

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 454**

51 Int. Cl.:

B29C 70/44 (2006.01)

B29C 73/00 (2006.01)

B29C 35/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2010 PCT/US2010/056605**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2011 WO11075252**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2010 E 10779651 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2512783**

54 Título: **Procedimiento de curado por doble vacío de piezas de material compuesto**

30 Prioridad:

18.12.2009 US 641897

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

04.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ANDERSON, MICHAEL R. y
DEPASE, EDOARDO P.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 621 454 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

Procedimiento de curado por doble vacío de piezas de material compuesto

Campo técnico

5 Esta divulgación se refiere, por lo general, a equipos y métodos para fabricar piezas de material compuesto, y se ocupa más particularmente del procedimiento de curado por doble vacío de materiales compuestos.

Antecedentes

10 Los autoclaves son muy utilizados para curar piezas de material compuesto que tienen especificaciones de rendimiento más altas que requieren tolerancias dimensionales reducidas y baja porosidad. Calentar el material compuesto dentro de un autoclave produce una reacción química que cura la resina y produce sustancias volátiles dentro del material compuesto que se expulsan por la presión aplicada a la atmósfera dentro del autoclave. De manera similar, pueden utilizarse prensos para curar materiales compuestos aplicando calor y presión a una parte caliente a través de una cámara de aire hinchable. Sin embargo, puede que los autoclaves, las prensas de presión y equipos similares no sean convenientes para su uso en algunas aplicaciones, debido a su mayor coste de capital y la mano de obra que requieren para su instalación y funcionamiento. Además, el procedimiento de curado en autoclaves y prensas de presión puede estar limitado por el tamaño de las piezas que pueden procesarse.

15 El procedimiento de doble bolsa de vacío (DVB) también puede emplearse para curar piezas de material compuesto tales como laminados preimpregnados. A diferencia del curado en autoclave, el procedimiento de DVB no está limitado por el tamaño de la pieza. El procedimiento de DVB también exige menos inversión en equipos que el procedimiento en autoclave y puede proporcionar un control dimensional más estricto y un mayor rendimiento mecánico en la pieza curada en comparación con el procedimiento en autoclave o el procedimiento de bolsa de vacío individual (SVB).

20 El equipo y los métodos de procedimiento de DVB anteriores pueden ser relativamente laboriosos y requerir mucho tiempo. El equipo de DVB comprende bolsas de vacío interiores y exteriores que deben colocarse y sellarse individualmente a una base de herramienta mediante trabajo manual. Debe verificarse que no haya fugas en cada bolsa antes de comenzar el procedimiento. Además, la técnica de procedimiento de DVB actual requiere una etapa intermedia de mantenimiento a baja temperatura durante el ciclo de procedimiento en la que la temperatura de la pieza se mantiene a un nivel sustancialmente constante durante un periodo de tiempo a medida que la pieza se eleva hasta una temperatura de curado deseada. Este mantenimiento intermedio a baja temperatura se añade al tiempo de procedimiento total de la pieza.

25 Por consiguiente, existe la necesidad de un aparato de curado por doble vacío simplificado y un método relacionado para curar piezas de material compuesto que reduzca tanto los costes laborales como los tiempos de procedimiento.

El documento US2005/0253309 A1 describe un proceso de doble vacío para la fabricación de materiales compuestos de matriz de resina.

Sumario

35 Las realizaciones desveladas proporcionan un aparato y un método relacionado para curar un laminado de preimpregnado mediante un procedimiento de doble vacío. El aparato es eficaz en la eliminación de sustancias volátiles, y puede producir piezas que exhiban variaciones de tolerancia dimensional reducidas y propiedades mecánicas mejoradas. El tiempo y la mano de obra necesarios para configurar el equipo y curar las piezas pueden reducirse mediante el uso de un conjunto de cámara de doble vacío integrado que comprende una bolsa interior flexible que se fija permanentemente a un recubrimiento exterior sustancialmente rígido. El uso del aparato puede permitir la reducción o eliminación de un mantenimiento intermedio a baja temperatura a medida que la temperatura de la pieza se incrementa hasta la temperatura de curado, reduciendo así adicionalmente el tiempo de procedimiento. El método y el aparato pueden utilizarse para producir piezas de material compuesto durante un proceso de fabricación original o para reelaborar piezas utilizando parches de material compuesto.

40 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para curar una pieza de material compuesto, de acuerdo con la reivindicación 1.

Las realizaciones divulgadas proporcionan un aparato y un método relacionado para el curado por doble vacío de laminados de material compuesto que evitan la necesidad de un procedimiento en autoclave y pueden producir piezas que presentan variaciones dimensionales reducidas entre piezas y propiedades mecánicas mejoradas.

50

Breve descripción de las ilustraciones

La Figura 1 es una ilustración de una vista en sección de un aparato para el curado por doble vacío de laminados de material compuesto de acuerdo con una realización.

5 La Figura 2 es una ilustración de una vista en sección de una forma alternativa del aparato en el que se emplean medios magnéticos para fijar la bolsa interior flexible a una herramienta.

La Figura 3 es una ilustración de una vista en sección de una realización del aparato en la que la bolsa interior flexible y el recubrimiento rígido exterior se integran en un único conjunto.

La Figura 4 es una ilustración de una vista en sección de un aparato que solo aparece para ayudar a comprender la invención en la que se proporciona una abertura en la herramienta para mejorar el calentamiento de la herramienta.

10 La Figura 5 es una ilustración de otra realización del aparato que emplea termopares y el uso de una fuente de calentamiento integrada en la herramienta.

La Figura 6 es una ilustración de otra realización del aparato en la que se ha añadido una masa térmica a la herramienta para mejorar la transferencia de calor a la pieza.

15 La Figura 7 es una ilustración de una vista en perspectiva de otra realización del aparato en la que un conducto de calentamiento se integra en la herramienta.

La Figura 8 es una ilustración de un diagrama de flujo que muestra las etapas de un método de doble curado al vacío de un laminado de material compuesto.

La Figura 9 es una ilustración de un gráfico que muestra la relación entre la temperatura y la presión de vacío con el tiempo de acuerdo con una realización del procedimiento.

20 La Figura 10 es una ilustración de un gráfico similar a la Figura 9, para una realización de proceso alternativo que no forma parte de la invención reivindicada.

La Figura 11 es una ilustración de un diagrama de flujo de la metodología de producción y servicio de aeronaves.

