

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 791**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/32** (2006.01)

**B29C 70/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2011** **E 11181858 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017** **EP 2436511**

54 Título: **Método y aparato para el recubrimiento de estructuras de material compuesto en forma de cilindro**

30 Prioridad:

**29.09.2010 US 893050**

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

**05.07.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CROTHERS, PHILLIP J.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 621 791 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Método y aparato para el recubrimiento de estructuras de material compuesto en forma de cilindro

### 5 Campo técnico

Esta divulgación se refiere en general a la fabricación de piezas de material compuesto, y trata más particularmente con un método y aparato para la disposición de estructuras de material compuesto en forma de cilindro, tales como secciones de fuselaje de aeronaves.

10

### Antecedentes

Las estructuras de material compuesto del cuerpo de revolución, tales como secciones cilíndricas del fuselaje se colocan sobre una superficie exterior de la herramienta de un mandril que representa la línea de molde interior (IML) de la estructura completada. Máquinas de disposición de fibra automática (AFP) se pueden utilizar para aplicar material compuesto en forma de cinta o haces de fibras en la superficie de la herramienta a medida que el mandril se hace girar. Estos mandriles son autoportantes y deben reaccionar tanto a las fuerzas aplicadas por las máquinas de AFP como a desaceleraciones de arranque/parada, en consecuencia, son relativamente masivas, complejas y costosas de fabricar. Además, pueden necesitarse útiles externos adicionales para formar una superficie deseada en la línea de molde exterior (OML) de la estructura. Por ejemplo, en el caso de una sección de fuselaje de la aeronave, pueden necesitarse útiles externos para crear una superficie aerodinámica en la OML (línea de molde exterior) de la estructura. Además, pueden necesitarse cimientos sustanciales y grandes motores y frenos para soportar y hacer girar la masa de giro relativamente grande del mandril, y pueden necesitarse grandes grúas para mover los mandriles en el suelo de la fábrica. Además de las desventajas descritas anteriormente, la velocidad de producción y las tasas de disposición pueden verse limitadas debido a los límites en la velocidad con la que pueden hacerse girar los mandriles debido a su gran masa dinámica.

Otro equipo de producción se ha diseñado para la disposición de hasta material compuesto sobre una superficie de la herramienta en forma de cilindro interior de un mandril correspondiente a la OML de la estructura compuesta. Este equipo utiliza un cabezal de AFP montado en un pórtico soportado en voladizo para aplicar material compuesto a la superficie interior de la herramienta (línea de molde interior) a medida que el mandril se hace girar. Por lo tanto, este equipo se basa también en el giro de un mandril relativamente masivo con el fin de aplicar el material compuesto en la dirección circunferencial de la superficie de la herramienta, y por lo tanto exhibe muchas de las desventajas de la técnica de producción en las que se aplica el material compuesto a la superficie exterior de la herramienta de un mandril giratorio.

En el documento US 2005/0023414, un dispositivo para la disposición automatizada de material compuesto de una pieza a ser fabricada - tal como un gran fuselaje de aeronaves- incluye un mandril que tiene un eje vertical y una superficie interior del mandril que se ajusta a una línea de molde exterior de la pieza. Un eje de movimiento vertical se dispone dentro del mandril. Una plataforma se soporta, se mueve hacia arriba y abajo, y se hace girar en el eje de movimiento vertical. Uno o más mecanismos de brazos se fijan a la plataforma. Una o más cabezales de suministro de material se soportan por los mecanismos de brazos, y los mecanismos de brazo mueven y sitúan los cabezales de suministro de material en relación con la superficie interior del mandril para que el material compuesto se suministre directamente a la línea de molde exterior sobre la superficie interior del mandril.

En el documento US 2005/0039844, un dispositivo de fabricación de piezas de aeronaves para la disposición automatizada de material compuesto incluye una herramienta de mandril que tiene una superficie interior del mandril que se ajusta a una línea de molde exterior (OML) de una pieza: a fabricar. Uno o más anillos circulares rodean el mandril y se fijan al mandril. Los anillos circulares giran soportados por cojinetes en una cuna de cojinete de modo que el mandril gira concéntricamente con los anillos circulares alrededor de un eje de giro que pasa por el centro de los anillos circulares. Un cabezal de suministro de material compuesto ofrece material directamente a la línea de molde exterior sobre la superficie interior del mandril mientras que el mandril se hace girar. Una viga de pórtico soportada en voladizo soporta el cabezal de suministro de material en el interior de la superficie interior del mandril. Un mecanismo de conexión conecta el cabezal de suministro de material a la viga de pórtico y proporciona el movimiento del cabezal de suministro de material con relación a la superficie interior del mandril.

Por consiguiente, existe la necesidad de un método y aparato para formar estructuras de materiales compuestos en forma de cilindro que pueden no depender del giro de mandriles relativamente masivos. También existe la necesidad de un método y un aparato que reduzca los costes de herramientas mientras aumenta las tasas de disposición de materiales compuestos y mejora la eficacia de producción.

### Sumario

Las realizaciones divulgadas proporcionan un método y un aparato de disposición de una estructura de material compuesto en forma de cilindro mediante la aplicación de material compuesto a una herramienta de molde de OML estacionaria utilizando un cabezal (disposición automática de fibras) AFP. La formación de la disposición de material

