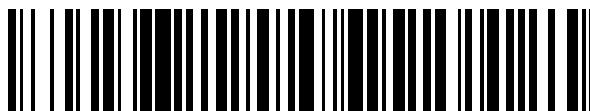


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 880**

51 Int. Cl.:

B29C 33/00 (2006.01)

B29C 37/00 (2006.01)

B29C 70/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2016 E 16180098 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 3153289**

54 Título: **Método para curar un artículo compuesto utilizando vacío diferencial**

30 Prioridad:

06.10.2015 US 201514876715

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

10.10.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ANDERSON, MICHAEL R. y
ZENKNER, GRANT C.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 726 880 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para curar un artículo compuesto utilizando vacío diferencial

Campo

5 La presente divulgación se refiere en general a la fabricación de artículos compuestos y, más particularmente, a un método para curar una estructura de material compuesto en un proceso fuera de autoclave.

Antecedentes

10 La fabricación de artículos compuestos reforzados con fibra puede incluir la colocación de capas compuestas sobre una herramienta de conformación para formar una estructura de material compuesto. Se puede aplicar calor y presión a la estructura de material compuesto para consolidar y curar la estructura de material compuesto en un artículo compuesto curado. Los métodos convencionales para curar una estructura de material compuesto pueden implicar el uso de un autoclave para proporcionar calor y presión de compactación a la estructura de material compuesto para lograr las propiedades mecánicas deseadas en el artículo de material compuesto curado. La aplicación de presión de compactación puede facilitar la evacuación de la humedad, el aire y/o los compuestos volátiles atrapados durante la consolidación y el curado, de modo que se puede lograr una baja porosidad y una alta resistencia en el artículo compuesto curado.

20 Desafortunadamente, el uso de un autoclave para fabricar un artículo compuesto puede requerir períodos prolongados de tiempo para calentar la estructura compuesta a las temperaturas de curado y consolidación requeridas y períodos prolongados para enfriar la estructura compuesta a temperatura ambiente después del curado. La cantidad de tiempo requerido para procesar y curar una estructura compuesta en un autoclave puede ser prohibitiva para los programas de producción a gran escala que requieren altas tasas de producción parcial. Además, los autoclaves son generalmente costosos de construir y operar. Además, el tamaño interno de un autoclave puede representar un límite superior en el tamaño de una estructura compuesta que se puede procesar. Un inconveniente adicional asociado con los autoclaves es que una parte de la humedad, el aire y/o los volátiles pueden permanecer dentro de la estructura del material compuesto después del curado.

25 El procesamiento de doble bolsa de vacío permite la consolidación y el curado de una estructura de material compuesto sin la necesidad de un autoclave. En algunos ejemplos, un sistema de bolsa de doble vacío puede incluir bolsas de vacío internas y externas aplicadas sobre una estructura de material compuesto y selladas a un mandril de plataforma, herramienta de curado o herramienta de formación. Se puede usar una cubierta exterior para reemplazar la bolsa de vacío externa para encerrar la bolsa de vacío interior con la cubierta y la bolsa interna selladas a la herramienta de formación. El conjunto de bolsa de doble vacío se puede instalar en un horno para calentar la estructura de material compuesto. Debido a que el procesamiento de la doble bolsa de vacío utiliza solo la presión de vacío para consolidar y eliminar la humedad, el aire y/o los volátiles de una estructura de material compuesto, la presión de compactación en la estructura de material compuesto puede ser menor que la presión de compactación disponible en un autoclave. La dependencia de la presión de vacío para consolidar la disposición de material compuesto significa que se requiere un sello de cámara de bolsa interna efectivo entre la bolsa de vacío y la herramienta de formación para garantizar la calidad del artículo compuesto curado. Cualquier fuga en el sello de la cámara interior de la bolsa entre las bolsas de vacío interna y externa y la herramienta de formación durante la consolidación y/o el curado puede reducir la cantidad de presión de compactación que se puede aplicar a la estructura de material compuesto durante el curado. Además, las fugas en el sello interno de la cámara de la bolsa pueden introducir aire y porosidad en la estructura del compuesto durante el curado.

El documento US 2011/0146906 A1 muestra el procesamiento de doble curado al vacío de piezas compuestas.

Como puede verse, existe una necesidad en la técnica de un método para asegurar la integridad y la eficacia de un sello interno de la cámara de la bolsa durante el curado de una estructura de material compuesto en un proceso de curado de doble bolsa de vacío.

45 Resumen

Las necesidades mencionadas anteriormente asociadas con el curado de capas compuestas se abordan y resuelven específicamente mediante la presente divulgación.

50 Se proporciona un método para evitar la fuga de un sello de cámara de bolsa interna de una bolsa de vacío durante el curado de una estructura de material compuesto, que comprende: aplicar una presión de vacío de bolsa interna a una cámara de bolsa interna y una presión de vacío externa a una cámara de vacío externa, estando formada la cámara interior de la bolsa por una bolsa de vacío que cubre la estructura de material compuesto, y sellada a una herramienta de formación, la presión de vacío de la bolsa interna no es inferior a la presión de vacío externa; aumentar la temperatura de una estructura compuesta a una temperatura elevada para iniciar un período de mantenimiento de la temperatura; ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera para iniciar un período de ventilación de la cámara de vacío externa durante el período de mantenimiento de la temperatura; aplicar presión de compactación al sello de la cámara de la bolsa interna durante el período de ventilación de la cámara de vacío externa; y volver a aplicar la

presión de vacío externa a la cámara de vacío externa para terminar el período de ventilación de la cámara de vacío externa.

5 La presente divulgación proporciona además un método para curar un revestimiento compuesto utilizando un proceso de curado de una etapa. El método puede incluir aplicar una presión de vacío de bolsa interna a una cámara de bolsa interna y una presión de vacío externa a una cámara de vacío externa. Una bolsa de vacío que cubre una estructura de material compuesto puede sellarse a una herramienta de formación con un sello interno de la cámara de la bolsa para formar la cámara de la bolsa interna. La presión de vacío de la bolsa interna no puede ser inferior a la presión de vacío externa. El método puede incluir aumentar la temperatura de la estructura compuesta a una temperatura elevada para iniciar un período de mantenimiento de la temperatura. El método puede incluir adicionalmente ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera para iniciar un período de ventilación de la cámara de vacío externa durante el período de mantenimiento de la temperatura, y aplicar presión de compactación al sello de la cámara de la bolsa interna durante el período de ventilación de la cámara de vacío externa. El método puede incluir además volver a aplicar la presión de vacío externa a la cámara de vacío externa para terminar el período de ventilación de la cámara de vacío externa. La evacuación de humedad, aire y/o volátiles de la estructura de material compuesto puede continuar durante todo el ciclo de curado de una etapa.

10 También se describe un método para fabricar un artículo compuesto que utiliza un proceso de curado de dos etapas que puede comprender embolsar una estructura de material compuesto debajo de una cámara de bolsa interna de vacío sellada a una herramienta de formación con un sello de cámara de bolsa interna para formar una cámara de bolsa interna. El método puede incluir adicionalmente sellar una cubierta rígida a la herramienta de formación de modo que la cubierta cubra la bolsa de vacío para formar una cámara de vacío externa, y aplicar una presión de vacío de bolsa interna a la cámara de bolsa interna y una presión de vacío externa a la cámara de vacío externa. La presión de vacío de la bolsa interna no puede ser inferior a la presión de vacío externa. El método puede incluir además aumentar la temperatura de la estructura de material compuesto a una temperatura intermedia para iniciar un período de retención de temperatura intermedia, y extraer humedad, aire y/o volátiles de la estructura de material compuesto hacia un puerto de vacío de la bolsa durante el período de retención de temperatura intermedia.

15 El método también puede incluir ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera para iniciar un período de ventilación de la cámara de vacío externa durante el período de mantenimiento de la temperatura intermedia, y aplicar presión de compactación al sello de la cámara de la bolsa interna durante el período de ventilación de la cámara de vacío externa. Además, el método puede incluir volver a aplicar la presión de vacío externa a la cámara de vacío externa para terminar el período de ventilación de la cámara de vacío externa y continuar eliminando la humedad, el aire y/o los volátiles de la estructura de material compuesto durante el período de mantenimiento de temperatura intermedia. El método puede incluir volver a ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera mientras se mantiene la presión de vacío de la bolsa interna en la cámara de bolsa interna, y aplicar la presión de compactación de la bolsa de vacío contra la estructura de material compuesto en respuesta a la ventilación de la cámara de vacío externa a la atmósfera. Para consolidar la estructura compuesta. El método puede incluir además aumentar la temperatura de la estructura de material compuesto desde la temperatura intermedia hasta una temperatura de curado para iniciar un período de mantenimiento de la temperatura de curado para curar la estructura de material compuesto. La evacuación de humedad, aire y/o volátiles de la estructura de material compuesto puede continuar durante todo el ciclo de curado de dos etapas.

20 En un ejemplo adicional, se describe un método para fabricar un artículo compuesto que comprende embolsar una estructura de material compuesto debajo de una cámara de bolsa interna de vacío sellada a una herramienta de formación con un sello de cámara de bolsa interna para formar una cámara de bolsa interna definida como el espacio entre la bolsa de vacío y la herramienta formadora. El método también puede incluir sellar una cubierta rígida a la herramienta de formación de modo que la cubierta cubra la bolsa de vacío y forme una cámara de vacío externa definida como el espacio entre la bolsa de vacío y la cubierta. Se puede aplicar una presión de vacío de la bolsa interna a la cámara de la bolsa interna a un nivel no mayor que la presión de vacío externa aplicada a la cámara de vacío externa. El método puede incluir calentar la estructura compuesta a una temperatura intermedia para iniciar un período de mantenimiento de temperatura intermedia, y extracción de humedad, aire y/o volátiles de la estructura de material compuesto hacia un puerto de vacío de la bolsa durante el período de retención de temperatura intermedia.

25 El método puede incluir además ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera para iniciar un período de ventilación de la cámara de vacío externa durante el período de mantenimiento de la temperatura intermedia, mientras se aplica presión de compactación al sello de la cámara de la bolsa interna durante el período de ventilación de la cámara de vacío externa. El período de ventilación de la cámara de vacío externa se puede terminar volviendo a aplicar la presión de vacío externa a la cámara de vacío externa para continuar o reanudar la eliminación de humedad, aire y/o volátiles de la estructura de material compuesto durante el período de mantenimiento de temperatura intermedia. El método puede incluir adicionalmente ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera al finalizar el período de mantenimiento de la temperatura intermedia mientras se mantiene la presión de vacío de la bolsa interna en la cámara de la bolsa interna, y aplicar presión de compactación sobre la estructura de material compuesto en respuesta a la evacuación de la cámara de vacío externa a la atmósfera para consolidar la estructura de material compuesto. La temperatura de la estructura de material compuesto puede incrementarse desde la temperatura intermedia hasta una temperatura de curado para iniciar un período de mantenimiento de la temperatura de curado. El método puede incluir mantener la presión de compactación en la estructura de material compuesto durante el

período de mantenimiento de la temperatura de curado hasta que la estructura de material compuesto se cure para formar un artículo compuesto curado.

Breve descripción de los dibujos

5 Estas y otras características de la presente divulgación se harán más evidentes al hacer referencia a los dibujos en los que los números similares se refieren a partes similares en todas partes y en donde:

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de bolsa de doble vacío para consolidar y curar una estructura de material compuesto;

La Figura 2 es una ilustración en vista lateral de un ejemplo de un sistema de doble bolsa de vacío;

10 La Figura 3 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método para curar una estructura compuesta en un proceso de una etapa;

La Figura 4 es una ilustración de un gráfico de temperatura, tiempo y presión de vacío en un ejemplo de un proceso de una etapa de curado de una estructura de material compuesto;

La Figura 5 es una ilustración en vista lateral de un artículo compuesto curado que tiene un espesor de artículo curado;

15 La Figura 6 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método para curar una estructura compuesta en un proceso de dos etapas;

La Figura 7 es una ilustración de un gráfico de temperatura, tiempo y presión de vacío en un ejemplo de un proceso de dos etapas para curar una estructura compuesta;

La Figura 8 es una ilustración de una aeronave que incluye uno o más artículos compuestos que pueden fabricarse usando uno o más ejemplos de los métodos descritos en este documento;

20 La Figura 9 es una ilustración de un diagrama de flujo de una metodología de producción y servicio de aeronaves; y

La Figura 10 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada

Haciendo referencia ahora a los dibujos en los que las presentaciones tienen el propósito de ilustrar diversas realizaciones de la presente divulgación, en la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques de un de doble bolsa de vacío que puede implementarse para consolidar y curar una estructura 106 de material compuesto en una herramienta de conformación, mandril de laminación, o herramienta de curado, a la que se hace referencia colectivamente en este documento como una herramienta 104 de conformación. El sistema 100 de doble bolsa de vacío puede incluir una bolsa 150 de vacío relativamente flexible que se puede aplicar sobre una estructura 106 de material compuesto compuesta de fibra material de matriz de polímero reforzado (no mostrado). Se pueden incluir uno o más termopares 122 con el sistema 100 de doble bolsa de vacío (por ejemplo, montado en la estructura de material compuesto) para controlar la temperatura de la estructura 106 de material compuesto durante la consolidación y el curado. La bolsa 150 de vacío puede incluir un perímetro 160 de bolsa (Figura 2) que puede sellarse a la herramienta 104 de conformación utilizando un sello 158 de cámara de bolsa interna para formar una cámara 166 de bolsa interna que puede definirse como el espacio entre la bolsa 150 de vacío y la herramienta 104 de conformación. La cámara 166 de bolsa interna se puede acoplar a una fuente 154 de vacío de bolsa a través de un puerto 152 de vacío de bolsa. La fuente 154 de vacío de bolsa puede configurarse para aplicar una presión 156 de vacío de bolsa interna a la cámara 166 de bolsa interna.