La Figura 12 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada

25 Haciendo referencia en primer lugar a la Figura 1, se utiliza un aparato 20 de cámara de doble vacío para realizar el curado fuera de un autoclave de una pieza 22 de material compuesto. Como se utilizan en el presente documento, "pieza" y "pieza de material compuesto" se utilizan en su sentido más general e incluyen, pero no se limitan a, diversas formas de estructuras tales como, sin limitación, vigas, soportes, paneles, elementos estructurales y no
30 estructurales, elementos y subconjuntos, por nombrar solo unos pocos. La pieza 22 puede comprender un laminado preimpregnado de múltiples capas que se coloca sobre o contra una herramienta 24 soportada sobre una base metálica 26 de la herramienta. Un recubrimiento 28 exterior sustancialmente rígido se sella alrededor de su periferia exterior 27 a la base 26 de la herramienta mediante una junta 36, formando de este modo una primera cámara de vacío exterior 32 sobre la pieza 22 de material compuesto. En una realización, la junta 36 puede comprender una junta elastomérica reutilizable que se fija permanentemente a la periferia 27 del recubrimiento 28 exterior. El
35 recubrimiento 28 exterior puede comprender cualquier material adecuado tal como un metal o un material compuesto que posea suficiente rigidez para permitir que el recubrimiento 28 sea sustancialmente autoportante y mantenga su forma. El recubrimiento 28 puede poseer cualquiera de diversas formas tanto en su base como en su sección transversal, lo que es adecuado para cubrir la pieza 22 particular que va a curarse. El recubrimiento 28 exterior incluye una entrada de vacío 50 conectada con una fuente de vacío 25 adecuada que puede funcionar para
40 introducir un vacío deseado en la cámara de vacío exterior 32.

Una bolsa 30 de vacío interior flexible contenida en el interior del recubrimiento 28 exterior cubre también la pieza 22 y se sella alrededor de su periferia 29 a la base 26 de la herramienta, formando de este modo una segunda cámara de vacío interior 34 sobre la pieza 22. La bolsa 30 puede comprender, por ejemplo y sin limitación, una bolsa de nylon de un solo uso convencional y la junta 38 puede ser una junta no reutilizable convencional. Como alternativa,
45 la bolsa 30 puede ser un tipo reutilizable fabricado, por ejemplo y sin limitación, de un material elastomérico, y la junta 38 puede comprender una junta elastomérica reutilizable. Aunque no se muestra en la Figura 1, por motivos de claridad, pueden colocarse capas adicionales de material sobre la pieza 22, por debajo de la bolsa 30 flexible, incluyendo, pero sin limitarse a, películas separadoras, ventiladores y placas de carga.

La base 26 de la herramienta puede incluir un paso 46 en su interior que comunica con la cámara de vacío interior 34. El paso 46 se acopla a través de una entrada de vacío 38 a una fuente de vacío 35 que se utiliza para introducir un nivel de vacío deseado dentro de la cámara de vacío interior 34 durante el procedimiento de curado. La base 26 de la herramienta puede incluir también una o más aberturas de ventilación 40 en su interior para permitir que el calor indicado por las flechas 42, procedente de una fuente de calor 44, sea ventilado directamente contra la herramienta 24. Como alternativa, el procedimiento de curado que utiliza el aparato 20 puede realizarse dentro de un horno (no mostrado) que se utiliza para calentar la pieza de material compuesto 22 a la temperatura de curado requerida.

La Figura 2 ilustra una realización alternativa del aparato 20 en la que una bolsa 30 de vacío interior elastomérica de tipo reutilizable cubre la pieza de material compuesto 20. La bolsa 30 incluye una tira magnética 52 integrada en la bolsa 30 y que rodea su periferia para sujetar la bolsa 30 contra la base 26 metálica de la herramienta. La bolsa 30 incluye además una junta de vacío reutilizable 54 unida permanentemente a la bolsa 30 para crear una junta hermética al vacío fuera de la tira magnética 52 y que rodea la pieza 22. La integración de la bolsa 30, la tira magnética 52 y la junta reutilizable 54 en un único conjunto permite que la bolsa 30 se despliegue rápidamente sobre la pieza 22 y se selle a la base 26 de la herramienta.

Ahora se presta atención a la Figura 3, que ilustra otra realización del aparato 20 en la que la bolsa 30 flexible interior se fija permanentemente a la periferia 27 del recubrimiento 28 exterior de manera que el recubrimiento 28 exterior y la bolsa 30 interior forman un único conjunto 37 de cámara de doble vacío que puede colocarse fácil y rápidamente sobre, y sellarse a, la base 26 de la herramienta, cubriendo la pieza 22. La integración del recubrimiento 28 exterior, la bolsa 30 interior y la junta 36 hermética en un único conjunto 37 permite comprobar las fugas del recubrimiento exterior 28 y de la bolsa 30 interior antes de su instalación sobre la pieza 22, reduciendo así el tiempo de procedimiento. En este ejemplo, una junta 36 reutilizable se fija a la periferia 27 del recubrimiento 28, con la bolsa 30 interior intercalada entre medias de manera que la junta 36 actúa para sellar ambas cámaras de vacío exterior e interior 32, 34, respectivamente, sobre la base 26 de la herramienta.

Debe observarse aquí que aunque las diversas realizaciones se describen en relación con la producción de piezas de material compuesto originales como parte de un proceso de fabricación, pueden emplearse diversos componentes del aparato, que incluyen el conjunto de cámara de doble vacío 37, así como el método divulgado para reelaborar piezas o estructuras. Por ejemplo, las realizaciones pueden emplearse para curar un parche de material compuesto (no mostrado) y eliminar sustancias volátiles del mismo que se utiliza para reelaborar una parte de una estructura tal como la capa superficial de una aeronave (no mostrada), ya sea para mejorar la estructura o para restaurar la estructura a las especificaciones originales. En una aplicación de reelaboración de las realizaciones, el conjunto 37 de cámara de doble vacío puede colocarse sobre, y sellarse a, la estructura, en lugar de a una base 26 de la herramienta como se muestra en las Figuras.

Ahora se presta atención a la Figura 4, que ilustra otra realización del aparato 20 en la que una herramienta 24 montada sobre una base 26 de la herramienta incluye una sección transversal generalmente en forma de U que forma una abertura 56 en la cara posterior 57 de la herramienta 24. La abertura 56 permite que el aire caliente mostrado mediante la flecha 58, procedente de una fuente de calor adecuada (no mostrada), circule uniformemente alrededor de, y se ponga en contacto directamente con, la cara posterior 57 de la herramienta 24, mejorando de este modo la transferencia de calor a la pieza de material compuesto 22. En este ejemplo particular, la herramienta 24 incluye un par de superficies 24a, 24b de herramienta para calentar y mantener la forma de la pieza 22. El recubrimiento 28 exterior está provisto de una pestaña periférica 28a que forma una superficie 39 contra la que puede conformarse la junta 36 para crear una junta hermética al vacío alrededor de la cámara de vacío exterior 32.