- compuesto en la herramienta de molde de OML puede reducir la necesidad de herramientas adicionales para modificar la superficie de OML de la estructura acabada. El montaje estacionario de la herramienta de molde de OML elimina la necesidad de mecanismos necesarios para hacer girar la herramienta. El uso de un manipulador de giro continuo para mover el cabezal de AFP sobre la superficie de la herramienta permite la disposición continua de material compuesto, aumentando de este modo la tasa de disposición y la eficacia de producción. La eficacia de producción se incrementa aún más por el uso de un manipulador de tipo PKM (máquina de cinemática paralela) que proporciona un gran movimiento dinámico del cabezal de AFP sobre la \_\_\_\_\_ superficie de la herramienta. El uso de una herramienta de molde de OML estacionaria se adapta mejor para reaccionar a las altas fuerzas G producidas por el manipulador de PKM. Las altas fuerzas G creadas por el manipulador de PKM pueden servir para proporcionar una presión de adhesión adicional a los materiales compuestos a medida que aumenta la velocidad de disposición. El montaje estacionario de la herramienta de molde de OML puede reducir la masa de la herramienta, ya que no es necesario que sea autoportantes o que reaccione a las cargas inerciales producidas por desaceleraciones de parada de emergencia de la herramienta durante el giro.
- 15 De acuerdo con una realización divulgada, se proporciona un método de fabricación de una estructura de material compuesto del cuerpo de revolución. El método comprende proporcionar un molde de OML que tiene una superficie interior de la herramienta donde se puede formar una disposición de material compuesto, y mover un manipulador a través del interior del molde. El método comprende además utilizar un efector de extremo en el manipulador para aplicar material compuesto a la superficie de la herramienta, incluyendo el movimiento del efector final circunferencialmente sobre la superficie de la herramienta. El método comprende además mantener el molde de OML estacionario mientras se forma la disposición. Mover el manipulador a través del molde incluye el desplazamiento del manipulador de forma sustancialmente lineal a lo largo del eje longitudinal del molde de OML. Mover el manipulador de forma sustancialmente lineal se realiza mediante el montaje del manipulador sobre un soporte, y utilizando el soporte para guiar el movimiento lineal del manipulador.
- 20 De acuerdo con otra realización, se proporciona un método de fabricación de estructura de material compuesto en forma de cilindro. El método comprende proporcionar un molde en forma de cilindro que tiene una superficie interior que define la línea de molde exterior de la estructura, y mantener el molde sustancialmente estacionario. El método incluye además la formación de una disposición de material compuesto en la superficie interior del molde, mientras que el molde se mantiene sustancialmente estacionario. La formación de la disposición incluye el uso de un cabezal aplicador automatizado para aplicar material compuesto a la superficie interior del molde, y el uso de un manipulador para mover el cabezal aplicador a través del interior del molde y aplicar material compuesto a la superficie interior.
- 30 De acuerdo con una realización adicional, se proporciona un método de fabricación de secciones de fuselaje en forma de cilindro para aeronaves. El método comprende proporcionar un molde que tiene una superficie interior del molde en forma de cilindro donde se puede formar una disposición de material compuesto, y mover un manipulador de forma sustancialmente lineal a través del interior del molde. El método comprende además utilizar un cabezal aplicador en el manipulador para aplicar material compuesto a la superficie del molde, incluyendo el movimiento del cabezal aplicador circunferencialmente sobre la superficie del molde mientras el molde permanece estacionario.
- 40 De acuerdo con otra realización adicional, se proporciona un método de disposición de material compuesto sobre un mandril. El método comprende proporcionar un molde de OML, situar un cabezal de disposición para el movimiento axialmente a lo largo y en giro alrededor de un eje dentro del molde de OML, y colocar material compuesto sobre el mandril de OML. El método comprende además acoplar el efector de extremo del cabezal de disposición con una muñequilla, y acoplar la muñequilla a al menos un brazo. El método puede comprender además acoplar el al menos un brazo alrededor del eje de tal manera que el brazo se puede mover en giro y/o axialmente y/o cambiar su orientación con respecto al eje.
- 45 De acuerdo con otra realización, se proporciona un aparato para fabricar una estructura compuesta en forma de cilindro. El aparato comprende un molde que tiene una superficie interior de la herramienta en forma de cilindro que define la línea de molde exterior de la estructura, y un cabezal aplicador de material compuesto para la aplicación de material compuesto a la superficie de la herramienta. El aparato comprende además un manipulador para la manipulación del cabezal aplicador, que incluye medios para mover el cabezal circunferencialmente sobre la superficie del molde, y medios para montar el manipulador para su movimiento a través del interior del molde.
- 50 De acuerdo con otra realización adicional, se proporciona un aparato para la fabricación de un fuselaje de aeronave. El aparato comprende un molde estacionario que tiene un interior generalmente abierto y una superficie interior del molde curva sobre la que se puede formar una disposición de fuselaje de material compuesto curva. El aparato comprende además medios para mantener el molde en una posición estacionaria y un cabezal aplicador de material compuesto para la aplicación de material compuesto a la superficie interior del molde curva. El aparato incluye también un manipulador para mover el cabezal aplicador sobre la superficie interior del molde, y medios para guiar el manipulador a través del interior abierto del molde.
- 60

**Breve descripción de las ilustraciones**

- La Figura 1 es una ilustración de un diagrama de bloques funcional del aparato para la disposición de una estructura de material compuesto en forma de cilindro de acuerdo con las realizaciones divulgadas.
- 5 La Figura 2 es una ilustración de una vista en perspectiva de una sección de fuselaje en forma de cilindro para una aeronave.
- La Figura 3 es una ilustración de un diagrama de flujo simplificado de un método de disposición de una estructura de material compuesto en forma de cilindro.
- La Figura 4 es una ilustración de una vista en perspectiva del aparato mostrado en la Figura 1.
- 10 La Figura 5 es una ilustración de un diagrama de bloques del manipulador, la muñequilla y el cabezal disponiendo material compuesto sobre una superficie interior de la herramienta del mandril mostrado en la Figura 4.
- La Figura 6 es una ilustración de una vista lateral de un manipulador que se muestra en relación con el mandril que está indicado esquemáticamente en líneas discontinuas, el cabezal de AFP no se muestra para mayor claridad.
- 15 La Figura 7 es una ilustración de vista isométrica del manipulador que se muestra en la Figura 6, tomada a una escala mayor.
- La Figura 8 es una ilustración de una vista en sección longitudinal, tomada a lo largo de la línea 8-8 de la Figura 4.
- 20 La Figura 9 es una ilustración de una vista en sección longitudinal que muestra una disposición de montaje alternativa del manipulador.
- La Figura 10 es una ilustración de un diagrama de bloques de elementos de control que forman parte del aparato mostrado en las Figuras 1 y 4-9.
- La Figura 11 es un diagrama de flujo de la producción de aeronaves y la metodología servicio.
- 25 La Figura 12 es un diagrama de bloques de una aeronave.

**Descripción detallada**

30 Haciendo referencia primero a la Figura 1, las realizaciones divulgadas se refieren a un aparato 20 para la disposición de una estructura de material compuesto del cuerpo de revolución en una herramienta de molde de OML 26, también a veces denominada en la presente memoria como un molde de OML 26. Tal como se utiliza en la presente memoria, el "cuerpo de revolución" se refiere a una estructura obtenida mediante el giro de un plano o curva compleja (no mostrada) alrededor de un eje (no mostrado) que se encuentra en el mismo plano. En la realización ilustrada, el cuerpo de revolución se divulga como una estructura en forma de cilindro, tal como la sección en forma de cilindro 44 que se muestra en la Figura 2, sin embargo otros cuerpos de revolución se contemplan como, por ejemplo y sin limitación, un cono truncado (no mostrado).

40 La sección de material compuesto en forma de cilindro 44 que se muestra en la Figura 2 puede formar parte de un fuselaje de aeronave (no mostrado), que comprende múltiples capas laminadas (no mostradas) que se disponen sobre la herramienta de OML 26. La sección de cilindro 44 puede incluir secciones de capa individual 46 que forman dobleces de capas o refuerzos. Por simplicidad y facilidad de la descripción, las expresiones "cilindro", "en forma de cilindro" y "sección de cilindro" se utilizarán en lo sucesivo para describir la forma de todos los cuerpos de revolución de material compuesto que pueden fabricarse mediante el método y aparato divulgados, y no están destinados a estar limitados en su significado a las formas que son cilíndricas o en forma de cilindro.