Haciendo referencia todavía a la Figura 1, el sistema de doble bolsa de vacío puede incluir adicionalmente una cubierta 180 relativamente rígida que puede cubrir la bolsa 150 de vacío. La cubierta 180 puede incluir un perímetro 190 de cubierta (Figura 2) que puede ser sellado a la herramienta 104 de conformación utilizando un sello 188 de protección para formar una cámara 194 exterior de vacío. La cámara 194 exterior de vacío puede definirse como el espacio delimitado por la bolsa 150 de vacío, la herramienta 104 de conformación y la cubierta 180 rígida. La cámara 194 exterior de vacío puede acoplarse a una fuente 184 de vacío de la cubierta a través de un puerto 182 de vacío de la cubierta. Al comienzo de un ciclo de curado (por ejemplo, t0 en las Figuras 4 y 7), la fuente 184 de vacío de la cubierta puede aplicar una presión 186 de vacío externa a la cámara 194 de vacío externa en coordinación con la aplicación de una presión 156 de vacío de bolsa interna a la cámara 166 de bolsa interna de una manera para extraer la humedad 112 atrapada, el aire 114 y/o los volátiles 116 de la estructura 106 de material compuesto y fuera del puerto 152 de vacío de bolsa. La estructura 106 de material compuesto se puede calentar a una temperatura 212 elevada durante un período 220 de mantenimiento de temperatura (por ejemplo, t1-t5 en la Figura 4) para reducir la viscosidad de la resina (no mostrada) en la estructura 106 de material compuesto y facilitar la evacuación de la humedad 112, aire 114 y/o volátiles 116 a través de la resina de viscosidad reducida (no mostrada).

Como se describe con mayor detalle a continuación, durante el período 220 de mantenimiento de temperatura (Figura 4), la cubierta 180 puede ventilarse temporalmente a la atmósfera 102 (por ejemplo, en t2 en las Figuras 4 y 7) durante

un período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, t2-t3 en las Figuras 4 y 7) antes de volver a aplicar la presión 186 de vacío externa (por ejemplo, en t3 en las Figuras 4 y 7) para continuar con la extracción de humedad 112 (Figura 1), aire 114 (Figura 1), y/o volátiles 116 (Figura 1) de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). La ventilación temporal de la cubierta 180 (Figura 1) durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4) da como resultado ventajoso la aplicación de la presión 164 de compactación (por ejemplo, la Figura 2 - presión atmosférica) en el sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 2) que puede facilitar la eliminación del aire 114 (Figura 1) y los volátiles 116 (Figura 1) del sello 158 de la cámara de bolsa interna y permitir la consolidación del sello 158 de la cámara de bolsa interna bajo la presión 164 de compactación (Figura 2). La consolidación del sello 158 de la cámara de bolsa interna puede mejorar la integridad y/o la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna, lo que puede permitir que se mantenga el vacío total (no se muestra) dentro de la cámara 166 de la bolsa interna y un aumento correspondiente en la presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto cuando la cubierta 180 se ventila nuevamente (por ejemplo, en t4 en las Figuras 4 y 7) a la atmósfera 102 para consolidar y curar la estructura 106 de material compuesto durante el resto del ciclo de curado.

La Figura 2 muestra un ejemplo de un sistema 100 de doble bolsa de vacío que puede implementarse para curar una estructura 106 de material compuesto utilizando uno o más de los ejemplos del método de curado de doble bolsa 300, 400 de vacío (Figura 3 y 6). Como se indicó anteriormente, el sistema 100 de doble bolsa de vacío incluye una cubierta 180 rígida que se puede sellar a una herramienta 104 de conformación a lo largo de un perímetro 190 de la cubierta usando un sello 188 de cubierta. La cubierta 180 puede proporcionarse en cualquiera de una variedad de diferentes tamaños, formas y configuraciones capaces de abarcar la estructura 106 de material compuesto cubierta con bolsa de vacío y formar una cámara 194 de vacío externa entre la bolsa 150 de vacío y la cubierta 180. La cubierta 180 puede estar formada por cualquier material impermeable o poco permeable o combinación de materiales que incluyen, pero no se limitan a, material metálico y/o material polimérico (por ejemplo, material compuesto) que tiene suficiente dureza y/o rigidez durante el curado de la estructura 106 de material compuesto para al menos resistir la presión atmosférica (no mostrada) que puede ser aplicada a la cubierta 180 como resultado de una presión 186 de vacío externa recogida en la cámara 194 de vacío externa.

Con referencia aún a la Figura 2, el sello 188 de cubierta puede ser un sello reutilizable (no mostrado) formado por caucho, silicona u otro material elastomérico capaz de formar un sello sustancialmente hermético al vacío entre la cubierta 180 y la herramienta 104 de conformación. En un ejemplo, el sello 188 de protección puede estar unido adhesivamente y/o acoplado mecánicamente (por ejemplo, unido permanentemente) a la herramienta 104 de conformación o al perímetro 190 de la cubierta. Alternativamente, el sello 188 de cubierta puede proporcionarse como un sello de un solo uso (por ejemplo, un sello no reutilizable -no se muestra-). Por ejemplo, sello 188 de cubierta se puede proporcionar como un caucho sintético curable (no mostrado) como una cinta selladora no reutilizable (no mostrada) u otro material que se puede aplicar al perímetro 190 de la cubierta y/o a la herramienta 104 de conformación para sellar la cubierta 180 a la herramienta 104 de conformación.

En la Figura 2, la cubierta 180 puede incluir al menos un puerto 182 de vacío de la cubierta a través del cual se puede extraer una presión 186 de vacío externa en la cámara 194 de vacío externa por medio de una fuente 184 de vacío de la cubierta. La fuente 184 de vacío de la cubierta se puede proporcionar como una bomba de vacío (no mostrada) o cualquier otro dispositivo capaz de recoger una presión 186 de vacío externa en la cámara 194 de vacío externa. Se puede incluir un medidor 185 de vacío de cubierta para controlar la presión 186 de vacío externa en la cámara 194 de vacío externa.

En el ejemplo mostrado, el puerto 182 de vacío de la cubierta también puede proporcionar la capacidad de ventilar la cámara 194 de vacío externa a la atmósfera 102. Por ejemplo, el puerto 182 de vacío de la cubierta puede incluir una válvula de cubierta (no se muestra) que se puede abrir para ventilar la cámara 194 de vacío externa a la atmósfera 102 y se cierra cuando la fuente 184 de vacío de la cubierta se activa para permitir que se ejerza una presión 186 de vacío externa en la cámara 194 de vacío externa. En una realización alternativa no mostrada, la cubierta 180 puede incluir un primer puerto de vacío de la cubierta (no se muestra) acoplado a una fuente 184 de vacío de la cubierta para extraer una presión 186 de vacío externa en la cámara 194 de vacío externa, y un segundo puerto de vacío de la cubierta (no mostrado) para ventilar la cámara 194 de vacío externa a la atmósfera 102.

La Figura 2 muestra una bolsa 150 de vacío flexible aplicada sobre una estructura 106 de material compuesto. La bolsa 150 de vacío puede estar formada por un material flexible capaz de adaptarse a la forma o el contorno de la estructura 106 de material compuesto. En un ejemplo, la bolsa 150 de vacío puede ser proporcionado como una bolsa de Nylon™ no reutilizable. Sin embargo, la bolsa 150 de vacío puede estar formada por una variedad de otros tipos de material elastomérico (no mostrado) y que puede ser reutilizable o no reutilizable. La bolsa 150 de vacío puede estar formada por un material que, preferiblemente, proporciona una baja permeabilidad al aire o no es permeable, tal como hasta al menos una atmósfera (por ejemplo, 101352.9 Pa (14.7 psi)) de la presión 156 de vacío de la bolsa interna. La bolsa 150 de vacío puede configurarse para mantener tal baja permeabilidad al aire o no permeabilidad a las temperaturas de procesamiento asociadas con el curado de la estructura 106 de material compuesto.

En la Figura 2, la bolsa 150 de vacío puede sellarse a la herramienta 104 de conformación a lo largo del perímetro de la bolsa 160 usando un sello 158 de cámara de bolsa interna. En algunos ejemplos, el sello 158 de cámara de bolsa interna puede no ser reutilizable. El sello 158 de cámara de bolsa interna puede estar formado por un material

elastomérico que puede aplicarse entre la herramienta 104 de conformación y la bolsa 150 de vacío. En un ejemplo, el sello 158 de cámara de bolsa interna puede proporcionarse como un material de caucho curable. En una realización, el caucho curable puede ser un sellador de caucho de butilo (no mostrado) tal como Tacky Tape™ disponible comercialmente de ITW Polymer Sealants de Irving, Texas. Sin embargo, el sello 158 de la cámara de bolsa interna puede estar formado por cualquier material capaz de formar un sello sustancialmente hermético al vacío con la herramienta 104 de conformación y mantener dicho sello hermético al vacío a las temperaturas asociadas con la consolidación y el curado de la estructura 106 de material compuesto.

En la Figura 2, el sistema 100 de doble bolsa de vacío puede incluir un puerto 152 de vacío de bolsa a través del cual se puede recoger una presión 156 de vacío de bolsa interna en la cámara 166 de bolsa interna por medio de una fuente 154 de vacío de bolsa. En el ejemplo mostrado, un puerto 152 de vacío de bolsa puede extenderse a través de la herramienta 104 de conformación para acoplar de manera fluida la cámara interior de bolsa 166 a la fuente 154 de vacío de bolsa. Sin embargo, el puerto 152 de vacío de bolsa puede montarse en cualquier ubicación que proporcione la capacidad para la fuente 154 de vacío de bolsa para recoger una presión 156 de vacío de bolsa interna en la cámara 166 de bolsa interna. La fuente 154 de vacío de bolsa se puede proporcionar como una bomba de vacío (no se muestra) u otro dispositivo capaz de recoger una presión 156 de vacío de bolsa interna en la bolsa 150 de vacío. Un medidor de vacío de bolsa 155 se puede acoplar de manera fluida a la cámara 166 de bolsa interna (por ejemplo, a través del puerto 152 de vacío de bolsa) para proporcionar un medio para controlar la presión 156 de vacío de bolsa interna dentro de la cámara 166 de bolsa interna.

Con referencia todavía a la Figura 2, la estructura 106 de material compuesto puede estar formada por una o más capas 110 compuestas de material de matriz polimérica reforzada con fibra que puede colocarse sobre la herramienta 104 de conformación. En un ejemplo, las capas 110 compuestas pueden ser capas preimpregnadas (no se muestra) que consta de fibras de refuerzo (no se muestran) como fibras de carbono (no se muestran) preimpregnadas con resina (no se muestra) como resina epoxi (no se muestra). Sin embargo, el método actualmente descrito puede implementarse para consolidar y curar una estructura 106 de material compuesto formada por uno cualquiera de una variedad de diferentes sistemas de material de matriz de polímero reforzado con fibra, y no se limita al curado de una estructura 106 de material compuesto formada por hojas preimpregnadas de carbono-epoxi. Por ejemplo, la estructura 106 de material compuesto puede estar compuesta de material fibroso seco (no mostrado) como una preforma de tela seca (no mostrada) que se puede colocar sobre la herramienta 104 de conformación e infundir con resina tal como en un proceso de colocación húmeda (no se muestra) u otro proceso de infusión de resina (no se muestra) antes de consolidar y/o curar la estructura 106 de material compuesto utilizando uno o más de los métodos actualmente descritos. El sistema 100 de doble bolsa de vacío puede incluir una o más capas adicionales de material posicionadas entre la bolsa 150 de vacío y la estructura 106 de material compuesto para facilitar la consolidación y/o el curado de la estructura 106 de material compuesto. Por ejemplo, una capa de respiración (no mostrados), se puede incluir una capa de purga (no mostrada), una película desprendible (no mostrada), una o más capas de capas desprendibles (no mostrada), una placa de sellado (no mostrada) y/u otros materiales (no mostrados) con o aplicado sobre la estructura 106 de material compuesto para facilitar la consolidación y el curado de la estructura 106 de material compuesto.

En la Figura 2, el sistema 100 de doble bolsa de vacío puede incluir uno o más dispositivos sensores de temperatura (no mostrados) u otros medios para controlar la temperatura de la estructura 106 de material compuesto en diferentes ubicaciones. En el ejemplo que se muestra, tales dispositivos sensores de temperatura pueden proporcionarse como termopares 122 que pueden montarse en diferentes ubicaciones en la estructura 106 de material compuesto para medir la temperatura de la estructura 106 de material compuesto durante los métodos actualmente descritos. Aunque no se muestran, los componentes (no mostrados) del sistema 100 de doble bolsa de vacío que no sean la estructura 106 de material compuesto pueden incluir uno o más termopares 122. Por ejemplo, el sistema 100 de doble bolsa de vacío puede incluir termopares (no se muestra) para medir la temperatura del aire (no mostrado) dentro de la cámara interior de la bolsa 166, y/o los termopares (no mostrados) pueden proporcionarse en otros lugares dentro del sistema 100 de doble bolsa de vacío para proporcionar un medio para controlar la temperatura de tales otros componentes que conforman el sistema 100 de doble bolsa de vacío. Aunque la presente divulgación ilustra los termopares 122 instalados en la estructura 106 de material compuesto, pueden implementarse otros medios (no mostrados) para controlar la temperatura de la estructura 106 de material compuesto y/o otros componentes del sistema 100 de doble bolsa de vacío.

En un aspecto de los métodos 300, 400 (Figuras 4 y 7) descritos actualmente, los termopares 122 pueden proporcionar un medio para determinar el punto en el cual iniciar un período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa temporal (por ejemplo, t1-t2 en la Figura 4). y 7) durante el ciclo de curado. En un ejemplo descrito a continuación, dicho período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede iniciarse una vez que sustancialmente todas las ubicaciones de la estructura 106 de material compuesto estén dentro de un rango predeterminado (por ejemplo, dentro de 5.55°C (10°F)) de una temperatura 212 elevada (Figura 4) de la estructura 106 de material compuesto. Durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa, la cámara 194 de vacío externa puede ventilarse temporalmente a la atmósfera 102 para causar presión 164 de compactación (por ejemplo, presión atmosférica) que se aplicará al sello 158 de la cámara de bolsa interna para consolidar el sello 158 de la cámara de bolsa interna. Como se describe a continuación, la consolidación del sello 158 de la cámara de bolsa interna durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede mejorar la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna para mantener un sello de tipo vacío entre la bolsa 150 de vacío y la herramienta 104 de conformación durante el resto del ciclo de curado.