Haciendo referencia ahora a la Figura 5, una forma adicional del aparato 20 incluye un recubrimiento 28 exterior sustancialmente rígido al que la bolsa 30 interior flexible y la junta 36 reutilizable se fijan permanentemente de manera que el recubrimiento 28, la bolsa 30 y la junta 36 puedan instalarse y retirarse sobre la pieza 22 como un único conjunto 37. En este ejemplo, pueden proporcionarse termopares 60 en el recubrimiento 28 y/o en la herramienta 24 para medir la temperatura de la pieza 22. Pueden proporcionarse pantallas 62 adecuadas para mostrar la temperatura detectada por los termopares 60. En esta realización, puede colocarse una fuente de calor 65 radiante o de otra forma en el interior de la abertura 56 para estar cerca de la cara posterior de la herramienta 24 y proporcionar calor directo a lo largo de la misma con el fin de aumentar la eficacia y reducir el tiempo requerido para la transferencia de calor a la pieza 22.

La Figura 6 ilustra otra realización más del aparato 20, en la que una masa térmica 64 que comprende un material termoconductor tal como, sin limitación, cobre o aluminio, se fija a la cara posterior de la herramienta 24 con el fin de maximizar aún más la velocidad y la eficacia de la transferencia de calor a la pieza 22, así como para calentar la pieza 22 de manera más uniforme. La realización del aparato 20 ilustrado en la Figura 6 utiliza una configuración de cámara de doble vacío integrada, similar a la mostrada en las Figuras 3 y 5. La periferia exterior 29 de la bolsa 30 se fija a la pestaña 28 en el recubrimiento 28 mediante una capa de adhesivo 66. La junta 36 se fija, a su vez, a la periferia 30 de la bolsa 30 mediante una segunda capa de adhesivo 68.

La Figura 7 ilustra una realización del aparato 20 en la que una abertura 56 en la cara posterior 57 de la herramienta 24 se cierra mediante un recubrimiento 70 para formar un conducto 72 a través de la herramienta 24. Una fuente de aire caliente 74 adecuada puede dirigir aire caliente a través del conducto 72 como se muestra mediante las flechas 76 con el fin de calentar directamente la cara posterior 57 de la herramienta 24 y, por lo tanto, la pieza 22. El recubrimiento 28 exterior y la bolsa 30 interior no se muestran en la Figura 7 por motivos de claridad.

La Figura 8 ilustra las etapas de un método para el curado por doble vacío de una pieza de material compuesto 22 que emplea el aparato 20 mostrado en las Figuras 1-7. A partir de la etapa 78, se coloca una pieza 22 de material compuesto sin curar sobre o contra una herramienta 24 de curado adecuada. Como se muestra en 80, el primer y segundo vacíos se introducen después sobre la pieza 22 utilizando las cámaras de vacío 32, 34 formadas respectivamente por el recubrimiento 28 exterior y la bolsa 30 interior. En la etapa 82, habiéndose introducidos el primer y segundo vacíos, la temperatura de la pieza 22 se incrementa continuamente mediante calentamiento hasta que la temperatura de la pieza alcanza una temperatura de curado preseleccionada. Como se explicará más adelante, la temperatura de la pieza se incrementa a una velocidad constante. A medida que la temperatura de la pieza 22 se aumenta hasta la temperatura de curado, el primer vacío se reduce a algún nivel preseleccionado, como se muestra en la etapa 84, de manera que el nivel del segundo vacío es mayor que el nivel del primer vacío. Una vez que la pieza 22 alcanza la temperatura de curado, se mantiene la temperatura de curado, como se muestra en la etapa 86 durante un período preseleccionado durante el que la pieza 22 se cura. Después de curar la pieza 22, se reduce la temperatura de la pieza 22 como se muestra en la etapa 88 y el primer y segundo vacíos se terminan como se muestra en la etapa 90.

La Figura 9 ilustra perfiles de presión y temperatura de vacío de acuerdo con el esquema de procedimiento adecuado para el curado por doble vacío de la pieza de material compuesto 22. Como se ha indicado anteriormente, sin embargo, el método descrito que utiliza el esquema de procedimiento mostrado en la Figura 9 también puede utilizarse para eliminar sustancias volátiles y curar parches de material compuesto (no mostrados) utilizados para reelaborar un área de una parte o estructura. Haciendo referencia a la Figura 9, la temperatura de la pieza 22 indicada mediante la gráfica 92 se aumenta continuamente a una velocidad sustancialmente constante desde el momento t_0 al t_2 hasta que se ha alcanzado la temperatura de curado preseleccionada en t_2 . A partir de t_0 , las presiones de vacío en las cámaras de vacío exterior e interior 32, 34, representadas respectivamente mediante gráficas 94 y 96 se introducen a los niveles preseleccionados, estando la primera presión de vacío 94 en la cámara de vacío exterior 32 ligeramente por encima de la presión de vacío 96 en la cámara interior 34.

En esta realización, la presión de vacío 96 en la cámara interior 34 se mantiene sustancialmente constante durante todo el ciclo de proceso. Sin embargo, en algún punto, t_1 entre t_0 y t_2 , la presión de vacío 94 en la cámara de vacío exterior 32 se reduce a un nivel que es materialmente menor que la presión de vacío 96 en la cámara de vacío interior 34. Durante el período entre t_0 y t_1 , dado que las dos presiones 94, 96 son casi iguales, la presión de vacío 94 en la cámara de vacío exterior 32 impide que la bolsa 30 interior aplique toda la presión de compactación sobre la pieza 22, permitiendo así que las sustancias volátiles en la pieza 22 escapen más fácilmente cuando la temperatura 92 se está elevando hasta la temperatura de curado. En el momento t_1 , sin embargo, la reducción de la presión de vacío 94 permite que la presión de vacío 96 en la cámara interior 34 aplique casi toda la presión a la pieza 22 para compactar la pieza 22 y expulsar las bolsas de aire en la pieza laminada 22 para evitar porosidades. El período entre t_2 y t_3 representa el período preseleccionado durante el que la temperatura 92 se mantiene a una temperatura de curado constante. A partir de t_3 , la temperatura 92 se reduce gradualmente durante un ciclo de enfriamiento hasta una temperatura ambiente en t_4 , momento en el que las presiones de vacío 94, 96 pueden terminar.