45 El aparato 20 mostrado en la Figura 1 comprende además un manipulador 30, referido a veces como un robot o máquina herramienta, montado para su movimiento bidireccional 32 a lo largo del eje longitudinal 34 del molde de OML 26, dentro del interior abierto 24 del molde de OML 26, por medio de un soporte de guía 54. Un efector de extremo en la forma de un cabezal de AFP 28 se monta en una muñequilla 29 llevada por el manipulador 30. La muñequilla 29 es capaz de mover el cabezal de AFP 28 a lo largo o alrededor de diversos ejes (no mostrados). El cabezal de AFP 28 puede comprender un mecanismo de disposición automatizada de fibra del tipo bien conocido en la técnica que aplica material compuesto 22 en forma de cinta pre-preg, fibras o haces de fibras sobre una superficie interior 26a de la herramienta del molde de OML 26. En el presente ejemplo, la superficie 26a de la herramienta es sustancialmente cilíndrica, lo que da como resultado una disposición que se está formando que tiene sustancialmente forma de cilindro. Como se describirá más adelante con más detalle, el manipulador 30 se puede hacer girar completamente o de forma continua alrededor del eje longitudinal 34 del molde de OML 26, permitiendo que el cabezal de AFP 28 aplique material compuesto 22 circunferencialmente, como se muestra por la flecha 55, o en un ángulo requerido, sobre la superficie 26a de la herramienta, a medida que el molde de OML 26 permanece estacionario.

60 La atención se dirige a continuación a la Figuras 3, que ilustra ampliamente las etapas generales de un método de disposición de una estructura de material compuesto en forma de cilindro 44. Partiendo en 36, se proporciona un molde de OML 26 que tiene una superficie 26a de la herramienta (Figura 1) correspondiente a una superficie de revolución deseada que, en la realización ilustrada, comprende una forma cilíndrica o de cilindro. En 38, el molde de OML 26 se monta de forma estacionaria sobre un soporte o cimentación (no mostrado) adecuado tal como un suelo de la fábrica. En 40, el manipulador 30 se monta para su movimiento lineal dentro del molde de OML 26. En 42, el

cabezal de AFP 28 se utiliza para disponer capas (no mostradas) en la superficie interior 26a de la herramienta del molde de OML 26. Este proceso de disposición comprende mover el manipulador 30 linealmente a lo largo o paralelo al eje longitudinal 34 del molde 26, y utilizar el manipulador 30 para mover el cabezal de AFP 28 circunferencialmente, que se muestra por la flecha 55 en la Figura 1, sobre la superficie 26a de la herramienta a fin de disponer el material compuesto en la superficie 26a de la herramienta sustancialmente alrededor de toda la circunferencia del molde de OML 26. Estos movimientos lineales y circunferenciales pueden coordinarse de modo que el manipulador 30 se mueve en el ángulo deseado sobre la superficie 26a de la herramienta.

La Figura 4 ilustra detalles adicionales del aparato 20 mostrado en la Figura 1. El soporte de guía 54 puede comprender un tubo cilíndrico que tiene sus extremos opuestos fijados de forma estacionaria a pilares 56 soportados sobre un suelo de la fábrica 48 u otra cimentación. En otras realizaciones, el soporte de guía 54 puede comprender múltiples elementos de soporte (no mostrado) y/o puede tener otras formas de sección transversal. El molde de OML 26 se monta de forma estacionaria en el suelo de la fábrica 48 por medio de una cuna 50 que descansa en la cimentación 48 y se fija al molde de OML 26. Otras técnicas para el montaje estacionario del molde de OML 26 son posibles.

El manipulador 30 se monta en el soporte de guía 54 por medio de una base tubular 52 que se encamisa sobre el soporte guía 54. La base tubular 52 monta el manipulador 30 en el soporte de guía 54 tanto para el movimiento lineal a lo largo del eje Z del sistema de coordenadas mostrado con el número 45 correspondiente al eje longitudinal 34 (Figura 1) del molde de OML 26, como para el giro alrededor del eje Z. Como se muestra en la Figura 4, la muñequilla 29 se monta en el manipulador 30, y el cabezal de AFP 28 se monta en la muñequilla 29 que puede tener la libertad de movimiento en múltiples direcciones ("grados de libertad"), dependiendo de los requisitos de la aplicación particular. Como se explicará a continuación con más detalle, el manipulador 30 mueve el cabezal de AFP 28 linealmente a lo largo del eje Z a través del interior 24 del molde de OML 26 en la dirección de la flecha 57, así como circunferencialmente 55 sobre la superficie 26a de la herramienta. Estos movimientos combinados permiten que el cabezal aplicador 28 atraviese sustancialmente toda la superficie 26a de la herramienta.

La Figura 5 ilustra el cabezal 28 y la muñequilla 29. El cabezal 28 puede comprender cualquiera de varios mecanismos de disposición de fibras bien conocidos que pueden disponer grupos de haces o cinta ranurada 22 en la superficie 26a de la herramienta. Por ejemplo, el cabezal aplicador 28 puede ser similar a o tener las características de los aplicadores divulgados a continuación, todo el contenido de las que se incorpora aquí por referencia: Patente de Estados Unidos n.º 4.699.683 expedida el 13 de octubre de 1987; Publicación de Patente de Estados Unidos N° 20070029030A1 publicada el 8 de febrero de 2007; Publicación de Patente de Estados Unidos n.º 20100230043 publicada el 16 de septiembre de 2010; Publicación de Patente de Estados Unidos n.º 20100224716 publicada el 9 de septiembre de 2010; y la Publicación de Patente de Estados Unidos n.º 20090211698 publicada el 27 de agosto de 2009.

La atención se dirige a continuación a la Figuras 6 y 7, que ilustran detalles adicionales del manipulador 30. El manipulador 30, en cuestión, que se muestra en las Figuras 6 y 7 es una máquina de cinemática paralela (PKM) del tipo referido como un Tau SCARA (brazo manipulador de montaje compatible selectivo). Un mecanismo de PKM se puede definir como un mecanismo de bucle cerrado donde el efector de extremo (no mostrado) se conecta a una base (no mostrada) por al menos dos cadenas cinemáticas independientes. Los manipuladores de PKM de tipo SCARA son bien conocidos para mover y hacer girar objetos sin cambiar la inclinación de los objetos. Los manipuladores de tipo SCARA comprenden conexiones cinemáticas acoplados en serie y tienen normalmente cuatro grados de libertad en las direcciones x, y, z y giran el objeto alrededor de un eje paralelo al eje Z. El formato PKM Tau SCARA permite movimientos dinámicos extremadamente altos que crean movimientos de disposición rápidos y mayor productividad de disposición. Este formato manipulador es capaz de una gran dinámica, debido a su masa en movimiento relativamente baja y a la proximidad del centro de inercia (no mostrado) al eje de movimiento, que en esta solicitud, se corresponde con el eje longitudinal 34 (Figura 1) del molde de OML 26.