Aunque no se muestra en la Figura 2, el sistema 100 de doble bolsa de vacío puede incluir una fuente de calor (no mostrada) para calentar la estructura 106 de material compuesto a una temperatura 212 elevada (Figuras 4 y 7). La temperatura 212 elevada puede ser la temperatura a la cual la humedad 112, el aire 114 y/o los volátiles 116 pueden evacuarse de la estructura 106 de material compuesto y/o la temperatura 212 elevada (Figuras 4 y 7) puede ser la temperatura para curar la resina (no se muestra) en la estructura 106 de material compuesto. En un ejemplo, el sistema 100 de doble bolsa de vacío se puede instalar en un horno (no se muestra) para calentar la estructura 106 de material compuesto desde una temperatura 210 ambiente (Figuras 4 y 7) a una temperatura 212 elevada (Figuras 4 y 7), tal como una temperatura 214 intermedia (Figura 7) y/o una temperatura 216 de curado (Figura 7). De forma alternativa o adicional, la estructura 106 de material compuesto se puede calentar utilizando un dispositivo de calentamiento local (no mostrado) como elementos de calefacción (no se muestra) para calentar la herramienta 104 de conformación, o la estructura 106 de material compuesto se puede calentar por calentamiento de radiación (no se muestra), calefacción por aire caliente forzado (no se muestra), o cualquiera otra variedad de otros sistemas o dispositivos de calefacción (no se muestra).

La Figura 3 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método 300 para curar una estructura 106 de material compuesto en un proceso 302 de una etapa. Como se mencionó anteriormente y se describe con mayor detalle a continuación, el proceso descrito a continuación en el presente documento el proceso de doble bolsa de vacío puede incluir al menos un período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, t2-t3 en las Figuras 4 y 7) durante el cual la cubierta 180 (Figura 1) puede ventilarse temporalmente a la atmósfera 102 (Figura 1) antes de volver a aplicar la presión 186 de vacío externa (por ejemplo, en t3 en las Figuras 4 y 7) para continuar extrayendo humedad 112 (Figura 1), aire 114 (Figura 1) y/o volátiles 116 (Figura 1) de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). Durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa, la presión 164 de compactación (por ejemplo, Figura 2 - presión atmosférica) se puede aplicar al sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) para facilitar la eliminación del aire 114 (Figura 1) y los volátiles 116 (Figura 1) del sello 158 de cámara de bolsa interna y permitir la consolidación del sello 158 de cámara de bolsa interna que puede mejorar la efectividad del sello 158 de cámara de bolsa interna al establecer y/o mantener un sello sustancialmente vacío entre la bolsa 150 de vacío y la herramienta 104 de conformación (Figura 1).

La mejora en la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) puede disminuir la cantidad de aire que puede introducirse en la estructura 106 de material compuesto (Figura 13) durante el curado y puede permitir un aumento de la presión 164 de compactación (por ejemplo, presión atmosférica total) en la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) cuando la cubierta 180 (Figura 1) se ventila nuevamente (por ejemplo, en t4 en las Figuras 4 y 7) a la atmósfera 102 (Figura 1) y la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 1) se mantiene en la cámara 166 de bolsa interna (Figura 1). El aumento de la presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto (Figura 2) como resultado de la consolidación del sello 158 de la cámara de bolsa interna durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, t2-t3 en las Figuras 4 y 7) puede resultar en un aumento en la cantidad de humedad 112, aire 114 y/o volátiles 116 que pueden ser evacuados de la estructura 106 de material compuesto durante el ciclo de curado. La disminución de las fugas de aire en el sello 158 de la cámara de bolsa interna y el aumento en la evacuación de la humedad 112, el aire 114, y/los volátiles 116 de la estructura 106 de material compuesto puede resultar en una disminución o eliminación de vacíos en el artículo 118 de material compuesto curado (Figura 5), con una mejora correspondiente en las propiedades mecánicas del artículo 118 de material compuesto curado, tal como un aumento en la resistencia específica y/o rigidez específica.

Un ejemplo del método 300 de la Figura 3 se describe ahora con referencia a la Figura 4 que ilustra la relación entre la temperatura 200, el tiempo 202 y la presión 204 de vacío durante un proceso 302 de una etapa de curado de una estructura 106 de material compuesto (Figura 1). El método 300 puede incluir colocar una estructura 106 de material compuesto en una herramienta 104 de conformación. Por ejemplo, el método 300 puede incluir colocar una o más capas 110 compuestas preimpregnadas en la herramienta 104 de conformación antes de consolidar y curar la estructura 106 de material compuesto utilizando el presente método divulgado. Alternativamente, el método 300 puede incluir colocar una o más capas de fibras secas (no mostradas) para formar una estructura 106 de material compuesto seguido de la infusión de la estructura 106 de material compuesto con resina antes de consolidar y curar usando el método descrito a continuación.

El paso 302 del método 300 de la Figura 3 puede incluir embolsar la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) debajo de una bolsa 150 de vacío (Figura 1). Como se indicó anteriormente, el paso de embolsar la estructura 106 de material compuesto puede incluir la aplicación de capas adicionales como una capa de respiración (no se muestra), una película separadora (no se muestra), una placa de calafateo (no se muestra), sobre la estructura 106 de material compuesto. La bolsa 150 de vacío puede sellarse a la herramienta 104 de conformación con un sello 158 de cámara de bolsa interna (Figura 1) que puede ubicarse a lo largo de un perímetro 160 de bolsa (Figura 2) de la bolsa 150 de vacío. La bolsa 150 de vacío puede formar una bolsa interna la cámara 166 (Figura 1) que se puede definir como el espacio entre la bolsa 150 de vacío y la herramienta 104 de conformación y que puede contener la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) y otras capas. La bolsa 150 de vacío puede ser una bolsa no reutilizable o de un solo uso (por ejemplo, una bolsa de Nylon™) o la bolsa 150 de vacío puede ser reutilizable, como se indicó anteriormente. El sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) puede proporcionarse inicialmente como una composición sellante no curada que cura con el tiempo y/o a una temperatura 212 elevada (Figuras 4 y 7). En un ejemplo, el sellador no curado puede ser un sellador de caucho de butilo, disponible comercialmente como Tacky Tape™ como se mencionó anteriormente.

El paso 304 del método 300 de la Figura 3 puede incluir sellar una cubierta 180 (Figura 1) a la herramienta 104 de conformación (Figura 1) usando un sello 188 de cubierta (Figura 1). Como se indicó anteriormente, la cubierta 180 puede estar formada por un material capaz de soportar la presión atmosférica durante la consolidación y el curado de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). El sello 188 de cubierta puede proporcionarse como un material elastomérico que puede fijarse de forma extraíble o fija al perímetro 190 de la cubierta (Figura 2) y/o a la herramienta 104 de conformación (Figura 2). En un ejemplo, sello 188 de cubierta puede ser una junta reutilizable (no mostrada) que puede unirse al perímetro 190 de la cubierta y adherirse adhesivamente a la herramienta 104 de conformación. La cubierta 180 puede dimensionarse y configurarse de manera que cuando la cubierta 180 está sellada a la herramienta 104 de conformación, el perímetro 190 de la cubierta está ubicado fuera del perímetro 160 de la bolsa de la bolsa 150 de vacío. La cubierta 180 puede cubrir la bolsa 150 de vacío para formar una cámara 194 de vacío externa (Figura 2) definida como el espacio entre la bolsa 150 de vacío y la cubierta 180.

El paso 306 del método 300 de la Figura 3 puede incluir la aplicación de una presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) a la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1) y una presión 186 de vacío externa (Figura 4) a la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) como se muestra en el tiempo t_0 en la Figura 4, donde la presión 186 de vacío externa se muestra como una línea discontinua y la presión 156 de vacío de la bolsa interna se muestra como una línea continua. La presión 186 de vacío externa (Figura 4) se puede aplicar activando la fuente 184 de vacío de la cubierta (Figura 1) para aplicar la presión 186 de vacío externa en la cámara 166 de bolsa interna (Figura 1) a través del puerto 182 de vacío de la cubierta (Figura 1). Del mismo modo, la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) se puede aplicar activando la fuente 154 de vacío de bolsa (Figura 1) y aplicando la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) en la cámara 166 de bolsa interna (Figura 1) a través del puerto 152 de vacío de la bolsa (Figura 1).

El paso de aplicar la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) y la presión 186 de vacío externa (Figura 4) puede incluir la aplicación de la presión 156 de vacío de la bolsa interna en la cámara 166 de bolsa interna (Figura 1) a un nivel que no es menor que la presión 186 de vacío externa aplicada a la cámara 194 de vacío externa (Figura 1). La aplicación de la presión 156 de vacío de la bolsa interna a un nivel que no sea inferior a la presión 186 de vacío externa puede evitar que la presión de vacío en la cámara de vacío externa retire la bolsa 150 de vacío de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) y/o que evite comprometer la integridad del sello 158 de cámara de bolsa interna. En algunos ejemplos, el paso de aplicar la presión 156 de vacío de bolsa interna y la presión 186 de vacío externa puede incluir la aplicación de la presión 156 de vacío bolsa interna a un nivel igual a la presión 186 de vacío externa para evitar colocar cualquier presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto que, de otro modo, podría restringir la evacuación de humedad 112, aire 114 y/o volátiles 116 de la estructura 106 de material compuesto. Sin embargo, en otros ejemplos, la presión 156 de vacío de la bolsa interna aplicada a la cámara 166 de la bolsa interna puede ser más alta que la presión 186 de vacío externa aplicada a la cámara 194 de vacío externa en menos de 6772.76 Pa (2 pulgadas de Hg) para proporcionar una pequeña cantidad de presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto para evitar el movimiento de la estructura 106 de material compuesto y/o el sello 158 de la cámara de bolsa interna en relación con la herramienta 104 de conformación durante la desgasificación de humedad 112, aire 114 y/o volátiles 116 de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). En un ejemplo, la presión 156 de vacío de la bolsa interna puede estar entre 1693.1 Pa-5079.57 Pa (0.5-1.5 in. Hg) más alta (por ejemplo, el diferencial 192 de presión en la Figura 4) que la presión 186 de vacío externa.

El paso 308 del método 300 de la Figura 3 puede incluir aumentar la temperatura 200 (Figura 4) de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) a una temperatura 212 elevada (Figura 4). Como se indicó anteriormente, la temperatura de la estructura 106 de material compuesto se puede aumentar calentando la estructura 106 de material compuesto utilizando cualquiera de una variedad de medios de calentamiento diferentes, que incluyen, entre otros, un horno, elementos de calentamiento por resistencia u otros dispositivos de calentamiento. La Figura 4 ilustra el aumento de la temperatura de la estructura 106 de material compuesto durante una primera rampa 206 de temperatura (Figura 4) desde la temperatura 210 ambiente (por ejemplo, temperatura ambiente 20°C-22.22°C (68-72°F)) hasta una temperatura 212 elevada que se puede determinar al menos en parte en el sistema de material de la estructura 106 de material compuesto. Por ejemplo, la temperatura 212 elevada (Figura 4) para una resina epoxi puede estar en el rango de aproximadamente 65.55°C-76.66°C (150-170°F). El calentamiento de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) se puede iniciar simultáneamente con o después (por ejemplo, al cabo de varios minutos de) la aplicación de la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) y la presión 186 de vacío externa (Figura 4) en la cámara 166 de bolsa interna respectiva (Figura 1) y la cámara 194 de vacío externa (Figura 1).

El calentamiento de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) a la temperatura 212 elevada (Figura 4) se puede realizar de manera continua a una tasa sustancialmente constante de t_0-t_1 en la Figura 4. Dependiendo del sistema de material de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1), la cantidad de tiempo (por ejemplo, de t_0-t_1 en la Figura 4) requerida para realizar la rampa 206 de temperatura (Figura 4) de la estructura 106 de material compuesto de la temperatura 210 ambiente (Figura 4) a la temperatura 212 elevada (Figura 4) puede estar en el rango de aproximadamente 30-90 minutos. El método 300 de la Figura 3 puede incluir mantener la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) a la temperatura 212 elevada (Figura 4) durante un período 220 de mantenimiento de temperatura como se muestra en la Figura 4. El calentamiento de la estructura 106 de material compuesto a la temperatura 212 elevada puede iniciar y/o facilitar la polimerización de reticulación de la resina (no mostrada) para promover el curado de la resina.

El paso 310 del método 300 de la Figura 3 puede incluir la extracción de humedad 112 (Figura 1), aire 114 (Figura 1) y/o volátiles 116 (Figura 1) desde la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) hacia el puerto 152 de vacío de bolsa (Figura 1) mientras mantiene la estructura 106 de material compuesto a la temperatura 212 elevada (Figura 4) y mantiene la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) en la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1) y la presión 186 de vacío externa (Figura 4) en la cámara 194 de vacío externa (Figura 1). La temperatura 212 elevada de la estructura 106 de material compuesto puede causar que la humedad 112 (Figura 1), el aire 114 (Figura 1) y los volátiles 116 (Figura 1) dentro de la estructura 106 de material compuesto se expandan y evacuen a través de la resina de viscosidad reducida (no se muestra) con poca o ninguna resistencia debido a la despreciable (por ejemplo, menos de 1 psi) o inexistente presión 164 de compactación neta (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto debido al diferencial de presión mínimo 192 (Figura 4) entre la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) y la presión 186 de vacío externa (Figura 4). Dependiendo del sistema de estructura 106 de material compuesto (Figura 1), la duración del período 220 de mantenimiento de la temperatura (por ejemplo, de t1-t4 en la Figura 4) puede estar en el rango de aproximadamente 30 minutos a 2 horas o más. Al mantener la estructura 106 de material compuesto a la temperatura 212 elevada (Figura 4), la resina (no mostrada) se puede mantener a un nivel de viscosidad relativamente bajo que puede facilitar la evacuación de la humedad 112, el aire 114 y/o los volátiles 116 de la interior (no mostrado) de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) y fuera del puerto 152 de vacío de bolsa (Figura 1) bajo la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 1) aplicada por la fuente 154 de vacío de bolsa (Figura 1).