La Figura 10 ilustra un esquema de procedimiento de curado, que no forma parte de la invención reivindicada, que es generalmente similar a la Figura 9, aunque el ascenso de la temperatura 92 hasta la temperatura de curado, aunque es continuo, no es constante, sino que incluye uno o más cambios en la velocidad de aumento de la temperatura. En el ejemplo ilustrado, la temperatura 92 se incrementa entre t_0 y t_1 a una velocidad que es mayor que la mostrada en el esquema de la Figura 9. Sin embargo, en t_1 , la velocidad de aumento de temperatura se reduce hasta t_2 , momento en el que la velocidad de ascenso de la temperatura se reanuda hasta que la temperatura de curado se alcanza en t_3 .

Las realizaciones de la divulgación pueden encontrar uso en una variedad de aplicaciones posibles, particularmente en la industria del transporte, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales, marinas y automotrices. Por tanto, haciendo referencia ahora a las Figuras 11 y 12, pueden utilizarse realizaciones de la divulgación en el contexto de un método 98 de fabricación y mantenimiento de aeronaves como se muestra en la Figura 11 y una aeronave 100 como se muestra en la Figura 12. Durante la preproducción, el método 98 ejemplar puede incluir la especificación y el diseño 102 de la aeronave 100 y la adquisición de material 104. Durante la producción, se produce la fabricación 106 de componentes y subconjuntos y la integración 108 de sistemas de la aeronave 100. Los métodos y aparatos divulgados pueden utilizarse para curar piezas de material compuesto fabricadas durante la etapa 106 e integradas en la etapa 108. A continuación, la aeronave 100 puede pasar por la certificación y la entrega 110 para poder ponerse en servicio 112. Mientras un cliente lo tiene en servicio, la aeronave 100 se programa para un mantenimiento y servicio 114 rutinario (que también puede incluir la modificación, reconfiguración, renovación, etc.). Los métodos y aparatos desvelados pueden utilizarse para curar piezas de material compuesto que están

instaladas en la aeronave 100 durante el mantenimiento y el servicio 114.

5 Cada uno de los procesos del método 98 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero, y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los fines de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir sin limitación cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una compañía aérea, una compañía de leasing, una entidad militar, una empresa de servicios, etc.

10 Como se muestra en la Figura 12, la aeronave 100 producida por el método 98 ejemplar puede incluir un almacén 116 con una pluralidad de sistemas 118 y un interior 120. Ejemplos de sistemas de alto nivel 118 incluyen uno o más de un sistema de propulsión 122, un sistema eléctrico 124, un sistema hidráulico 126 y un sistema ambiental 128. Puede incluirse cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación pueden aplicarse a otras industrias, tales como las industrias marina, automotriz y de la construcción.

15 El aparato y los métodos realizados en el presente documento pueden emplearse durante una cualquiera o más de las etapas del método 98 de producción y servicio. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso 98 de producción pueden manufacturarse o fabricarse de manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 100 está en servicio. También pueden utilizarse una o más realizaciones del aparato, realizaciones del método o una combinación de las mismas durante las etapas de producción 106 y 108, por ejemplo, acelerando sustancialmente el montaje de una aeronave 100 o reduciendo el coste de la misma.

20 De manera similar, puede utilizarse una o más realizaciones del aparato, realizaciones del método o una combinación de las mismas mientras la aeronave 100 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para su mantenimiento y servicio 114.

25 Aunque las realizaciones de esta divulgación se han descrito con respecto a ciertas realizaciones ejemplares, debe entenderse que las realizaciones específicas son con fines ilustrativos y no limitativos, puesto que otras variaciones se les ocurrirán a los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Método de curado de una pieza de material compuesto, que comprende:

5 colocar la pieza de material compuesto (22) contra una herramienta (24) que tiene al menos un primer lado (24a) y un segundo lado opuesto al primer lado (24a), estando la pieza de material compuesto colocada contra el primer lado;

introducir un primer vacío y un segundo vacío sobre la pieza de material compuesto (22), correspondientemente, en una primera área de vacío (34) en la que se encuentra la pieza de material compuesto y una segunda área de vacío (32) fuera de la primera área de vacío en la que la presión j de vacío (94) del segundo vacío está ligeramente por encima de la presión de vacío (96) del primer vacío;

10 aumentar la temperatura de la pieza de material compuesto (22) calentando la herramienta y la pieza de material compuesto de una manera básicamente continua a una velocidad sustancialmente constante hasta que la herramienta y la pieza de material compuesto alcancen una temperatura de curado preseleccionada; y

15 antes de que la temperatura alcance una temperatura de curado de la pieza de material compuesto, reducir la presión de vacío (94) del segundo vacío a un nivel que sea materialmente menor que la presión de vacío del primer vacío;

mantener la temperatura de la pieza de material compuesto sustancialmente a la temperatura de curado durante un periodo preseleccionado manteniendo al mismo tiempo la presión de vacío del primer vacío (96) sustancialmente constante durante todo el ciclo del proceso; y

20 reducir la temperatura de la pieza de material compuesto después de que la temperatura de curado se haya mantenido durante el período preseleccionado; terminar los vacíos en la primera y segunda cámaras de vacío; en el que introducir el primer vacío y el segundo vacío incluye:

colocar una bolsa (30) sustancialmente flexible sobre la pieza de material compuesto (22) para formar la primera área de vacío (34),

25 formar una junta sustancialmente hermética al vacío entre la bolsa (30) y la herramienta (24), introducir aire de la bolsa (30) a través de una primera entrada de vacío (48) en la herramienta (24)

colocar un recubrimiento (28) sustancialmente rígido sobre la bolsa y la pieza de material compuesto (22) para formar la segunda área de vacío (32), e

introducir aire del recubrimiento (28) a través de una segunda entrada de vacío (50) en el recubrimiento (28); formando una junta hermética al vacío entre la bolsa (30) y el recubrimiento (28).

30 2. El método de la reivindicación 1, que comprende además:

sujetar una periferia de la bolsa (30) contra la herramienta utilizando un imán.