El manipulador 30 comprende en términos generales tres brazos 62, 64, 66 montados respectivamente en serie en la base tubular 52 por medio de cojinetes giratorios 68, 70, 72 correspondientes. Una plataforma de trabajo 80 donde se puede montar la muñequilla 29 y el cabezal 28 (no mostrado en las Figuras 6 y 7) se conecta de manera pivotante con cada uno de los brazos 62, 64, 66 por una serie de conexiones 74, 76, 78 79. Más específicamente, una única conexión 74 tiene sus extremos opuestos acoplados de forma pivotante al extremo del brazo 62 y a la plataforma 80, respectivamente, por conexiones pivotantes 84. Cada una de dos conexiones paralelas 76 tiene sus extremos opuestos conectados de manera pivotante, respectivamente, al extremo del brazo 64 y a la plataforma 80 por conexiones pivotantes 84. Por último, la primer y segunda conexiones paralelas 78 y la tercera conexión paralela 79 tiene sus extremos opuestos conectados respectivamente al extremo del tercer brazo 66 y a la plataforma de trabajo 80 por conexiones pivotantes 84. Son posibles un número de otras combinaciones de brazos y conexiones.

Los detalles adicionales y una explicación de la operación de los manipuladores 30 de tipo Tau SCARA adecuados se pueden encontrar en las siguientes publicaciones, que se incorporan aquí como referencia en su totalidad: número de publicación internacional WO 03/106115 A1, publicada el 24 de diciembre de 2003; número de publicación internacional WO 02/22320 A1 publicada el 21 de marzo de 2002; Patente de Estados Unidos 6.540.471 publicada el 1 de abril de 2003; número de publicación internacional WO 2004/056538 A1 publicada el 8 de julio de

2004; número de publicación internacional WO 03/066289 A1 publicada el 14 de agosto de 2003; número de publicación internacional WO 02/058895 A1 publicada el 1 de agosto de 2002 y; Patente de Estados Unidos 6.412.363 expedida el 2 de julio de 2002.

5 A continuación haciendo referencia a la Figura 8, cada uno de los brazos 62, 64, 66 se monta en la base tubular por los correspondientes cojinetes 68, 70 y 72. Los motores eléctricos 86, 88, 90 accionan los correspondientes piñones 85, 87, 89 que hacen girar engranajes anulares 108, 110, y 112 que giran los brazos 62, 64, 66 alrededor de la base tubular 52. La base tubular 52 se monta para su movimiento lineal a lo largo del soporte de guía 54 por medio de un  
 10 carro 96 accionado por un motor eléctrico 98 colocado en el interior de la base cilíndrica tubular 52. Los cables eléctricos 102, 106 discurren en una cadena de cable 92 que acopla los componentes electrónicos tales como motores 86, 88, 90 y el cabezal de AFP 28 (Figura 4) con un controlador exterior 116 descrito más adelante (Figura 10). Una o más conexiones giratorias 118 dirigen los cables 102, 106 de la cadena de cable 92 al manipulador 30 y giran para impedir la torsión, enredos y/o unión de los cables 102, 106 a medida que el manipulador 30 se mueve a lo largo del soporte de guía 54. Un bloqueo de salida giratorio 115 bloquea una sección de salida giratoria 115a de la  
 15 conexión giratoria 118 de manera que los cables 102, 106 no se enredan o extienden.

El manipulador de formato Tau SCARA 30 divulgado tiene una disposición de los brazos 62, 64, 66 y las conexiones 74, 76, 78, 79 en una configuración de 3-2-1, lo que requiere que la muñequilla 29 tenga seis grados de libertad. Una configuración 3-2-1 se refiere al número de conexiones 74, 76, 78 que están conectadas a cada uno de los brazos  
 20 62, 64, 66. Formatos alternativos se pueden utilizar para bajar la masa no central y reducir el tiempo momento de inercia del manipulador 30. Por ejemplo, cada brazo 62, 64, 66 podría estrecharse en un motor separado (no mostrado) para proporcionar la inclinación y el giro de la plataforma de trabajo 80. Además, dos o tres de los brazos 62, 64, 66 podrían ser telescópicos utilizando tornillos de bolas (no mostrados), por ejemplo. Esto también proporcionaría la inclinación y el giro de la plataforma de trabajo 80 y podría tener otras ventajas.

25 Durante su uso, las altas fuerzas G generadas por el manipulador de giro 30 se hacen reaccionar por el molde de OML 26 estacionario. Por tanto, el manipulador 30 puede lograr velocidades y fuerzas G más altas con un mecanismo más ligero, o tener más peso (por ejemplo, material de fileta). Las crecientes fuerzas G pueden también servir para proporcionar una presión adicional de adherencia para los materiales compuestos a medida que la  
 30 velocidad de disposición aumenta.

Si bien el montaje horizontal del manipulador se ilustra en las Figuras 4, 6, 7 y 8, puede ser posible montar el manipulador 30 para su operación vertical como se muestra en la Figura 9. En esta realización, el soporte de guía 54 se dispone de forma sustancialmente vertical y se soporta sobre una base 114. El molde de OML 26 se monta de  
 35 forma estacionaria sobre los soportes 50 con el manipulador 30 situado para su movimiento lineal a lo largo del soporte de guía de soporte 54, sustancialmente coaxial con el eje longitudinal 34 del molde de OML 26.

La atención se dirige a continuación a la Figuras 10 que ilustra componentes y elementos de control adicionales del aparato 20. El cabezal aplicador 28, la muñequilla 29 y el manipulador 30 pueden conectarse eléctricamente con un  
 40 controlador exterior 116, que puede comprender, sin limitación, un PC (ordenador personal), un PLC (controlador lógico programable) u otro tipo adecuado de controlador. En otras realizaciones, el controlador 116 se puede montar en el manipulador 30. Las conexiones giratorias 118 pueden ser similares a las conexiones giratorias 118 mostradas en la Figura 8 que mantienen el contacto eléctrico entre los componentes eléctricos en el cabezal aplicador 28, la muñequilla 29 y el manipulador 30, y el controlador 116, independientemente de la posición de y/o movimiento del  
 45 manipulador 30 con respecto al soporte de guía 54. En estas realizaciones en las que el controlador 116 se monta en el manipulador 30, en lugar de ser exterior, solo una única conexión giratoria 118 puede ser necesaria para suministrar energía eléctrica de la fuente de alimentación 124 al motor/freno 122.