El paso 312 del método 300 de la Figura 3 puede incluir ventilar la cámara 180 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (Figura 1) para iniciar un período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa comenzando en t2 en la Figura 4. Aunque la Figura 4 ilustra una el único período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) pueden incluir cualquier número de períodos 226 de ventilación de la cámara de vacío externa para desgasificar el sello 158 de la cámara de bolsa interna para mejorar la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna. La cubierta 180 se puede ventilar a la atmósfera 102 abriendo un puerto 182 de vacío de la cubierta (Figura 1). La fuente 184 de vacío de la cubierta (Figura 1, por ejemplo, la bomba de vacío) también se puede desactivar para detener la aplicación de la presión 186 de vacío externa (Figura 4) a la cámara 194 de vacío externa (Figura 1). El período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede iniciarse en un punto no anterior al momento en que la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) alcanza la temperatura 212 elevada (Figura 1). En una realización, la temperatura de la estructura 106 de material compuesto puede detectarse en diferentes ubicaciones utilizando una pluralidad de termopares 122 montados en diferentes ubicaciones en la estructura 106 de material compuesto. Una vez que todos los termopares 122 de la estructura 106 de material compuesto alcanzan sustancialmente la temperatura 212 elevada, la cubierta 180 puede ser ventilada a la atmósfera 102 (Figura 1) mientras se mantiene la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) en la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1). Por ejemplo, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (t1-t2 en la Figura 4) puede iniciarse no antes de que todas las ubicaciones de la estructura 106 de material compuesto estén dentro de 5.55°C (10°F) de la temperatura 212 elevada.

El paso 314 del método 300 de la Figura 3 puede incluir la aplicación de la presión 164 de compactación (Figura 2, por ejemplo, la presión atmosférica) al sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) y la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) durante el período 226 ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, de t2-t3 de la Figura 4) como resultado de ventilar la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (Figura 1). La aplicación de la presión 164 de compactación (Figura 2) puede dar lugar a la extracción y/o al aire 114 forzado (Figura 1) y los volátiles 116 (Figura 1) del sello 158 de la cámara de bolsa interna no curado, y la consolidación del sello 158 de la cámara de bolsa interna que puede mejorar la capacidad de sellado del sello 158 de cámara de bolsa interna. Dicho aire 114 y/o volátiles 116 puede preexistir dentro del sello 158 de cámara de bolsa interna y/o el aire 114 y/o volátiles 116 se pueden generar expandiendo dentro, o ser producidos por el sello 158 de la cámara de bolsa interna como resultado de la aplicación de la presión 186 de vacío externa (Figura 4) a la cámara 194 de vacío externa (Figura 1), y/o como resultado del calentamiento sello 158 de la cámara de bolsa interna no curada durante el calentamiento de la estructura 106 de material compuesto. El aire 114 y los volátiles 116 del sello 158 de la cámara de bolsa interna se pueden llevar hacia el puerto 152 de vacío de bolsa (Figura 1) y/o el puerto 182 de vacío de la cubierta (Figura 1) durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4) y puede ser descargado a la atmosfera 102 (Figura 1).

El método 300 de la Figura 3 puede incluir mantener la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) aproximadamente a la temperatura 212 elevada (Figura 4, por ejemplo, dentro de 5.55°C (10°F)) durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4) para facilitar la desgasificación del aire 114 (Figura 1) y los volátiles 116 (Figura 1) desde el sello 158 de la cámara de bolsa interna y para facilitar la consolidación del sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) como se puede permitir mediante la desgasificación del sello 158 de la cámara de la bolsa interna. La duración del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4) puede determinarse empíricamente (por ejemplo, en un laboratorio) antes de iniciar el proceso de curado de la bolsa de doble vacío de la estructura 106 de material compuesto y puede ser basado, al menos en parte, en el sistema de materiales de la estructura 106 de material compuesto y/o la composición del sello 158 de cámara de la bolsa interna. El período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede ser lo suficientemente largo como para permitir la desgasificación de la mayoría del aire 114 (Figura 1) y los volátiles 116 (Figura 1) del sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1), y lo suficientemente corto como para evitar la consolidación excesiva de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) antes del curado final de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). Por ejemplo, el

método puede incluir continuar con el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4) hasta que la tasa de desgasificación del aire 114 y/o volátiles 116 del sello 158 de la cámara de bolsa interna se reduzca a un nivel que sea inferior al 50% de una tasa de desgasificación máxima del sello 158 de la cámara de bolsa interna. Dicha tasa de desgasificación máxima del sello 158 de la cámara de bolsa interna se puede determinar empíricamente en un entorno de laboratorio antes de iniciar el proceso de bolsa de doble vacío del método 300 actualmente descrito. Alternativa o adicionalmente, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede ser de una duración tal que el grosor 108 original de la estructura (Figura 2) de la estructura 106 de material compuesto (por ejemplo, antes de t0 en la Figura 4) se reduzca (por ejemplo, se consolide) a un nivel de no más del 20% de una cantidad total de consolidación del artículo 118 de material compuesto curado representado por el espesor 120 del artículo (Figura 5) del artículo 118 de material compuesto curado (Figura 5). La cantidad total de consolidación del artículo 118 de material compuesto curado se puede determinar empíricamente probando una o más muestras de capas de material compuesto (no mostradas) formadas del mismo sistema de material (por ejemplo, la misma composición de resina y composición de fibra) y que tienen la misma secuencia de apilamiento de capas (no se muestra) como la estructura 106 de material compuesto, y someter dichos especímenes de estructura a las mismas presiones y temperaturas que se utilizan para curar la estructura 106 de material compuesto.

En aún otros ejemplos, el sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) puede estar formado por una composición (no se muestra) que forme espuma (no se muestra) al menos cuando el sello 158 de la cámara de bolsa interna está expuesto a la presión 186 de vacío externa (Figura 1). 1) y/o cuando el sello 158 de la cámara de bolsa interna se calienta, por ejemplo, hasta la temperatura 212 elevada (Figura 4). La espuma (no mostrada) del sello 158 de la cámara de bolsa interna puede representar la expansión del aire 114 (Figura 1) y/o los volátiles 116 (Figura 1) en el sello 158 de la cámara de bolsa interna y la liberación o emisión de dicho aire 114 y/o los volátiles 116 del sello 158 de la cámara de bolsa interna. El período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4) puede tener una duración que permita la eliminación del aire 114 y los volátiles 114 del sello 158 de la cámara de bolsa interna como el sello 158 de la cámara de bolsa interna se consolida y puede continuar hasta que el sello 158 de la cámara de bolsa interna deje de espumar, o al menos hasta que la espuma del sello 158 de la cámara de bolsa interna se reduzca a un nivel inferior al 50% de la cantidad máxima de espuma del sello 158 de la cámara de bolsa interna. La espuma máxima del sello 158 de la cámara de bolsa interna puede ser predeterminada (por ejemplo, en un laboratorio) y puede representarse como la tasa máxima de desgasificación volumétrica (no mostrada) del aire 114 y/o volátiles 116 del sello 158 de cámara de bolsa interna a la presión de vacío y/o a la temperatura(s) 212 elevada(s) a la cual se puede exponer el sello 158 de la cámara de bolsa interna durante la consolidación y el curado de la estructura 106 de material compuesto. La tasa de desgasificación volumétrica del sello 158 de la cámara de bolsa interna se puede describir como el volumen de aire 114 y/o volátiles 116 emitidos por unidad de tiempo (por ejemplo, por minuto) por el sello 158 de la cámara de bolsa interna. Alternativamente o adicionalmente, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede continuar hasta que la el sello 158 de la cámara de la bolsa interna deje de espumar. se puede determinar mediante la observación visual del sello 158 de la cámara de bolsa interna y/o midiendo la tasa de desgasificación del sello 158 de la cámara de bolsa interna con uno o más sensores de velocidad de desgasificación (no mostrados).

En algunos ejemplos, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, t2-t3 en la Figura 4) puede durar menos de 10 minutos. Por ejemplo, un período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa de entre 1 y 5 minutos de duración puede permitir la evacuación del aire 114 (Figura 1) y/o los volátiles 116 (Figura 1) del sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) y la consolidación simultánea del sello 158 de la cámara de bolsa interna debido a la aplicación de la presión 164 de compactación (Figura 2) durante la desgasificación del aire 114 y/o volátiles 116 durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 4). Como se indicó anteriormente, la duración del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa se puede seleccionar para proporcionar un equilibrio entre el tiempo suficiente para que el aire 114 y/o los volátiles 116 se evacúen del sello 158 de la cámara de bolsa interna y limiten la duración del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa para evitar la consolidación excesiva de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). La consolidación excesiva de la estructura 106 de material compuesto durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede reducir la capacidad de evacuar la humedad 112, el aire 114 y/o los volátiles 116 desde la estructura 106 de material compuesto después de la finalización del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa y durante el resto del proceso de curado de la estructura 106 de material compuesto.

La etapa 316 del método 300 de la Figura 3 puede incluir terminar el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, en t3 en la Figura 4) al detener la ventilación de la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (Figura 1) y volver a aplicar la presión 186 de vacío externa (Figura 4) a la cámara 194 de vacío externa para continuar eliminando la humedad 112 (Figura 1), el aire 114 (Figura 1) y/o los volátiles 116 (Figura 1) de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) durante el período 220 de mantenimiento de temperatura (Figura 4). La presión 186 de vacío externa puede devolverse sustancialmente al mismo nivel que antes del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa. La cámara 166 de bolsa interna se puede mantener sustancialmente a la misma presión 156 de vacío de la bolsa interna que la presión de vacío antes de y/o durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa. A este respecto, la presión 156 de vacío de la bolsa interna aplicada a la cámara 166 de la bolsa interna no puede ser menor que la presión 186 de vacío externa. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) puede estar entre 1693.1 Pa-5079.57 Pa (0.5-1.5 pulgadas de Hg) más alto (por ejemplo, el diferencial 192 de presión en la Figura 4) que la presión 186 de vacío externa

- (Figura 4) para minimizar la presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) y, por lo tanto, promover la evacuación o desgasificación de la humedad 112, aire 114 y/o volátiles 116 de la estructura 106 de material compuesto. Dependiendo del sistema de material y la geometría (por ejemplo, espesor 108 de la estructura - no mostrado) de la estructura 106 de material compuesto, la presión 186 de vacío externa y la presión 156 de vacío de la bolsa interna se pueden mantener durante un período de tiempo predeterminado para permitir la evacuación de la humedad 112, el aire 114 y/o los volátiles 116. En un ejemplo, la presión 186 de vacío externa y la presión 156 de vacío de la bolsa interna se pueden mantener durante 30-180 minutos para permitir la desgasificación de la estructura 106 de material compuesto durante el período de tiempo desde t0-t4 en la Figura 4.
- El paso 318 del método 300 de la Figura 3 puede incluir la ventilación de la cámara 194 de vacío externa a la atmósfera 102 (por ejemplo, en t4 en la Figura 4) durante el período 220 de mantenimiento de la temperatura (Figura 4). La cámara 194 de vacío externa (Figura 1) puede ventilarse a la atmósfera 102 (Figura 1) abriendo el puerto 182 de vacío de la cubierta (Figura 1) y desactivando la fuente 184 de vacío de la cubierta (Figura 1) para detener la aplicación de la presión 186 de vacío externa (Figura 4) en la cámara 194 de vacío externa (Figura 1). La presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 4) se puede mantener en la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1). En el ciclo de curado en una etapa de la Figura 4, la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) se puede mantener a la temperatura 212 elevada (Figura 4) al volver a ventilar la cámara 194 de vacío externa a la atmósfera 102. La estructura 106 de material compuesto puede ser mantenida a la misma temperatura 212 elevada que antes del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa. En algunos ejemplos, la temperatura 212 elevada en la Figura 4 puede ser la temperatura 216 de curado de la estructura 106 de material compuesto.
- El paso 320 del método 300 puede incluir la aplicación de la presión 164 de compactación (Figura 2, por ejemplo, presión atmosférica) de la bolsa 150 de vacío (Figura 1) contra la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) en respuesta a la ventilación de la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (Figura 1). Ventajosamente, la desgasificación y consolidación descritas anteriormente del sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, t2-t3 en la Figura 4) pueden mejorar la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna, manteniendo la integridad de vacío de la cámara 166 de bolsa interna y lo que puede disminuir la cantidad de aire introducido en la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) durante el curado y puede resultar en un aumento en la magnitud de la presión 164 de compactación (Figura 2) que se puede aplicar en la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) cuando la cámara 194 de vacío externa se vuelve a ventilar a la atmósfera 102 en t4 en la Figura 4. La aplicación de la presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto puede continuarse hasta que se complete la consolidación y el curado de la estructura 106 de material compuesto. En la Figura 4, la estructura 106 de material compuesto se puede mantener a la temperatura 212 elevada hasta el período 218 de enfriamiento de la temperatura en t5. Durante el período 218 de enfriamiento de la temperatura desde t5-t6 en la Figura 4, la temperatura de la estructura 106 de material compuesto puede reducirse de la temperatura 212 elevada a la temperatura 210 ambiente. La temperatura 218 de enfriamiento de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) puede ser continuo y puede realizarse a una tasa sustancialmente constante desde la temperatura 212 elevada hasta la temperatura 210 ambiente, momento en donde el curado de la estructura de material compuesto 106 puede completarse sustancialmente y dar como resultado un artículo 118 de material compuesto curado (Figura 5).
- La Figura 6 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método 400 (Figura 7) para curar una estructura 106 de material compuesto (Figura 1) en un proceso 402 de dos etapas, y corresponde a la Figura 7 que ilustra un gráfico de temperatura 200, tiempo 202 y presión 204 de vacío en un ejemplo del proceso 402 de dos etapas. El proceso 402 de dos etapas ilustrado en las Figuras 6-7 es similar al proceso 302 de una etapa descrito anteriormente en las Figuras 3-4, con la diferencia de que en el proceso 302 de una etapa (Figuras 3-4), la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) se calienta a una sola temperatura 212 elevada (Figura 4) para consolidación y curado, en comparación con el proceso 402 de dos etapas (Figuras 6-7) en donde la estructura 106 de material compuesto se calienta inicialmente a una temperatura 214 intermedia (Figura 7) para desgasificar la estructura 106 de material compuesto y luego la temperatura aumenta hasta una temperatura 216 de curado (Figura 7) para consolidar y curar la estructura 106 de material compuesto, como se describe con mayor detalle a continuación. Como se describió anteriormente, el método 400 (Figura 7) del proceso de curado en dos etapas 402 puede incluir colocar una o más capas 110 compuestas (Figura 1 - por ejemplo, capas compuestas preimpregnadas) en una herramienta 104 de conformación (Figura 1) para formar una estructura 106 de material compuesto (Figura 1). Alternativamente, como se indicó anteriormente, la estructura 106 de material compuesto puede estar formada por capas de fibra seca (no mostrada) que se pueden infundir posteriormente con resina (no mostrada) antes de iniciar el proceso 402 de dos etapas ilustrado en la Figura 6-7.
- El paso 402 del método 400 de la Figura 6 puede incluir embolsar la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) debajo de una bolsa 150 de vacío flexible (Figura 1) como se describe anteriormente en el Paso 302 (Figura 3), y puede incluir capas adicionales (no mostradas) tal como una capa de respiración (no mostrada), una película separadora (no mostrada), una placa de calafateo (no mostrada), y/u otros materiales o capas. La bolsa 150 de vacío se puede sellar a la herramienta 104 de conformación (Figura 1) con un sello 158 de cámara de bolsa interna (Figura 1) para formar una cámara 166 de bolsa interna (Figura 1) definida como el espacio entre la bolsa 150 de vacío y la herramienta 104 de conformación, como se describe anteriormente. El paso 404 del método 400 de la Figura 6 puede incluir el sellado de una cubierta 180 rígida (Figura 1) a la herramienta 104 de conformación utilizando un sello 188 de cubierta (Figura 1) como se describe anteriormente en el Paso 304 (Figura 3). La etapa 406 del método 400 puede