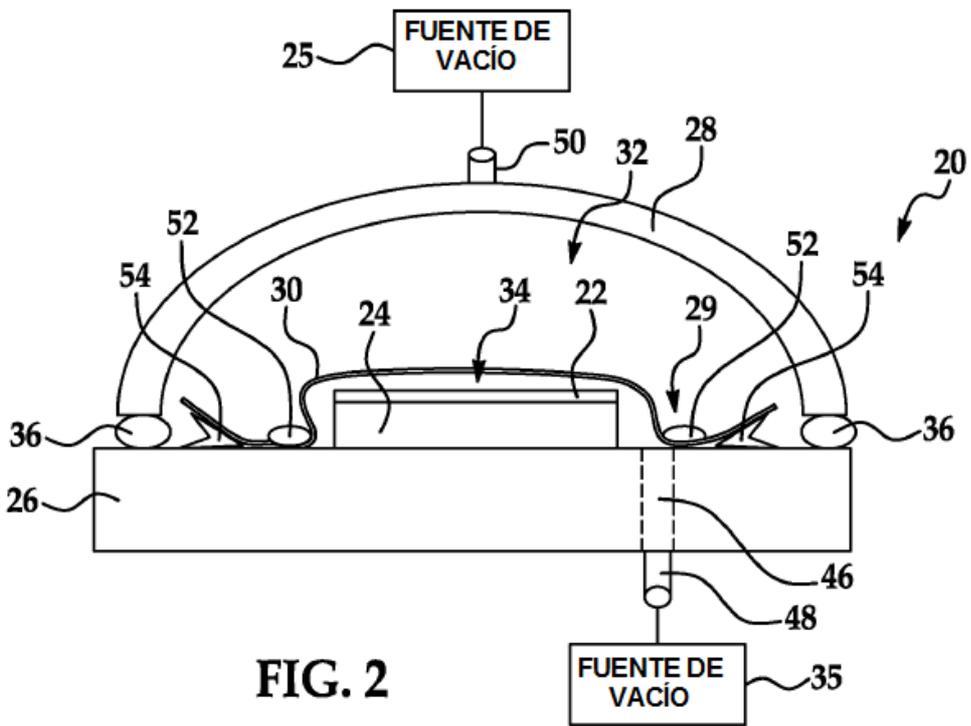
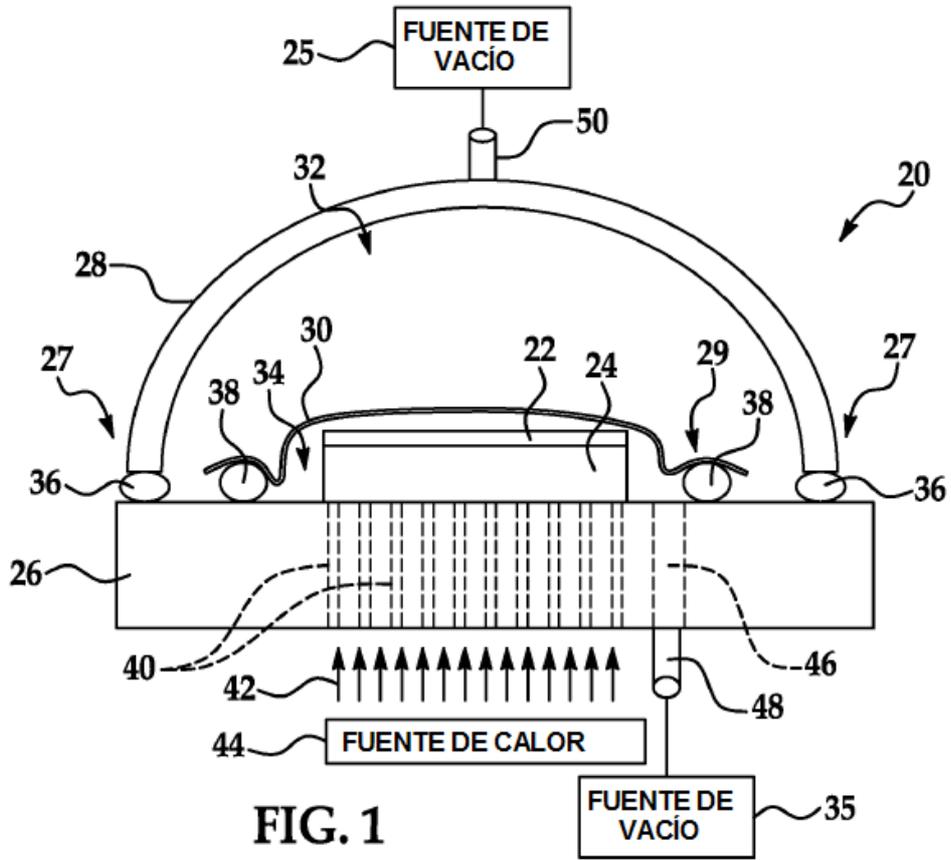
3. Un método de curado de una pieza de material compuesto (22) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:

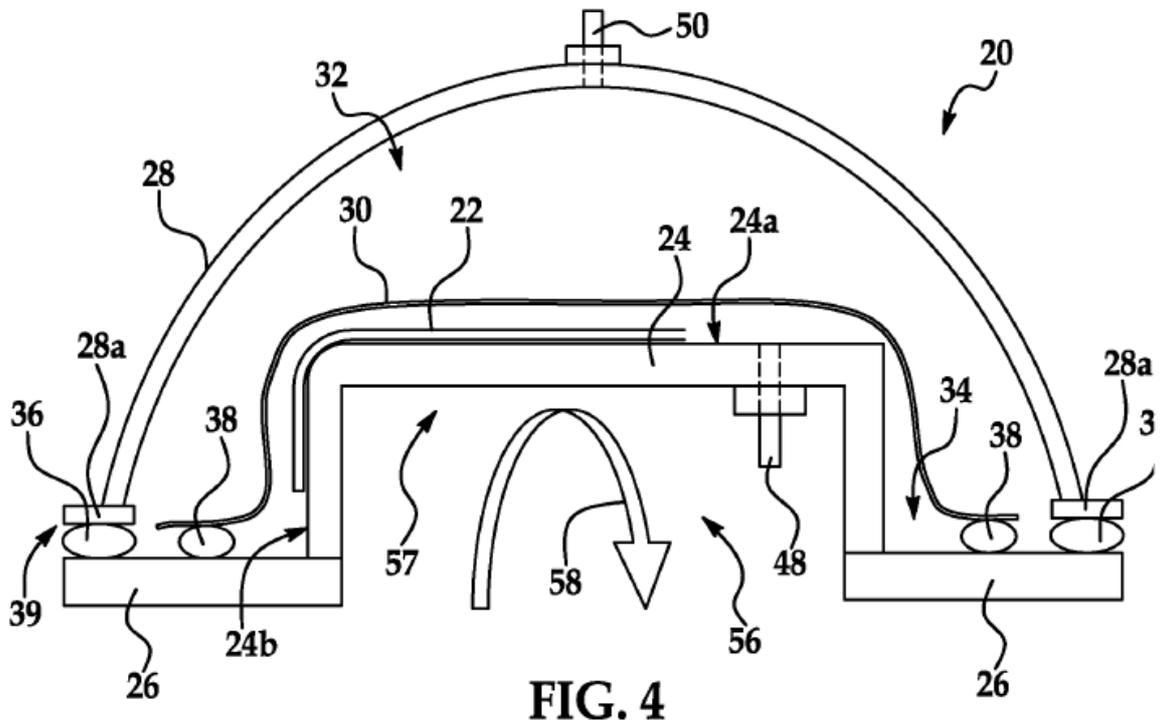
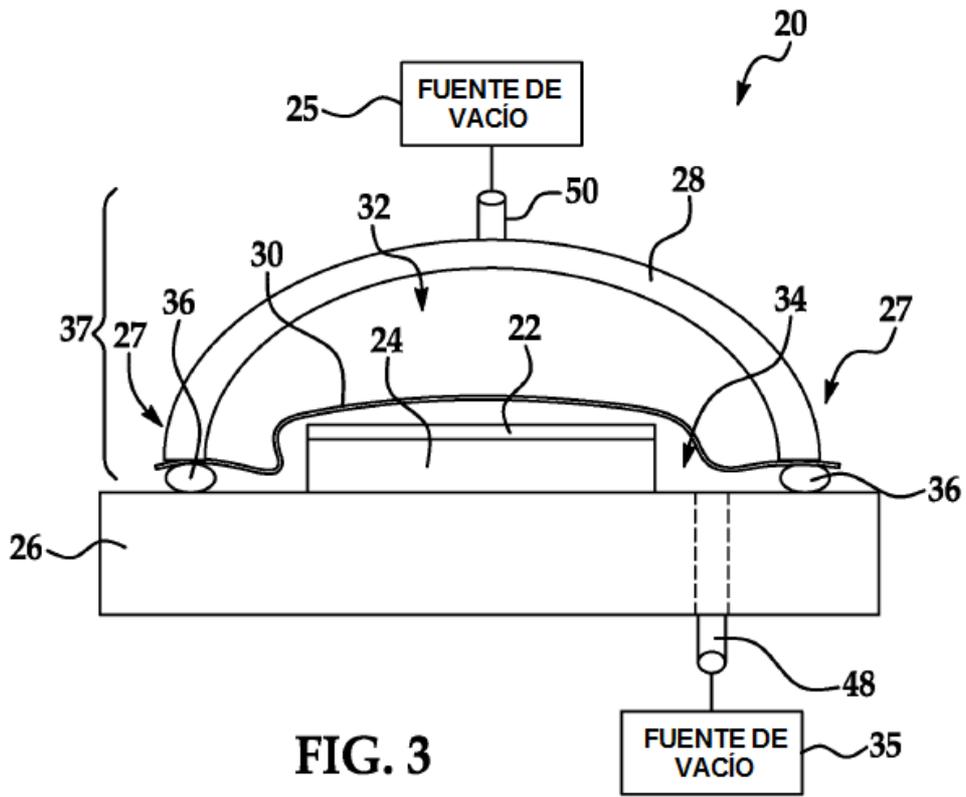
35 formar, en el primer lado, una primera cámara de vacío exterior (32) sobre la pieza colocando un recubrimiento (28) sobre la pieza para definir la primera área de vacío;

formar en el primer lado una segunda cámara de vacío interior (34) sobre la pieza colocando una bolsa (30) sobre la pieza de material compuesto dentro del recubrimiento (28) para definir la segunda área de vacío;

40 formar una primera junta sustancialmente hermética al vacío entre el recubrimiento (28) y la bolsa (30); formando una segunda junta sustancialmente hermética al vacío entre la bolsa (30) y la herramienta (24); en el que dicho primer vacío se introduce en la primera cámara de vacío (32); y

en el que dicho segundo vacío se introduce en la segunda cámara de vacío (34).