El manipulador 30 puede incluir resolutores y/o codificadores 120 que funcionan para determinar la posición de uno  
 50 o más elementos del manipulador 30, tal como la posición de los brazos 62, 64, 66 (Figura 8) que es retroalimentada al controlador 116 a través de conexiones giratorias adicionales 118. Del mismo modo, los motores 86, 88, 90 y 98 así como los frenos correspondientes 122 se pueden acoplar con una fuente de alimentación eléctrica adecuada 124 por medio de conexiones giratorias adicionales 118. En algunas aplicaciones, como una alternativa a la utilización de las conexiones giratorias 118, puede ser posible transmitir señales de control de proceso y retroalimentar las señales  
 55 de forma inalámbrica entre un receptor/transmisor 126 montado en el manipulador 30, y un receptor/transmisor con base en tierra 128 que se acopla con el controlador 116.

Con referencia a continuación a las Figuras 11 y 12, las realizaciones de la divulgación pueden utilizarse en el contexto de un método de fabricación y servicio de aeronaves 130, como se muestra en la Figura 11 y una aeronave  
 60 132, como se muestra en la Figura 12. Durante la pre-producción, el método ejemplar 130 puede incluir la especificación y diseño 134 de la aeronave 132 y la adquisición de materiales 136. Durante la producción, la fabricación de componentes y subconjuntos 138 y la integración de sistemas 140 de la aeronave 132 tienen lugar. Durante la etapa 138, el método y aparato divulgados se pueden emplear para fabricar piezas de material compuesto, tales como secciones de fuselaje que se ensamblan después en la etapa 140. Después de esto, la  
 65 aeronave 132 puede pasar a través de la certificación y entrega 142 con el fin de ponerse en servicio 144. Mientras está en servicio por un cliente, la aeronave 132 se puede programar para su mantenimiento y servicio 146 (que

también puede incluir la modificación, reconfiguración, remodelación, y así sucesivamente) de rutina.

- 5 Cada uno de los procesos del método 130 se puede realizar o llevarse a cabo por un integrador de sistemas, un tercero, y/o un operario (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 importantes del sistema; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operario puede ser una línea aérea, compañía de arrendamiento, entidad militar, organización de servicio, y así sucesivamente.
- 10 Como se muestra en la Figura 12, la aeronave 132 producida por método ejemplar 130 puede incluir un fuselaje 148 con una pluralidad de sistemas 150 y un interior 152. El método y aparato descritos se pueden emplear para fabricar secciones de fuselaje que forman parte de la estructura de la aeronave 148. Ejemplos de sistemas de alto nivel 150 incluyen uno o más de un sistema de propulsión 154, un sistema eléctrico 156, un sistema hidráulico 158, y un sistema ambiental 160. Cualquier número de otros sistemas pueden incluirse. Aunque se muestra un ejemplo
- 15 aeroespacial, los principios de la invención pueden aplicarse a otras industrias, como la industria del automóvil.
- 20 El aparato realizado en la presente memoria se puede emplear durante una cualquiera o más de las etapas del método de producción y servicio 130. Por ejemplo, componentes o subconjuntos correspondientes al proceso de producción 138 se pueden fabricar o realizarse de manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 132 está en servicio. Además, una o más realizaciones del aparato se pueden utilizar durante las etapas de producción 138 y 140, por ejemplo, acelerando sustancialmente el montaje de o reduciendo el coste de una aeronave 132. Del mismo modo, se pueden utilizar una o más realizaciones del aparato mientras la aeronave 132 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para su mantenimiento y servicio 146.
- 25 Aunque las realizaciones de la presente divulgación se han descrito con respecto a ciertas realizaciones ejemplares, se debe entender que las realizaciones específicas tienen fines ilustrativos y no limitativos, puesto que otras variaciones serán evidentes para los expertos en la materia.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de fabricación de estructura de material compuesto en forma de cilindro (44), que comprende:
  - 5 proporcionar (36) un molde de OML (26) que tiene una superficie interior (26a) de la herramienta sobre la que se puede formar una disposición de material compuesto;
  - mantener (38) el molde de OML estacionario mientras se está formando la disposición;
  - mover un manipulador (30) a través del interior (24) del molde;
  - 10 utilizar un efector de extremo (28) en el manipulador para aplicar material compuesto (22) a la superficie de la herramienta, incluyendo el movimiento del efector de extremo circunferencialmente (55) sobre la superficie de la herramienta;
  - caracterizado por que** el manipulador incluye una máquina de cinemática paralela.
2. El método de la reivindicación 1, donde el movimiento del manipulador a través del molde incluye el desplazamiento del manipulador de forma sustancialmente lineal a lo largo del eje longitudinal (34) del molde de OML.
3. El método de la reivindicación 2, donde el movimiento del manipulador de forma sustancialmente lineal se realiza al:
  - 20 montar el manipulador en un soporte (54); y
  - utilizar el soporte para guiar el movimiento lineal del manipulador.
4. Aparato para la fabricación de una estructura compuesta en forma de cilindro (44), que comprende:
  - 25 un molde (26) que tiene una superficie interior de la herramienta en forma de cilindro que define la línea de molde exterior de la estructura;
  - medios adaptados para el montaje estacionario del molde sobre una superficie de soporte (48);
  - un cabezal aplicador de material compuesto (28) para aplicar material compuesto (22) a la superficie de la herramienta;
  - 30 un manipulador (30) para la manipulación del cabezal aplicador, que incluye medios para mover el cabezal circunferencialmente (55) sobre la superficie del molde; y
  - medios para montar el manipulador para su movimiento en el interior (24) del molde;
  - caracterizado por que** el manipulador incluye una máquina de cinemática paralela.
- 35 5. El aparato de la reivindicación 4, donde la máquina de cinemática paralela incluye:
  - primer, segundo y tercer brazos (62, 64, 66) que giran alrededor de un eje común; y
  - Conexiones (74, 76, 78, 79) acopladas de forma giratoria entre los brazos y el cabezal aplicador.
- 40 6. El aparato de la reivindicación 4, donde el medio de montaje incluye:
  - un soporte alargado (54) adaptado para soportarse en sus extremos opuestos y estar sustancialmente alineado con el eje longitudinal del molde; y
  - un carro (96) montado para su movimiento a lo largo del soporte;
  - 45 donde el manipulador se monta sobre el carro.



