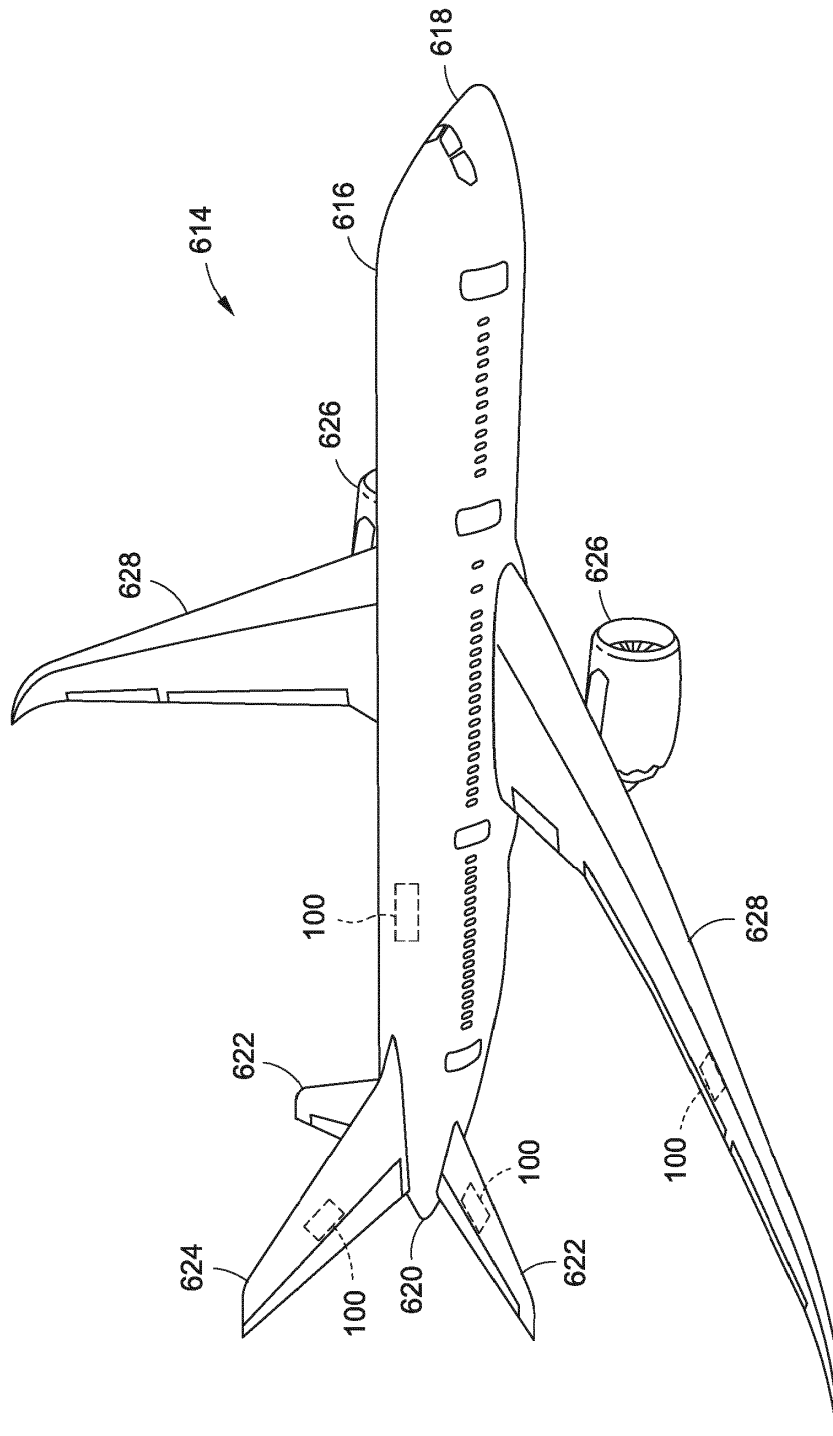


FIG. 26

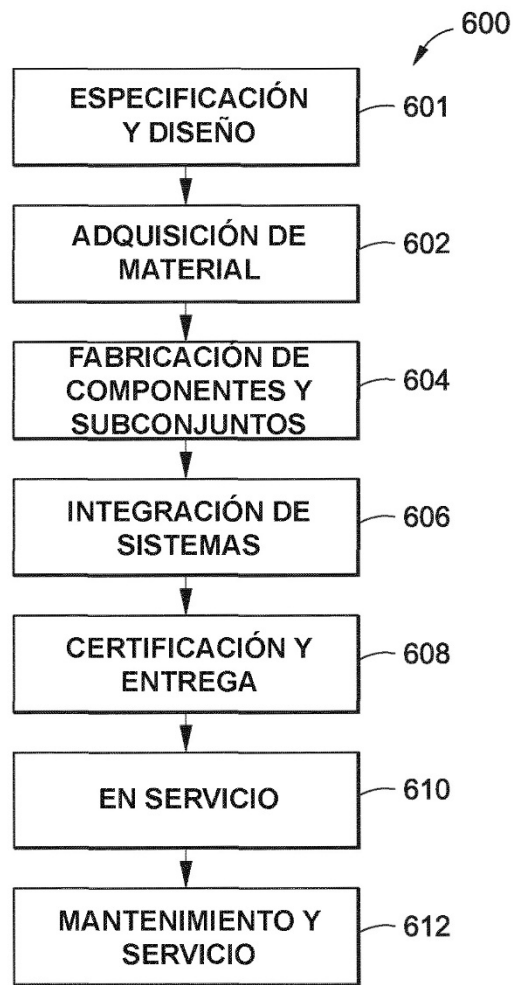


FIG. 27

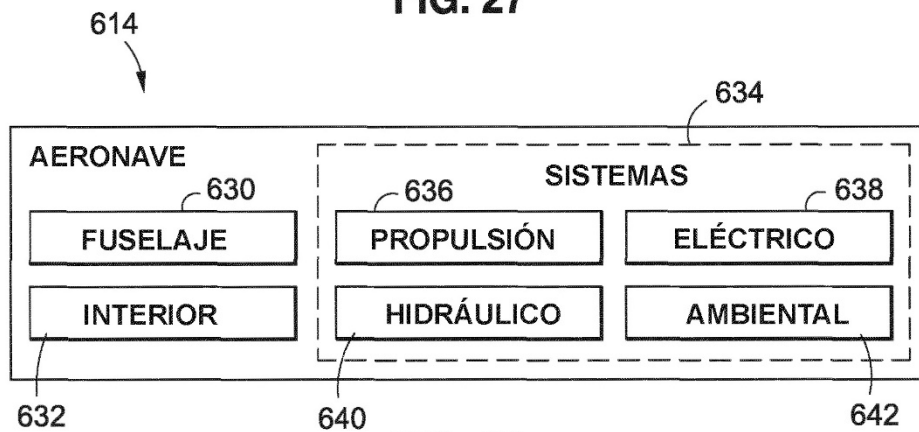


FIG. 28