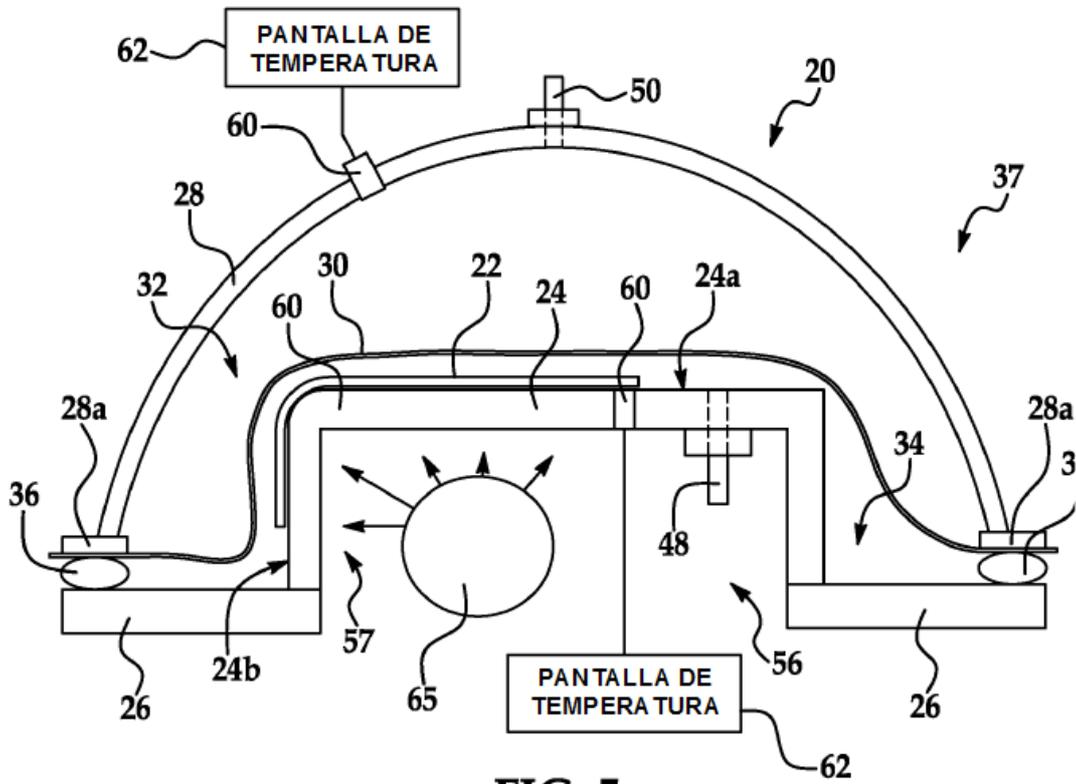


FIG. 5

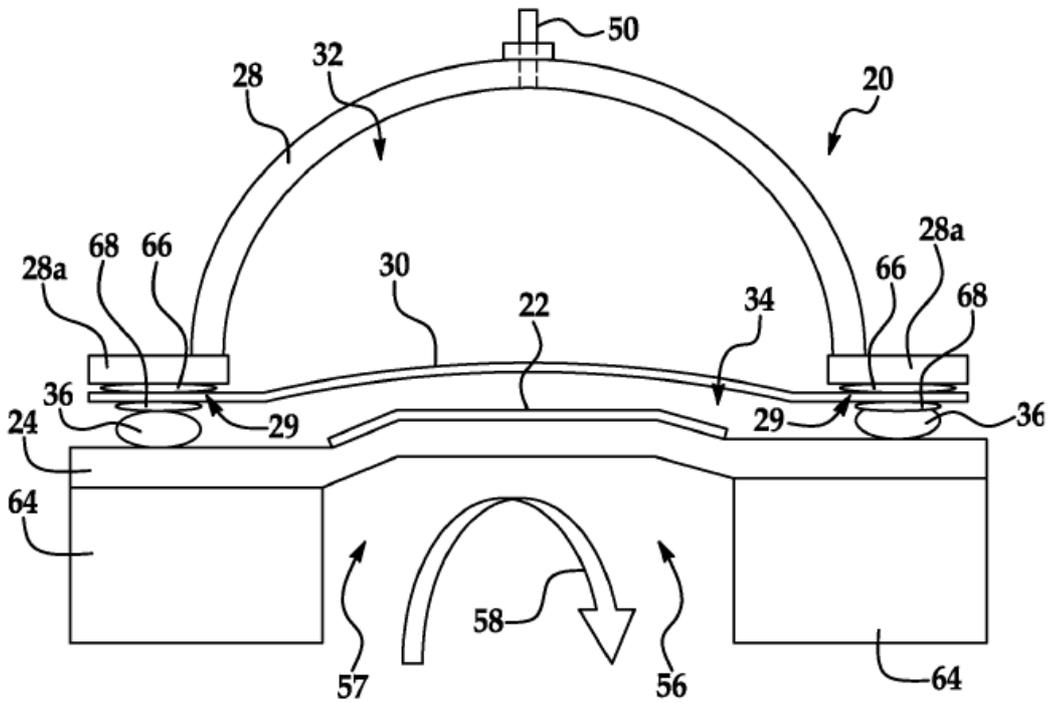


FIG. 6

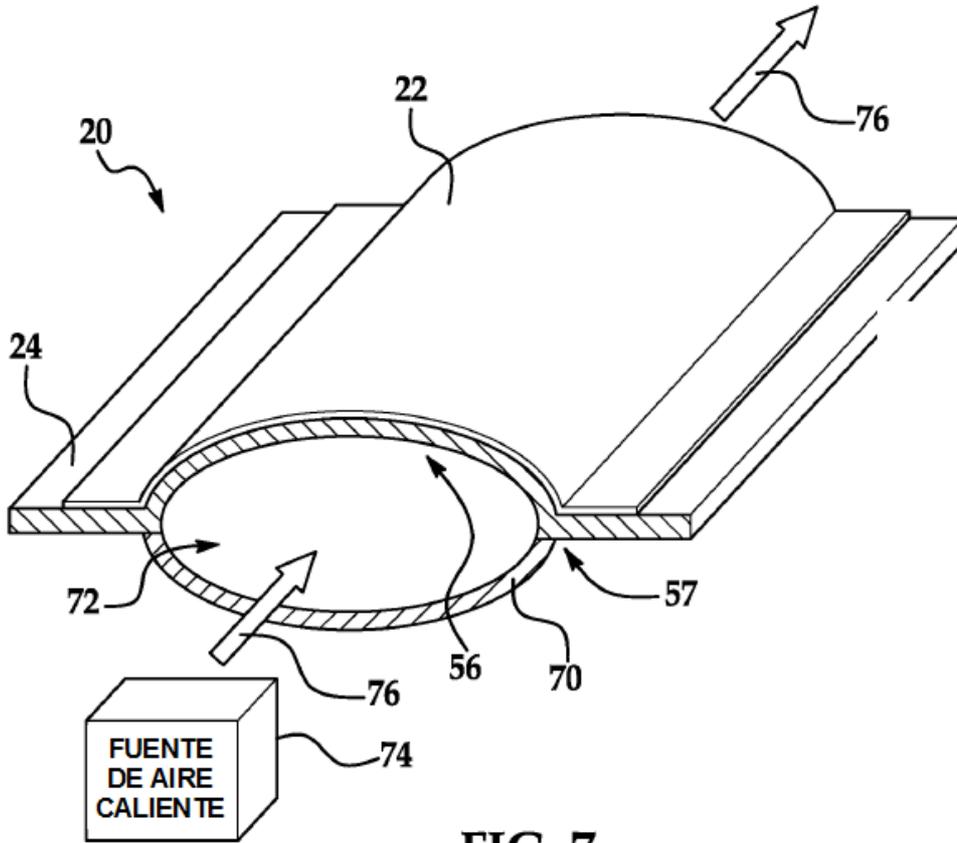


FIG. 7

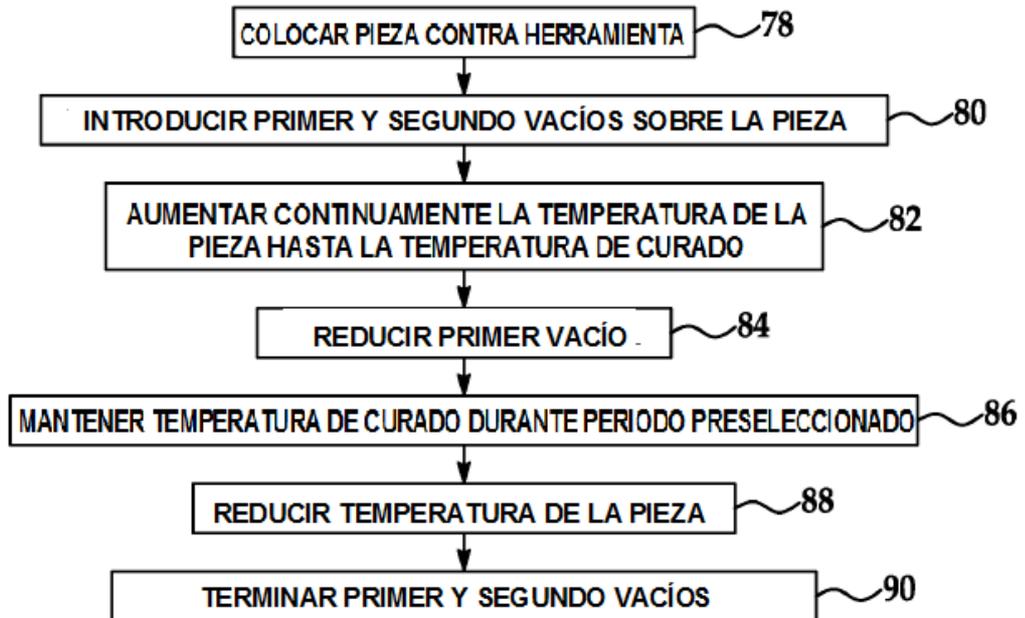


FIG. 8