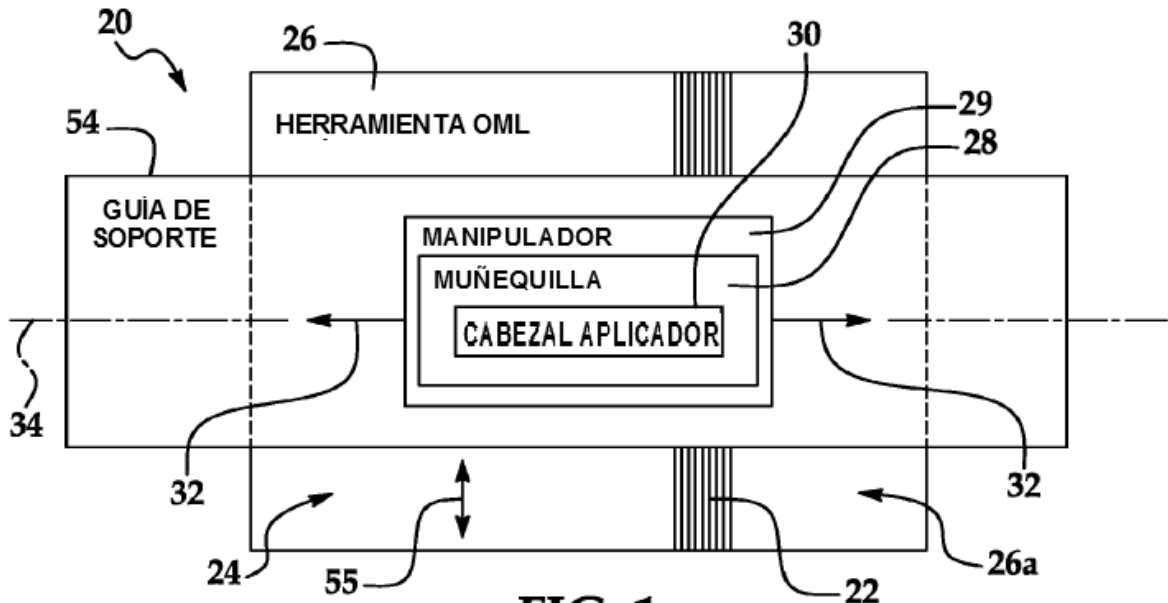


FIG. 1

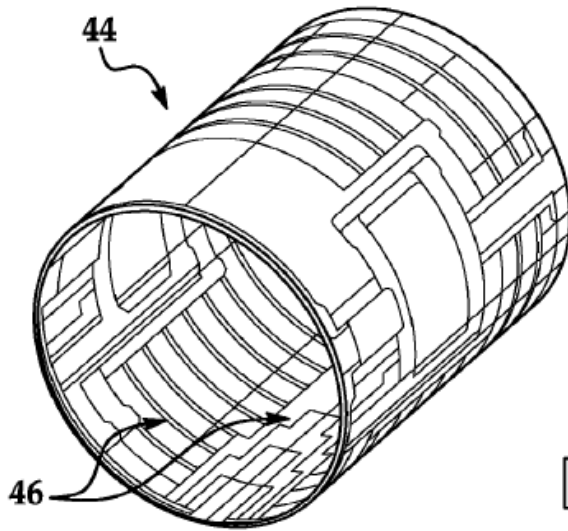


FIG. 2

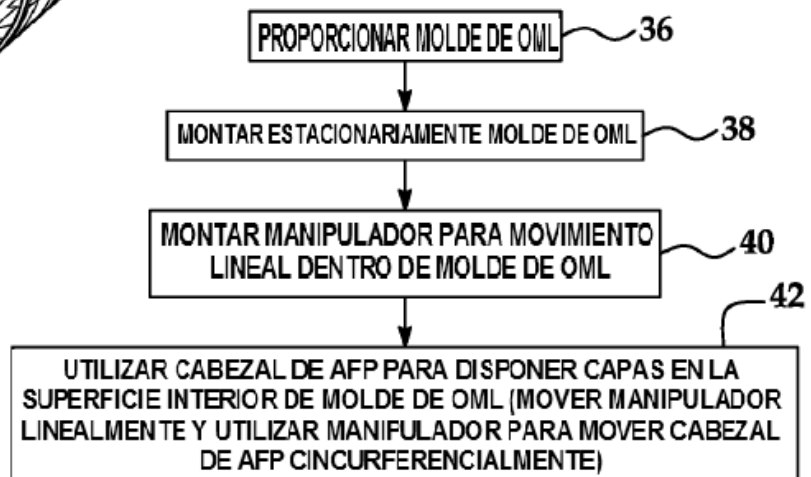


FIG. 3

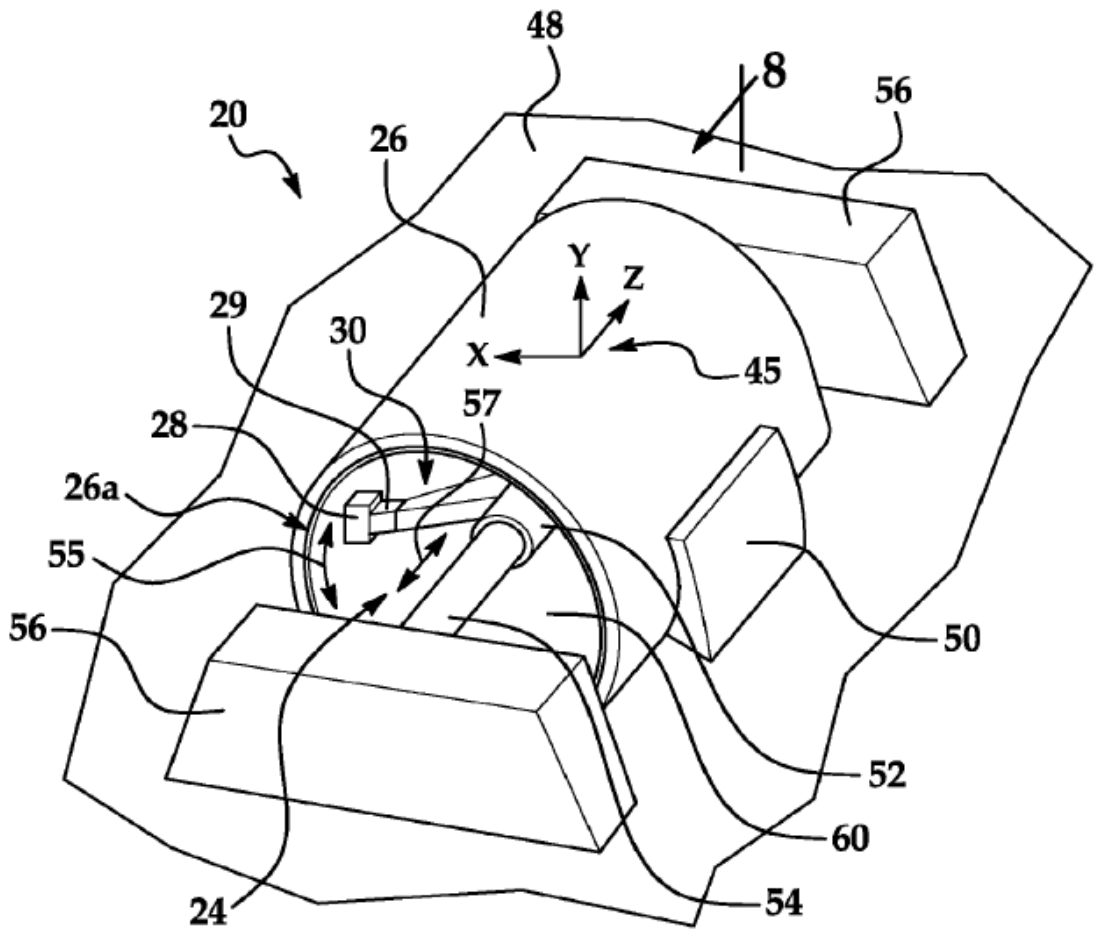