5 incluir la aplicación de una presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 7) a la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1) y una presión 186 de vacío externa (Figura 7) a la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) en donde la presión 156 de vacío de la bolsa interna no es menor que la presión 186 de vacío externa, como se ilustra en t0 en la Figura 7 y como se describe anteriormente en el Paso 306 (Figura 3). Como se muestra en la Figura 7 y se describe anteriormente, en algunos ejemplos, la presión 156 de vacío de la bolsa interna puede ser sustancialmente igual a la presión 186 de vacío externa. Sin embargo, para evitar la posibilidad de que la bolsa 150 de vacío se retire de la herramienta 104 de conformación en caso de que la presión 186 de vacío externa sea ligeramente más alta que la presión 156 de vacío de la bolsa interna, y para garantizar que el sello 158 de la cámara de bolsa interna permanezca sellado a la herramienta 104 de conformación, la presión 156 de vacío de la bolsa interna se puede aplicar a un nivel de entre 1693.1 Pa-5079.57 Pa (0.5-1.5 en Hg) más alto (por ejemplo, el diferencial 192 de presión en la Figura 7) que la presión 186 de vacío externa, como se describió anteriormente.

15 El paso 408 del método 400 de la Figura 6 puede incluir aumentar la temperatura de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) durante una primera rampa 206 de temperatura (por ejemplo, de tO-t1 en la Figura 7) desde la temperatura 210 ambiente (por ejemplo, 20°C-22.22°C (68-72°F) a una temperatura 214 intermedia como se muestra en la Figura 7 y que puede ser más baja que la temperatura 216 de curado (Figura 7). En un ejemplo, la temperatura 214 intermedia puede ser más baja que la temperatura a la cual la resina (no mostrada) en la estructura 106 de material compuesto comienza a entrecruzarse y polimerizarse. Para un sistema de material dado (no mostrado) de la estructura 106 de material compuesto, la temperatura 214 intermedia puede estar en el rango de aproximadamente 37.77°C-104.44°C (100-220°F) (por ejemplo, entre 68.33°C-73.88°C (155-165°F) para resina epoxi) y la temperatura 216 de curado puede estar en el rango de 148°C-204°C (300-400°F) (por ejemplo, entre 173.8°C-185°C (345-365°F) para resina epoxi). Sin embargo, la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) puede requerir una temperatura 214 intermedia que está fuera del rango de 37.77°C a 104.44°C (100-220°F) y una temperatura 216 de curado que está fuera del rango de 121.1°C-204.4°C (250-400°F). La estructura 106 de material compuesto se puede calentar simultáneamente (por ejemplo, a t0 en la Figura 7) o poco después (por ejemplo, dentro de varios minutos de) la aplicación de la presión 156 de vacío de la bolsa interna en la cámara 166 de bolsa interna y la presión 186 de vacío externa en la cámara 194 de vacío externa, de una manera similar al paso 308 descrito anteriormente (Figura 3). El método 400 puede incluir mantener la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) a la temperatura 214 intermedia durante un período 222 de mantenimiento de temperatura intermedia (por ejemplo, de t1-t4 en la Figura 7) durante el cual puede reducirse la viscosidad de la resina en la estructura 106 de material compuesto.

30 La etapa 410 del método 400 de la Figura 6 puede incluir la extracción de humedad 112 (Figura 1), aire 114 (Figura 1) y/o volátiles 116 (Figura 1) desde la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) hacia el puerto 152 de vacío de bolsa (Figura 1) como se describió anteriormente en el Paso 306 (Figura 3) mientras mantiene la temperatura de la estructura 106 de material compuesto en la temperatura 214 intermedia (Figura 7) y mientras mantiene la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 7) en la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1) y la presión 186 de vacío externa (Figura 7) en la cámara 194 de vacío externa (Figura 1). Como se describió anteriormente en el Paso 306, el aumento de la temperatura (por ejemplo, la temperatura 214 intermedia) de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) puede hacer que el aire 114 (por ejemplo, que contiene humedad 112) y los volátiles 116 en la estructura 106 de material compuesto se expandan y evacuan a través de la resina de viscosidad reducida (no se muestra) mientras haya poca (por ejemplo, menos de 6894.7 Pascal (1 psi)) o no haya una presión 164 neta de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto durante el período 222 de mantenimiento de temperatura intermedia (por ejemplo, de t0-t4 en la Figura 7).

45 El paso 412 del método 400 de la Figura 6 puede incluir ventilar la cámara 180 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (por ejemplo, en t2 en la Figura 7) para iniciar un período 226 de ventilación de cámara de vacío externo (por ejemplo, de t2-t3), en la Figura 7) durante el período 222 de mantenimiento de temperatura intermedia (por ejemplo, de t1-t4 de la Figura 7). Como se describió anteriormente en el Paso 312, la cubierta 180 se puede ventilar a la atmósfera 102 (Figura 1) abriendo un puerto 182 de vacío de la cubierta (Figura 1) y desactivando la fuente 184 de vacío de la cubierta (Figura 1), lo que detiene la aplicación de Presión 186 de vacío externa (Figura 7) en la cámara 194 de vacío externa (Figura 1). Como también se describió anteriormente en el Paso 312, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 7) puede iniciarse una vez que todas las ubicaciones de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) estén dentro de un rango predeterminado de la temperatura 214 intermedia. Por ejemplo, para una La estructura 106 de material compuesto equipada con termopares 122 (Figura 1) en múltiples ubicaciones en la estructura 106 de material compuesto, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede iniciarse no antes de que la temperatura detectada por cada termopar esté dentro de 5.55°C (10°F) (por ejemplo, 68.33°C (155°F)) de la temperatura 214 intermedia (por ejemplo, 73.88°C (165°F)). El paso 412 de la Figura 6 puede incluir mantener la estructura 106 de material compuesto aproximadamente a la temperatura 214 intermedia (por ejemplo, dentro de 5.55°C (10°F)) durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 7).

60 El paso 414 del método 400 de la Figura 6 puede incluir aplicar la presión 164 de compactación (Figura 2, por ejemplo, presión atmosférica) al sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) y la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (por ejemplo, de t2-t3 en la Figura 7) de la misma manera que se describió anteriormente en el paso 312 de la Figura 300. Como se mencionó anteriormente, la aplicación de la presión 164 de compactación (La Figura 2) puede facilitar la desgasificación del aire 114 y/o los volátiles 116 del sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 2) y que puede generarse con el tiempo o como resultado del calentamiento del sello 158 de la cámara de bolsa interna. El aire 114 y/o los volátiles 116 del sello

158 de la cámara de bolsa interna pueden dirigirse hacia el puerto 152 de vacío de bolsa y/o el puerto 182 de vacío de la cubierta durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa. Como se explicó anteriormente en el paso 312, el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 7) puede continuarse durante un período de tiempo predeterminado durante el cual el sello 158 de la cámara de bolsa interna (Figura 1) se puede desgasificar y consolidar para mejorar así la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna al mantener un sello hermético al vacío de la bolsa 150 de vacío con la herramienta 104 de conformación durante el ciclo 402 de curado de dos etapas (Figura 7). Como se indicó anteriormente, la mejora en la efectividad del sello 158 de la cámara de bolsa interna durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 7) puede disminuir la cantidad de aire que se introduce en la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) durante el curado y puede aumentar la magnitud de la presión 164 de compactación (Figura 2) que se puede aplicar a la estructura 106 de material compuesto durante el resto del ciclo 402 de curado de dos etapas. Una disminución en las fugas de aire y un aumento en la presión 164 de compactación (Figura 2) en la estructura 106 de material compuesto durante el curado puede dar como resultado una reducción de los vacíos (no mostrados) en la estructura 106 de material compuesto y un aumento correspondiente en las propiedades mecánicas del artículo 118 de material compuesto curado, como se describió anteriormente.

La etapa 416 del método 400 de la Figura 6 puede incluir detener la ventilación de la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (Figura 1) y volver a aplicar la presión 186 de vacío externa (Figura 7) a la cámara 194 de vacío externa (por ejemplo, en t3 en la Figura 7) para terminar el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa (Figura 7), de la misma manera que se describió anteriormente en el Paso 316 de la Figura 3. La presión 186 de vacío externa (Figura 7) se puede aplicar al mismo nivel que antes del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa para lograr el mismo diferencial 192 de presión (Figura 7) con la cámara 166 de bolsa interna (Figura 1) que antes del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa. La terminación del período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa puede permitir la evacuación de la humedad 112, el aire 114 y/o los volátiles 116 de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) para continuar al menos durante el resto del período 222 de mantenimiento de la temperatura intermedia (por ejemplo, al menos hasta t4 en la Figura 7). Durante el período 222 de mantenimiento de la temperatura intermedia, la temperatura de la estructura 106 de material compuesto se puede mantener relativamente constante a la temperatura 214 intermedia.

El paso 418 del método 400 de la Figura 6 puede incluir volver a ventilar la cámara 194 de vacío externa (Figura 1) a la atmósfera 102 (por ejemplo, aproximadamente en t4 en la Figura 7) para terminar el período 222 de mantenimiento de la temperatura intermedia (Figura 7) mediante abrir el puerto 182 de vacío de la cubierta (Figura 1) mientras se mantiene la presión 156 de vacío de la bolsa interna (Figura 7) en la cámara 166 de la bolsa interna (Figura 1), de manera similar al paso 318 de la Figura 3 descrito anteriormente. La fuente 184 de vacío (Figura 1) se puede desactivar para detener la aplicación de la presión 186 de vacío externa (Figura 7) en la cámara 194 de vacío externa. El paso 420 del método 400 puede incluir la aplicación de la presión 164 de compactación (Figura 2, por ejemplo, presión atmosférica) de la bolsa 150 de vacío (Figura 2) contra la estructura 106 de material compuesto (Figura 2) en respuesta a la reventilación de la cámara 194 de vacío externa (Figura 2) a la atmósfera 102, de manera similar a la Etapa 320 descrita anteriormente de la Figura 3. Como se indicó anteriormente, la desgasificación y consolidación n del sello 158 de la cámara de bolsa interna durante el período 226 de ventilación de la cámara de vacío externa mejora ventajosamente la efectividad y la integridad del sello 158 de la cámara de bolsa interna para permitir que se aplique una presión de vacío total a la estructura 106 de material compuesto sin fugas del sello 158 de la cámara de la bolsa interna durante el tiempo restante del ciclo 402 de curado de dos etapas (Figura 7).

El paso 422 del método 400 de la Figura 6 puede incluir aumentar la temperatura de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1) desde la temperatura 214 intermedia (Figura 7) hasta la temperatura 216 de curado (Figura 7) y mantener la estructura 106 de material compuesto en la temperatura 216 de curado durante un período 224 de mantenimiento de temperatura de curado (Figura 7). En el Paso 422, la temperatura de la estructura 106 de material compuesto puede incrementarse a una tasa sustancialmente constante durante una segunda rampa 208 de temperatura (por ejemplo, desde t4-t5 en la Figura 7) hasta la temperatura 216 de curado. La segunda rampa 208 de temperatura hasta La temperatura 216 de curado puede tardar entre 30 minutos y 1 hora o más, aunque es posible que haya tiempos más largos o más cortos. Como se mencionó anteriormente, la temperatura 216 de curado puede ser específica para el sistema de material dado (por ejemplo, la composición de resina) de la estructura 106 de material compuesto. En un ejemplo en donde la estructura 106 de material compuesto incluye resina epoxi (no mostrada), la temperatura 216 de curado puede ser en el rango de aproximadamente 173.88°C-185°C (345-365°F).