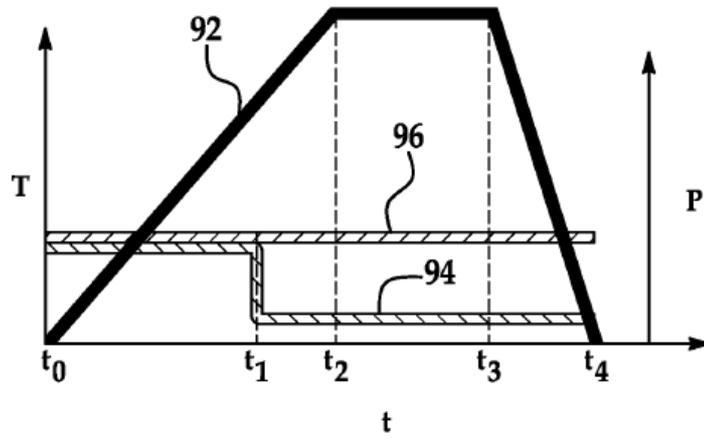


FIG. 9

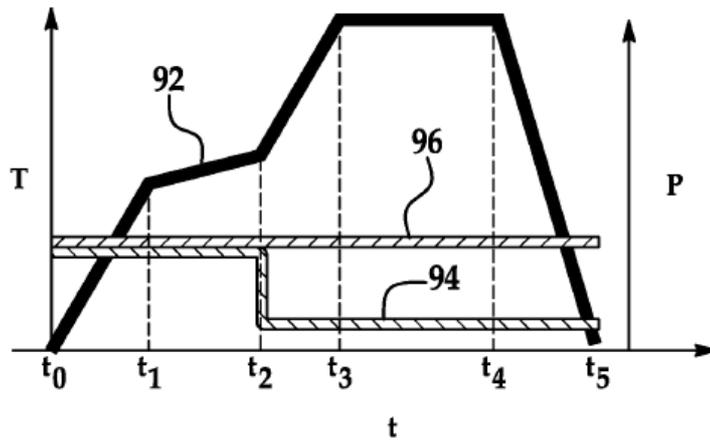


FIG. 10

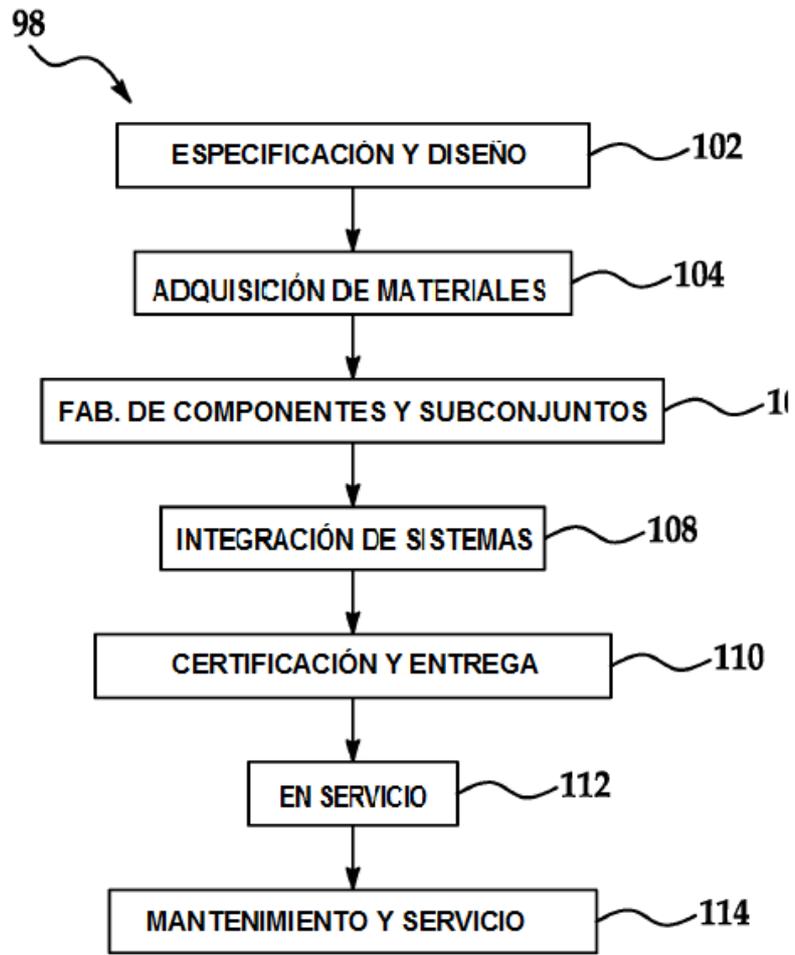


FIG. 11

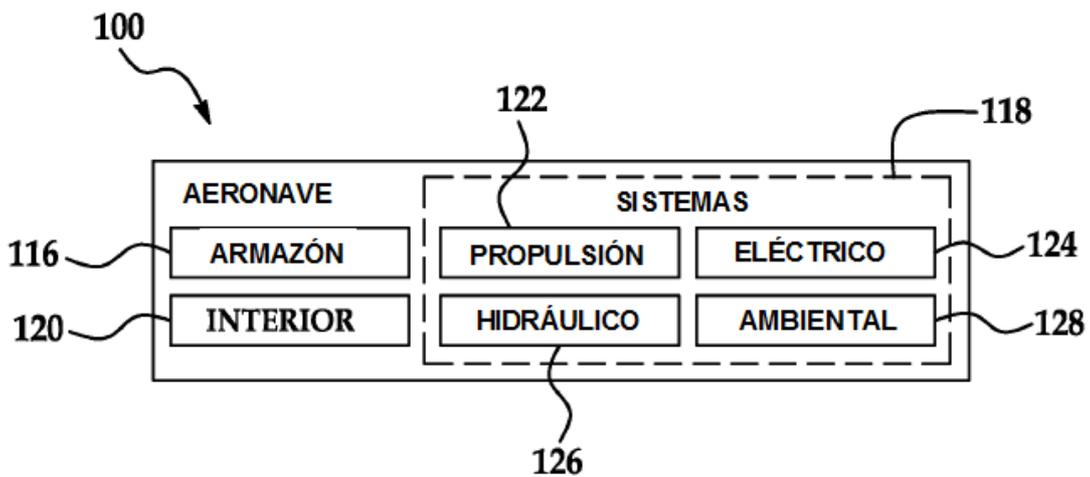


FIG. 12