FIG. 4

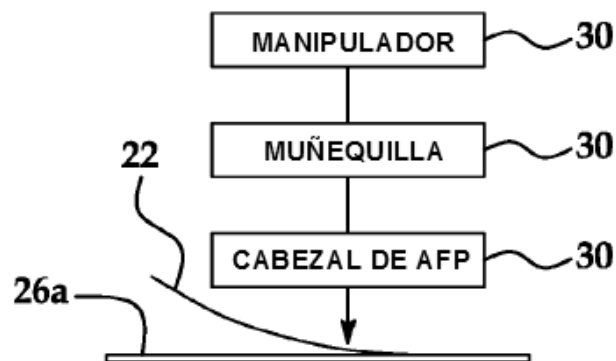


FIG. 5

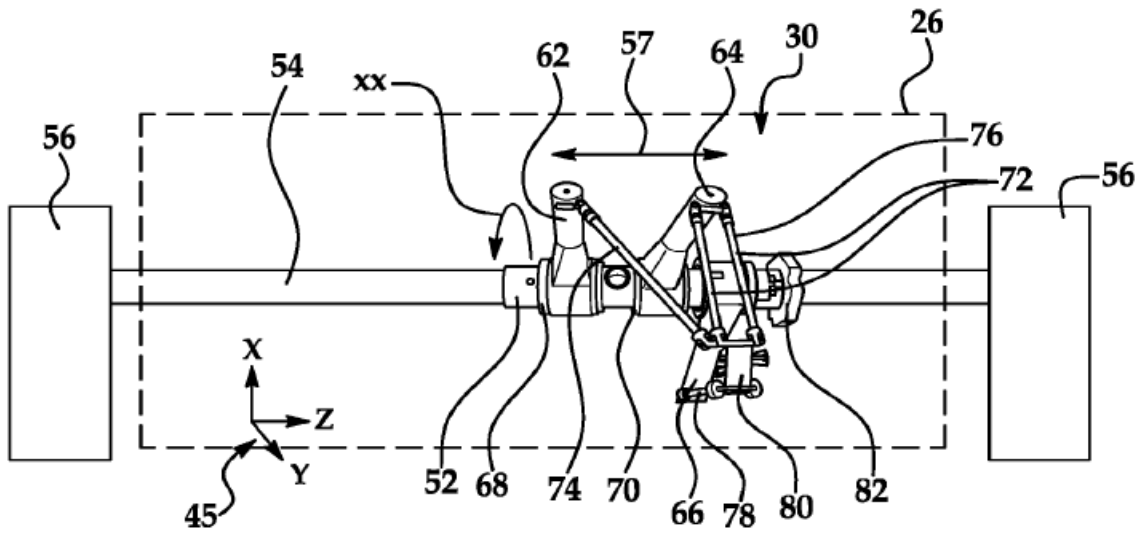


FIG. 6

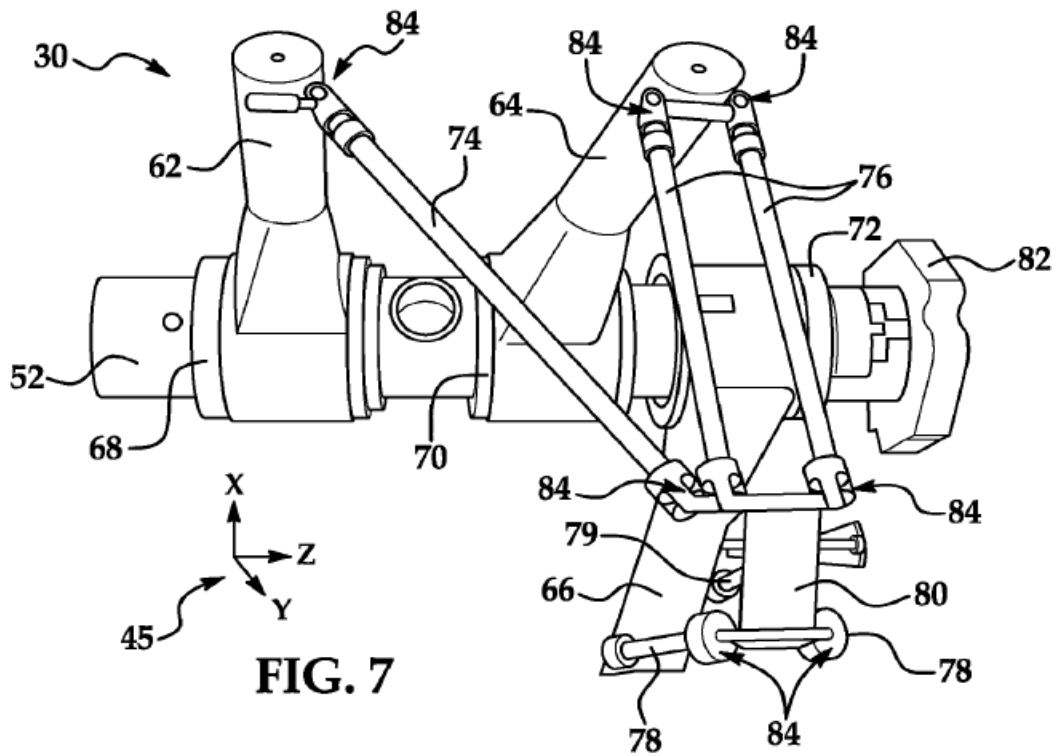
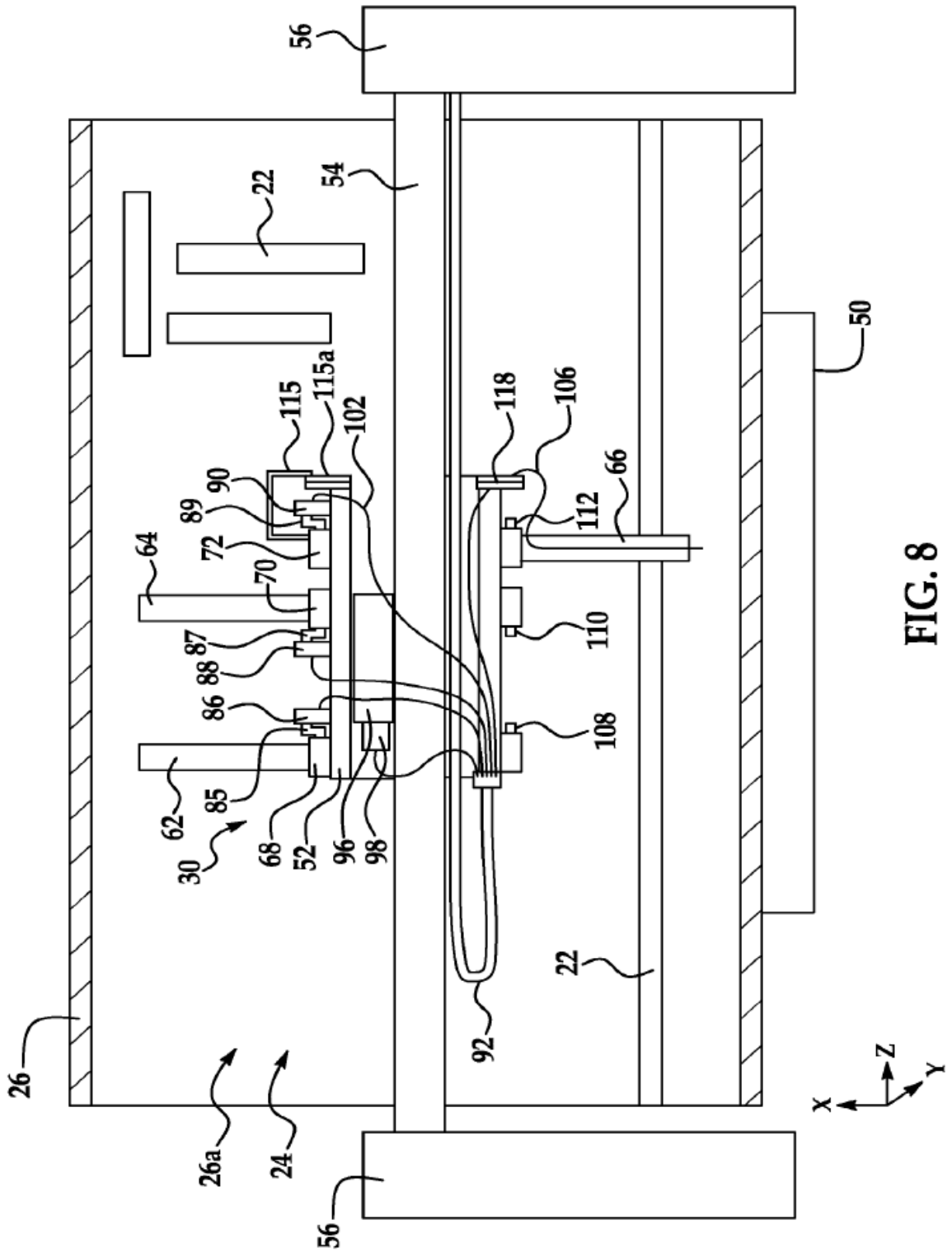