El método 400 puede incluir mantener la estructura 106 de material compuesto a la temperatura 216 de curado (Figura 7) durante el período 224 de mantenimiento de temperatura de curado (por ejemplo, de t5-t6 en la Figura 7). Dependiendo del sistema de material, el período 224 de mantenimiento de la temperatura de curado (Figura 7) puede tener una duración de aproximadamente 1-3 horas o más, según sea necesario para avanzar hacia el final del curado de la estructura 106 de material compuesto (Figura 1). El método 400 puede incluir disminuir la temperatura de la estructura 106 de material compuesto (por ejemplo, de t6-t7 en la Figura 7) de la temperatura 216 de curado (Figura 7) a la temperatura 210 ambiente (Figura 7) durante un período 218 de enfriamiento de la temperatura (Figura 7) que se puede realizar de manera continua y a una tasa sustancialmente constante y que resulta en un artículo 118 de material compuesto curado (Figura 5).

La Figura 8 es una ilustración de una vista en perspectiva de un avión 516 que incluye uno o más artículos 118 compuestos (Figura 3) que se pueden fabricar usando uno o más ejemplos de los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) descritos aquí. El avión 516 puede incluir un fuselaje 518 que tiene una nariz 520 en un extremo delantero y un empalme 522 en un extremo posterior. El empalme 522 puede incluir una cola 526 vertical y una o más colas 524 horizontales. Además, el avión 516 puede incluir un par de alas 530 que se extienden hacia afuera desde el fuselaje 518. Una o más unidades 528 de propulsión pueden incluirse con el avión 516 por ejemplo, las unidades 528 de propulsión pueden apoyarse en las alas 530.

Aunque la Figura 8 es en general representativa de un avión 516 comercial, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) descritos aquí pueden implementarse para la fabricación de artículos 118 compuestos (Figura 5) para cualquier tipo de avión, incluidos aviones comerciales, civiles y militares. Incluyendo aeronaves de ala fija, aeronaves de ala rotatoria y cualquiera de una variedad de otros tipos de vehículos aéreos. Además, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) descritos aquí pueden implementarse para fabricar artículos 118 compuestos (Figura 5) que se pueden usar en vehículos espaciales, incluidos, entre otros, misiles, cohetes, vehículos de lanzamiento, satélites. Además, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) pueden implementarse para fabricar artículos 118 compuestos (Figura 5) para vehículos terrestres, incluidos cualquier tipo de vehículos motorizados y cualquier tipo de embarcaciones. A este respecto, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) pueden implementarse para formar artículos 118 compuestos (Figura 5) para cualquier tipo de aplicación vehicular o no vehicular, sin limitación, incluyendo cualquier tipo de sistema, ensamblaje, subconjunto, o estructura incluyendo edificios y otras -estructuras terrestres.

Con referencia a la Figura 9, las realizaciones de la presente divulgación se pueden describir en el contexto de un método 500 de fabricación y servicio de aeronave como se muestra en la Figura 9 y una aeronave 516 como se muestra en la Figura 10. Durante la preproducción, el método 500 de ejemplo puede incluir la especificación y el diseño 502 de la aeronave 516 y la adquisición de material 504. Durante la producción, se lleva a cabo la fabricación de componentes y subconjuntos 506 y la integración 508 del sistema de la aeronave 516. A partir de entonces, la aeronave 516 puede pasar por la certificación y la entrega 510 para ser puesta en servicio 512. Mientras el cliente está en servicio 512, la aeronave 516 está programada para el mantenimiento de rutina y el servicio 514 (que también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación, etc.). Como se menciona a continuación, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) descritos actualmente pueden implementarse durante la producción, fabricación 506 del componente y subconjunto. Por ejemplo, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) pueden implementarse para la producción, fabricación, modificación, reconfiguración y/o reacondicionamiento de componentes y subconjuntos de cualquiera de una variedad de diferentes componentes de aeronave (no mostrados) de la aeronave 516, que incluyen, entre otros, el fuselaje 630 y/o el interior 632 de la aeronave 516.

Cada uno de los procesos del método 500 (Figura 9) puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los propósitos de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de proveedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una compañía de arrendamiento, una entidad militar, una organización de servicio, etc.

Como se muestra en la Figura 10, la aeronave 516 producida por el método 500 de ejemplo puede incluir un fuselaje 630 con una pluralidad de sistemas 634 de alto nivel y un interior 632. Ejemplos de sistemas 634 de alto nivel incluyen uno o más de un sistema 636 de propulsión, un sistema 638 eléctrico, un sistema 640 hidráulico y un sistema 642 ambiental. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas 634. Los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) descritos actualmente pueden implementarse durante la producción, fabricación 506 del componente y/o del subconjunto de la aeronave 516 (Figura 10) y/o durante la integración 508 del sistema de la aeronave 516. Por ejemplo, los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) pueden implementarse para fabricar artículos 118 compuestos (Figura 5) que pueden incorporarse en la estructura del avión 630, como el fuselaje 518 (Figura 8), la cola 526 vertical (Figura 8), las colas 524 horizontales (Figura 8), y/o las alas 530 (Figura 8). Los métodos 300, 400 (Figuras 3 y 6) también pueden implementarse para fabricar uno o más componentes de aeronave que pueden incluirse en uno o más sistemas 634 de alto nivel y/o en el interior 632 de la aeronave 516. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la invención pueden aplicarse a otras industrias, como la industria automotriz.

Los aparatos y métodos incorporados en este documento pueden emplearse durante una o más de las etapas del método 500 de producción y servicio (Figura 9). Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso de producción pueden fabricarse o fabricarse de manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 516 (Figura 8) está en servicio. Además, se pueden utilizar una o más realizaciones de aparatos, realizaciones de métodos o una combinación de las mismas durante las etapas de producción y, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamblaje de o reduciendo el coste de un avión 516. De manera similar, una o más de las realizaciones de aparatos, Las realización del método, o una combinación de ellas, pueden utilizarse mientras la aeronave 516 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, en mantenimiento y servicio 514 (Figura 9).

Modificaciones y mejoras adicionales de la presente divulgación pueden ser evidentes para los expertos en la técnica. Por lo tanto, la combinación particular de partes descritas e ilustradas en el presente documento pretende representar solo ciertas realizaciones de la presente divulgación y no pretende servir como limitaciones de realizaciones alternativas o dispositivos dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método (300, 400) para evitar la fuga de un sello (158) de cámara de bolsa interna de una bolsa (150) de vacío durante el curado de una estructura (106) de material compuesto, que comprende:
- 5 aplicar (306, 406) una presión de vacío de bolsa interna a una cámara (166) de bolsa interna y una presión de vacío externa a una cámara (104) de vacío externa, estando formada la cámara de bolsa interna por una bolsa de vacío que cubre la estructura de material compuesto y se sella a una herramienta (104) de conformación, no siendo la presión de vacío de la bolsa interna menor que la presión de vacío externa;
- aumentar (308, 408) la temperatura de una estructura compuesta a una temperatura elevada para iniciar un período de mantenimiento de la temperatura;
- 10 ventilar (312, 412) la cámara de vacío externa a la atmósfera para iniciar un período de ventilación de la cámara de vacío externa durante el período de mantenimiento de la temperatura;
- aplicar (314, 414) presión de compactación al sello de la cámara de la bolsa interna durante el período de ventilación de la cámara de vacío externa; y
- 15 volver a aplicar (316, 416) la presión de vacío externa a la cámara de vacío externa para terminar el período de ventilación de la cámara de vacío externa.
2. El método de la Reivindicación 1, que incluye además: embolsar la estructura de material compuesto debajo de la cámara de la bolsa de vacío interna.
3. El método de la Reivindicación 1 o 2, que incluye además: sellar una cubierta (180) rígida a la herramienta (104) de conformación de modo que la cubierta (180) cubra la bolsa (150) de vacío para formar la cámara de vacío externa.
- 20 4. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 3, que incluye además: extraer la humedad, el aire y/o los volátiles de la estructura de material compuesto hacia un puerto (152) de vacío de la bolsa durante el período de mantenimiento de la temperatura.
5. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, en donde: el sello de la cámara de la bolsa interna es inicialmente un sellador no curado que se cura con el tiempo.
- 25 6. El método de la Reivindicación 5, en donde: el sellador no curado es un sellador de caucho de butilo.
7. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 6, en donde la etapa de aplicar la presión de vacío de la bolsa interna y la presión de vacío externa incluye: aplicar la presión de vacío de la bolsa interna a un nivel igual a la presión de vacío externa.
- 30 8. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 7, en donde el paso de aplicar la presión de vacío de la bolsa interna y la presión de vacío externa incluye: aplicar la presión de vacío de la bolsa interna a un nivel entre 1693.1 Pa-5079.57 Pa (0.5-1.5 pulgadas de Hg) mayor que la presión de vacío externa.
9. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 8, en donde la etapa de ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera incluye: iniciar el período de ventilación de la cámara de vacío externa cuando todas las ubicaciones de la estructura de material compuesto estén dentro de 5.55°C (10°F) de la temperatura elevada.
- 35 10. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 9, en donde la disposición de material compuesto incluye termopares montados en diferentes ubicaciones en la estructura de material compuesto, el paso de ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera incluye: iniciar el período de ventilación de la cámara de vacío externa cuando la temperatura detectada por todos los termopares alcanza la temperatura elevada.
- 40 11. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 10, en donde la etapa de aplicar presión de compactación al sello de la cámara de bolsa interna durante el período de ventilación de la cámara de vacío externa incluye:
- extraer aire y sustancias volátiles desde el sello (158) de la cámara de bolsa interna hacia al menos uno de un puerto (152) de vacío de bolsa y un puerto (182) de vacío de cubierta.
- 45 12. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 11, en donde el sello de cámara de bolsa interna hace espuma al menos durante la aplicación de la presión de vacío externa, el paso de aplicar presión de compactación al sello de cámara de bolsa interna incluye:
- continuar el período de ventilación de la cámara de vacío externa hasta que cese la espuma del sello de la cámara de bolsa (158) interna.
13. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 12, en donde el paso de aplicar presión de compactación al sello de la cámara de la bolsa interna incluye:

continuar el período de ventilación de la cámara de vacío externa hasta que la estructura de material compuesto se consolide a un nivel de no más del 20% de una cantidad total de consolidación de la capa compuesta cuando se cura.

14. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 13, en donde la etapa de volver a aplicar la presión de vacío externa a la cámara de vacío externa incluye:

- 5 volver a aplicar la presión de vacío externa a la cámara de vacío externa al mismo nivel que antes del período de ventilación de la cámara de vacío externa.

15. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 14, que incluye además:

volver a ventilar la cámara de vacío externa a la atmósfera después de terminar el período de ventilación de la cámara de vacío externa.

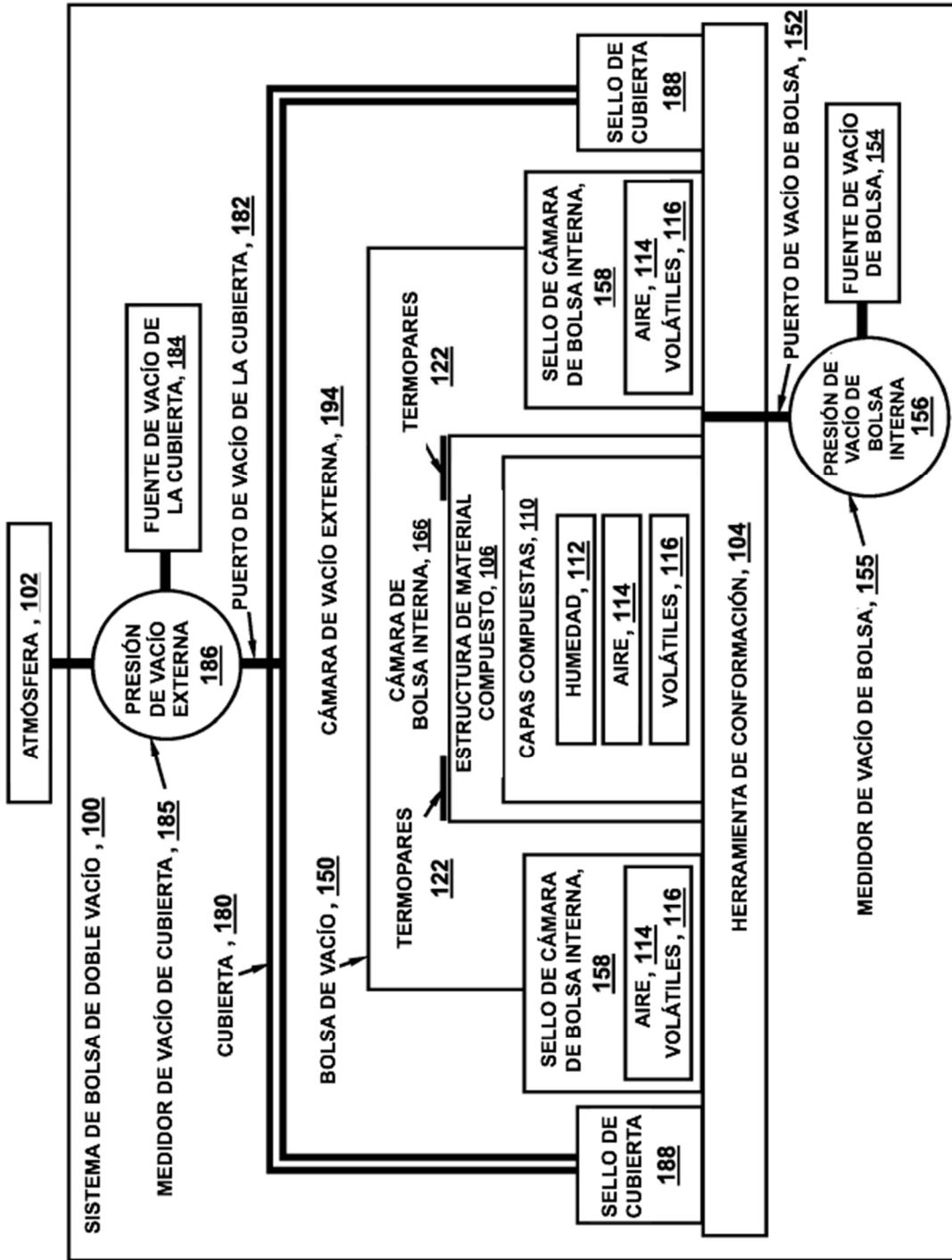


FIG. 1

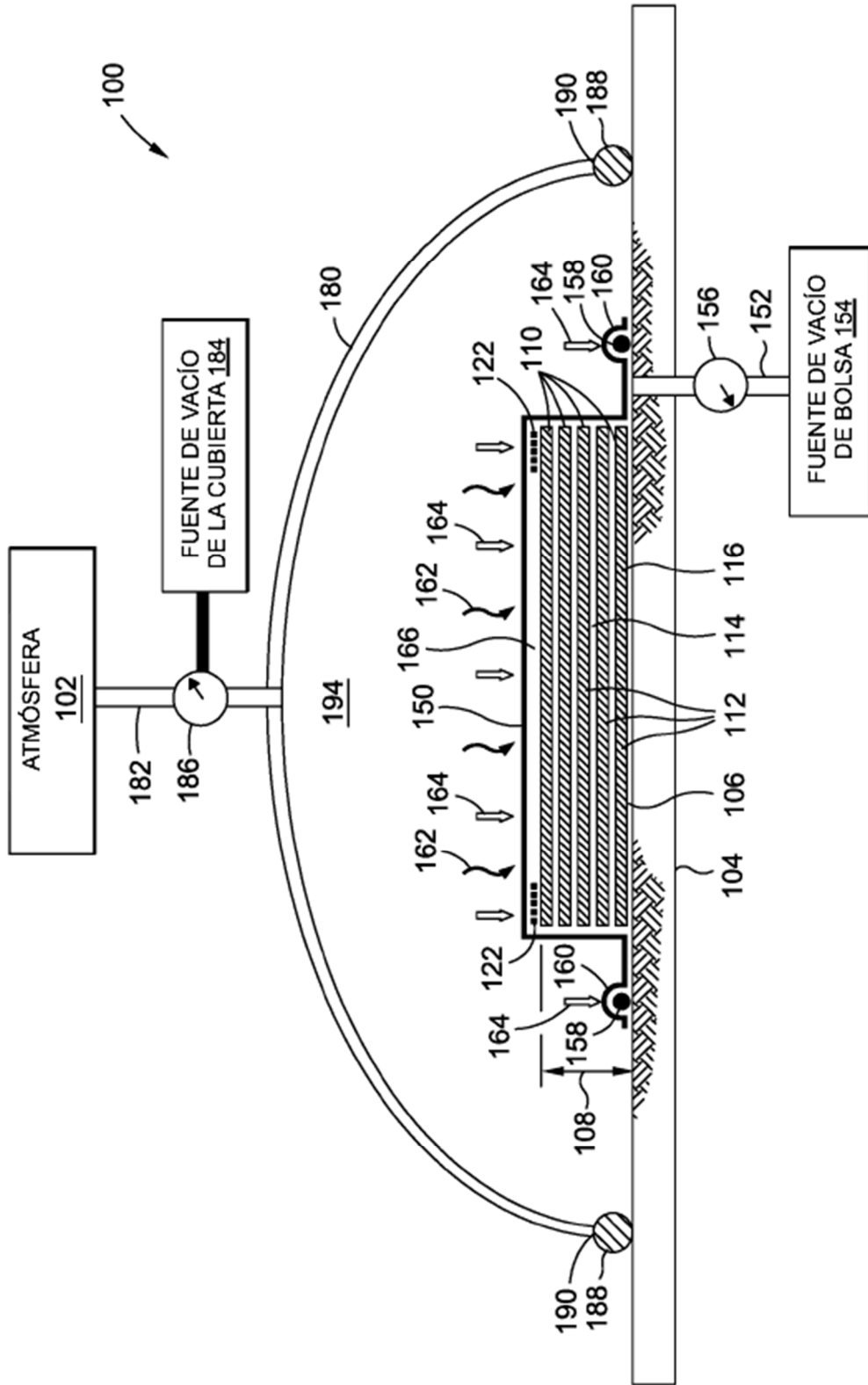


FIG. 2

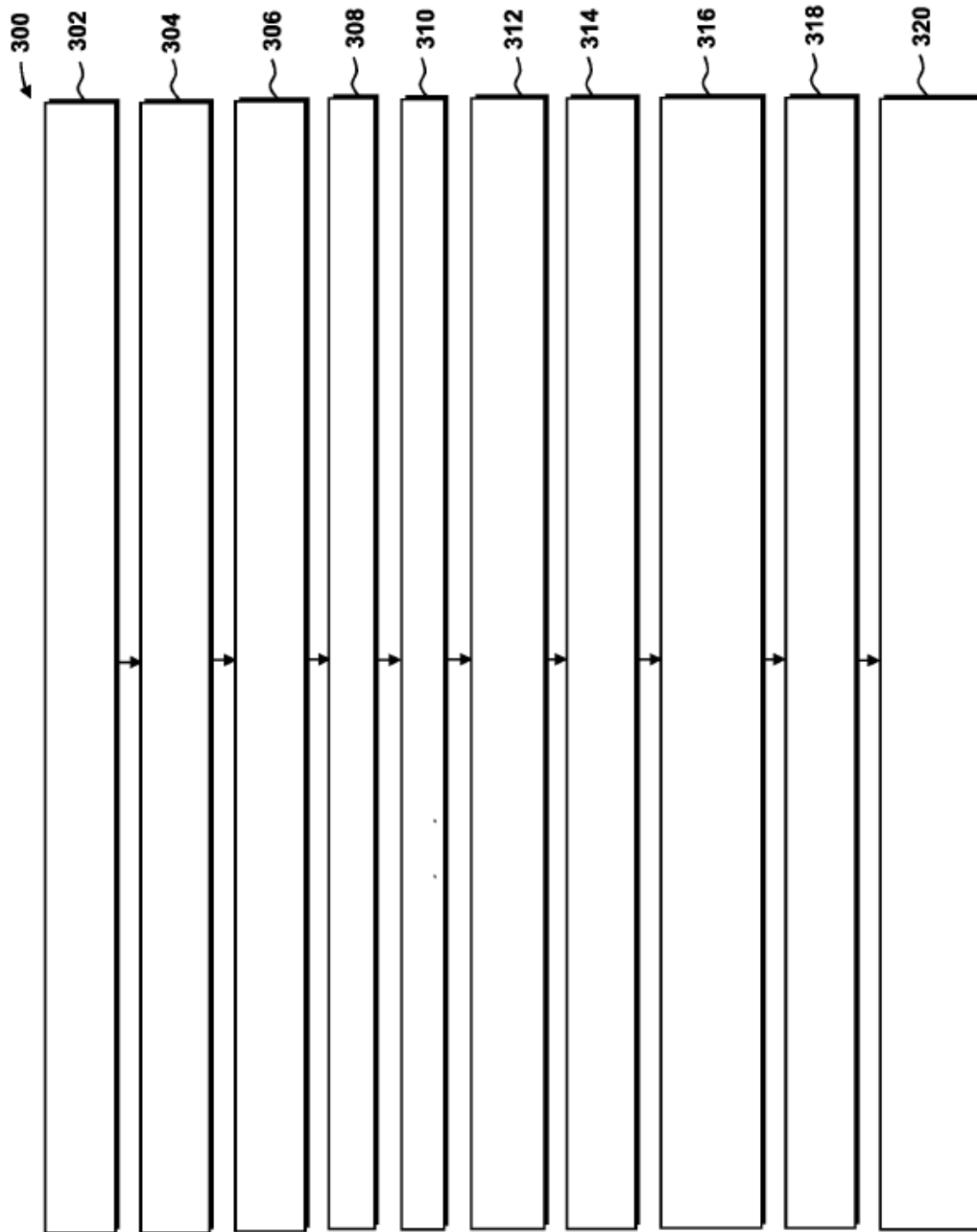


FIG. 3

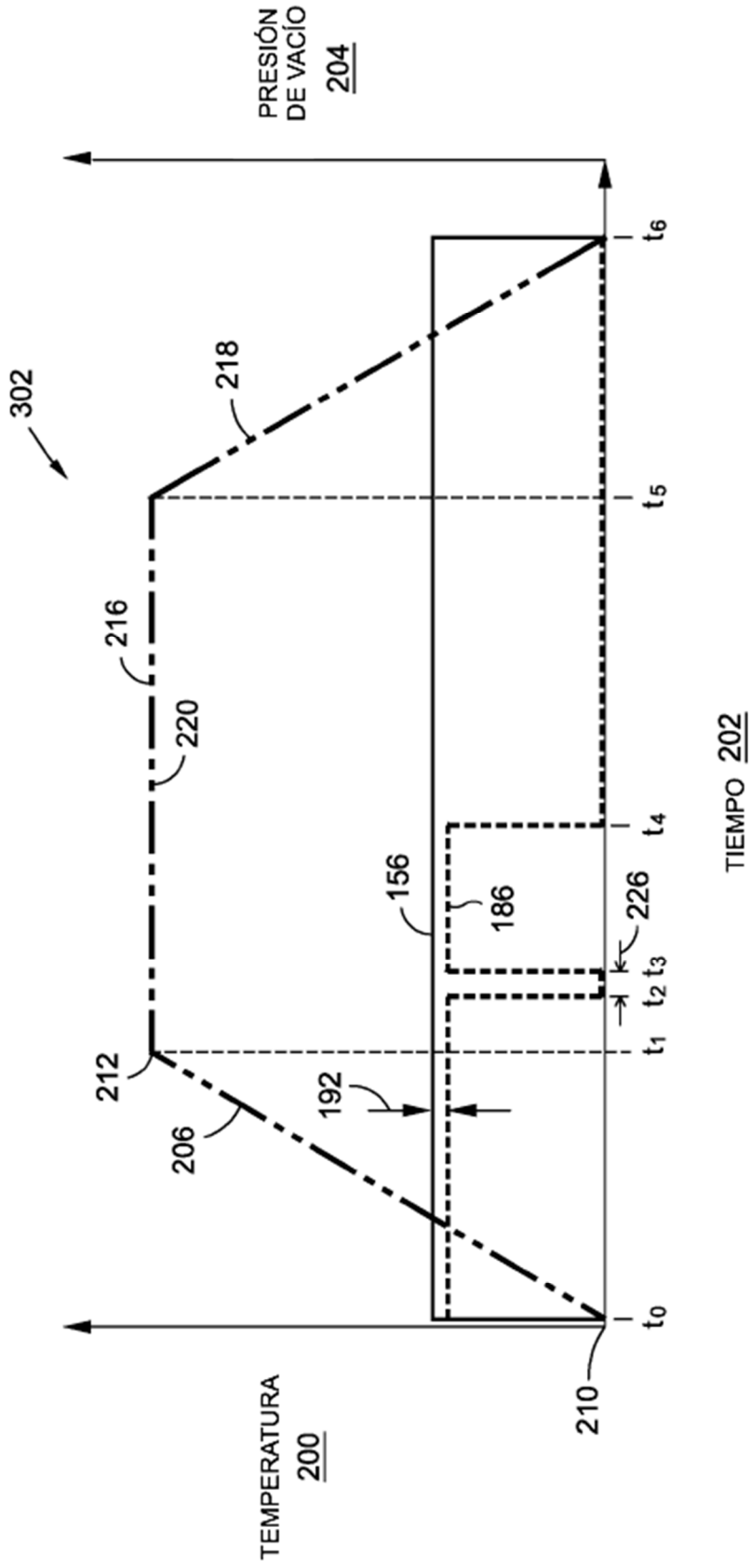


FIG. 4

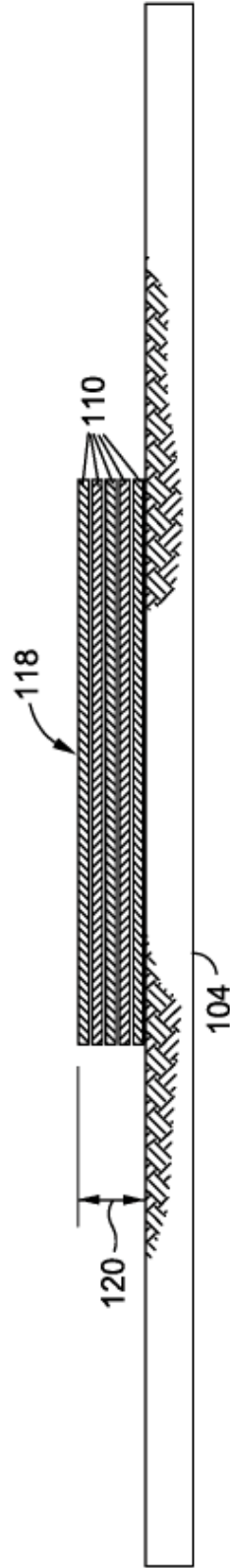


FIG. 5

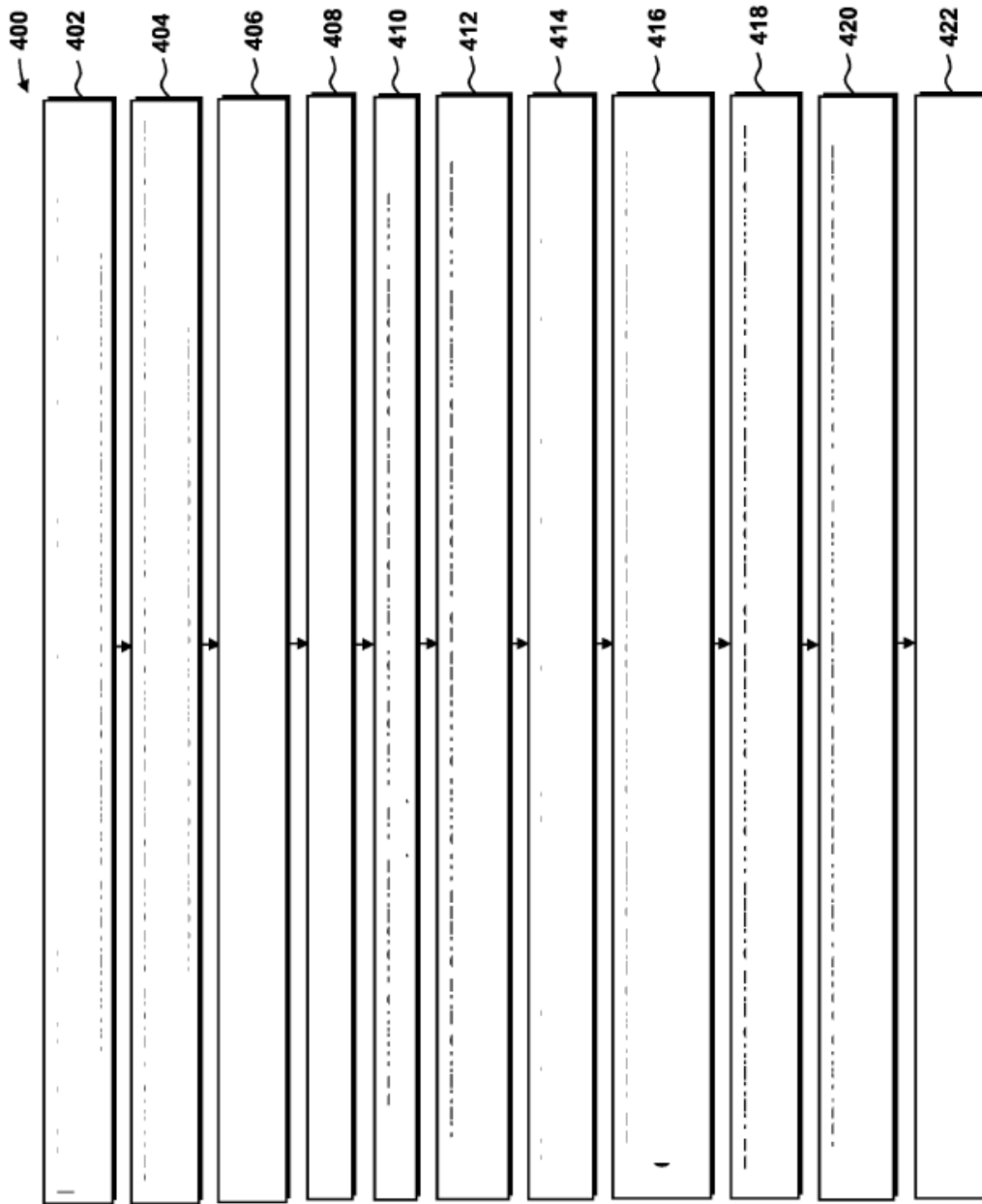


FIG. 6

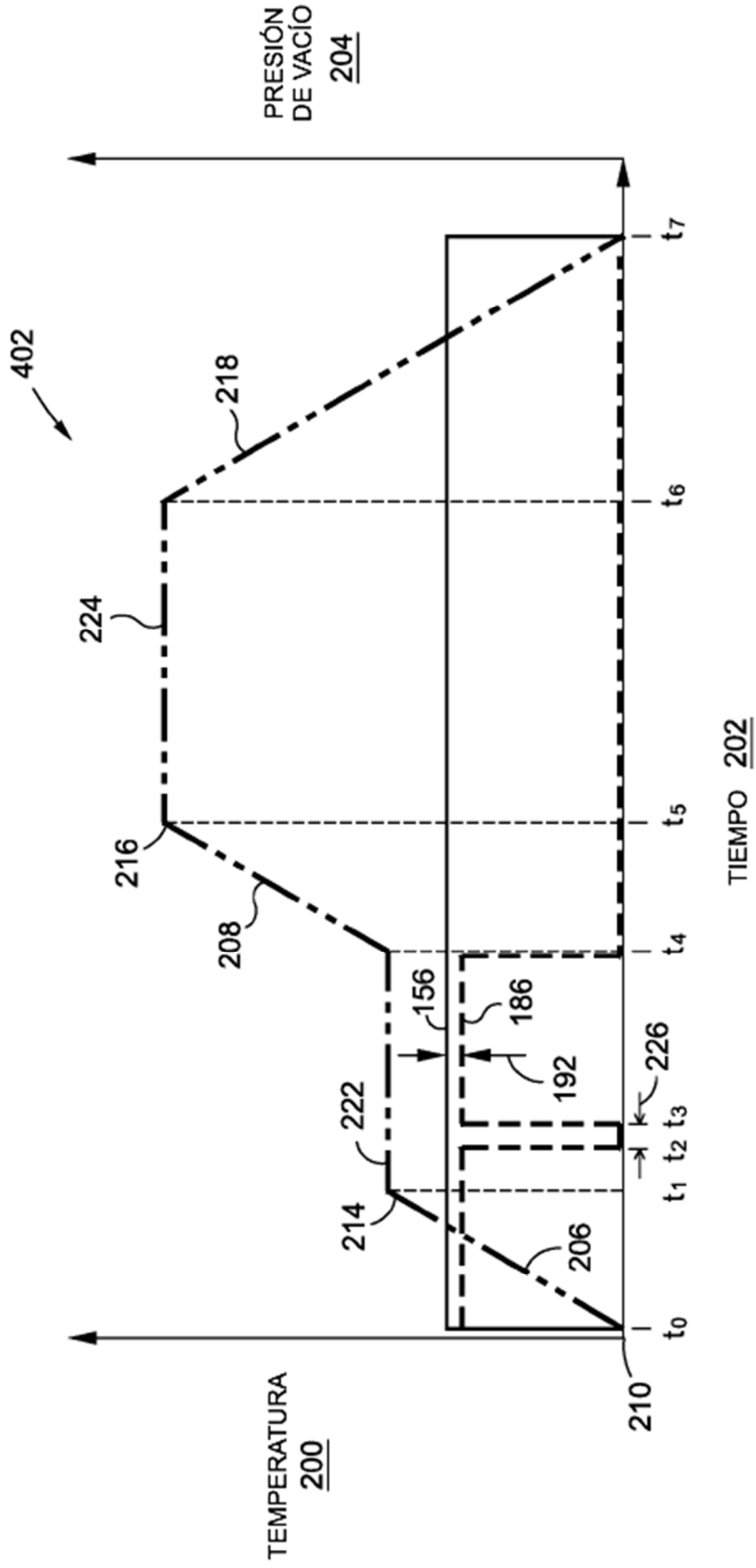


FIG. 7

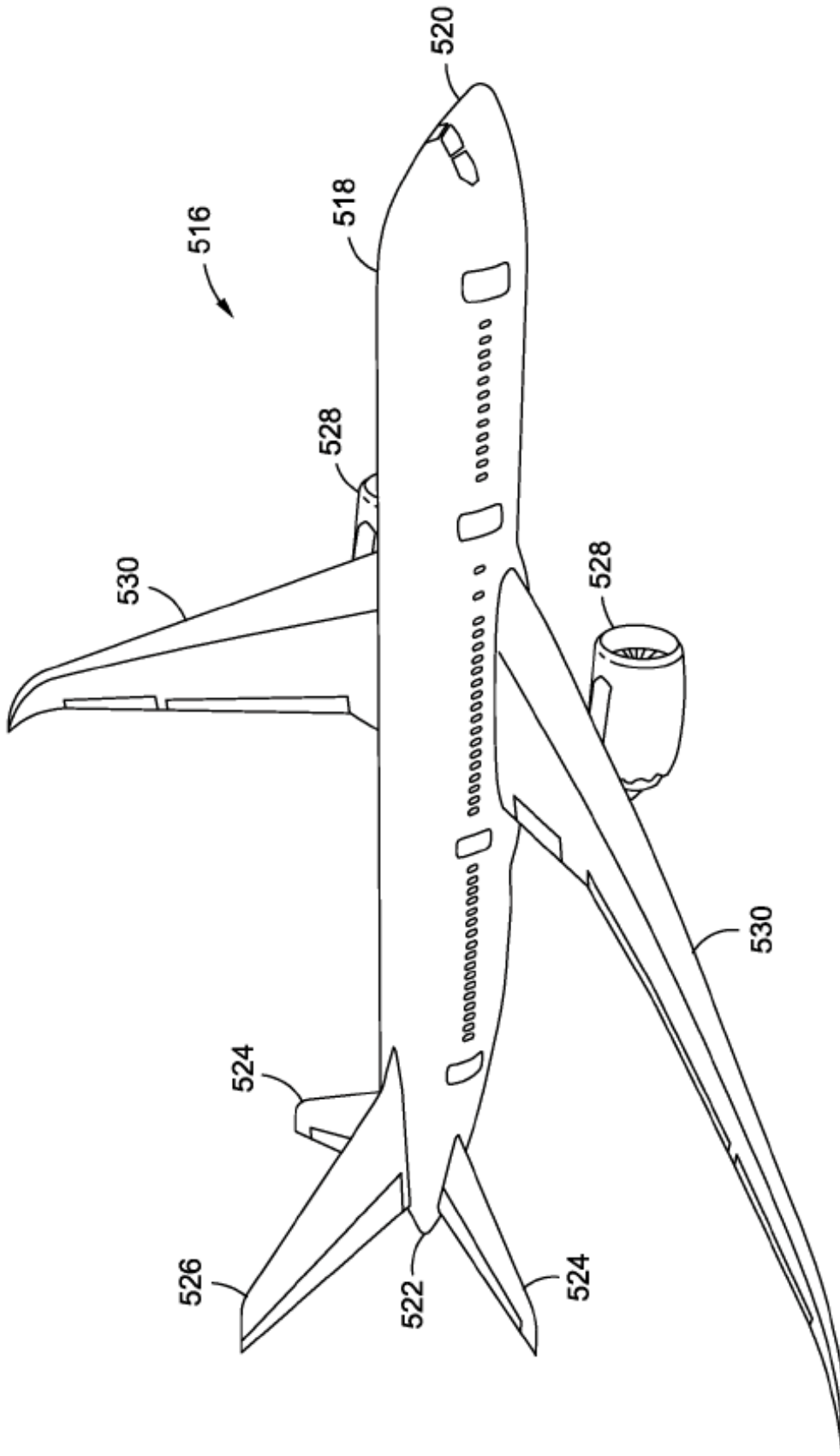


FIG. 8

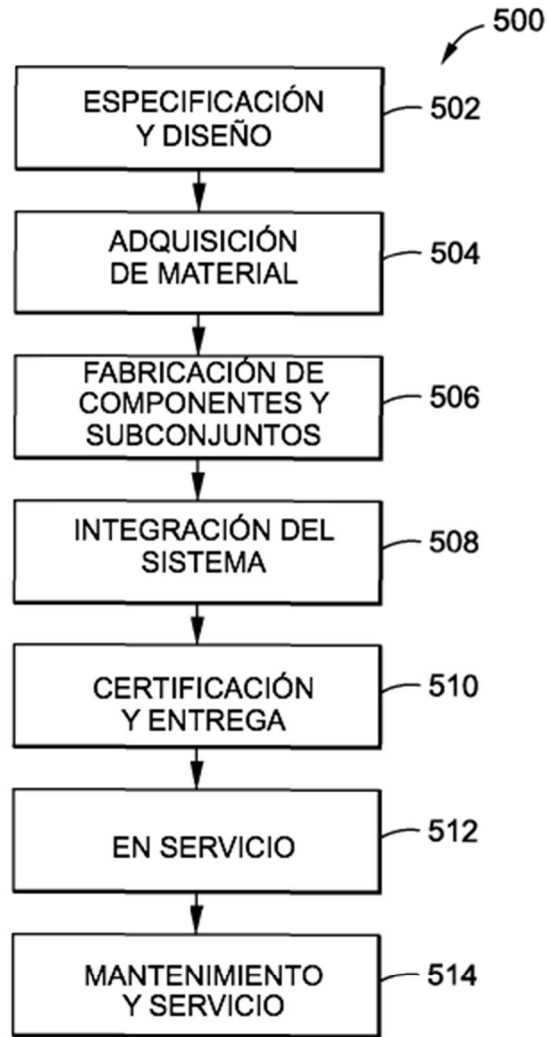


FIG. 9

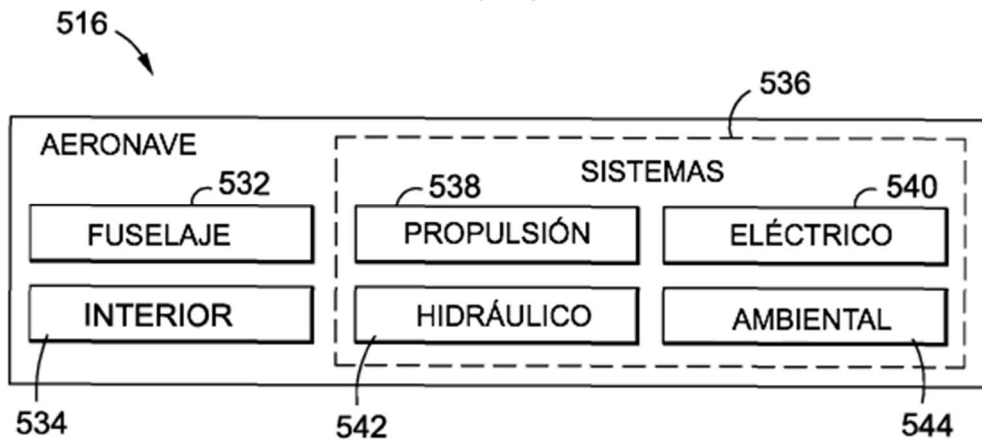


FIG. 10