FIG. 7



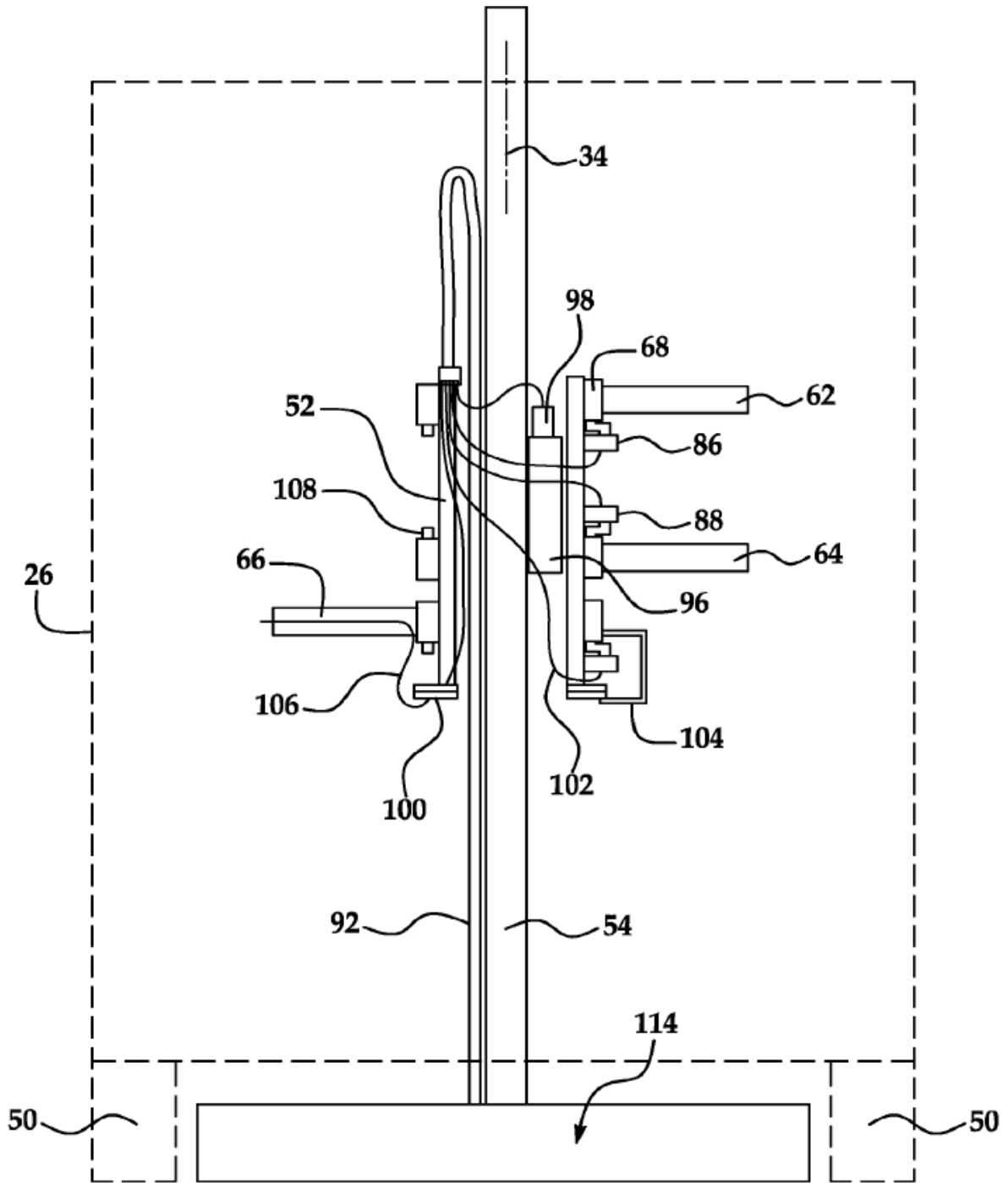


FIG. 9

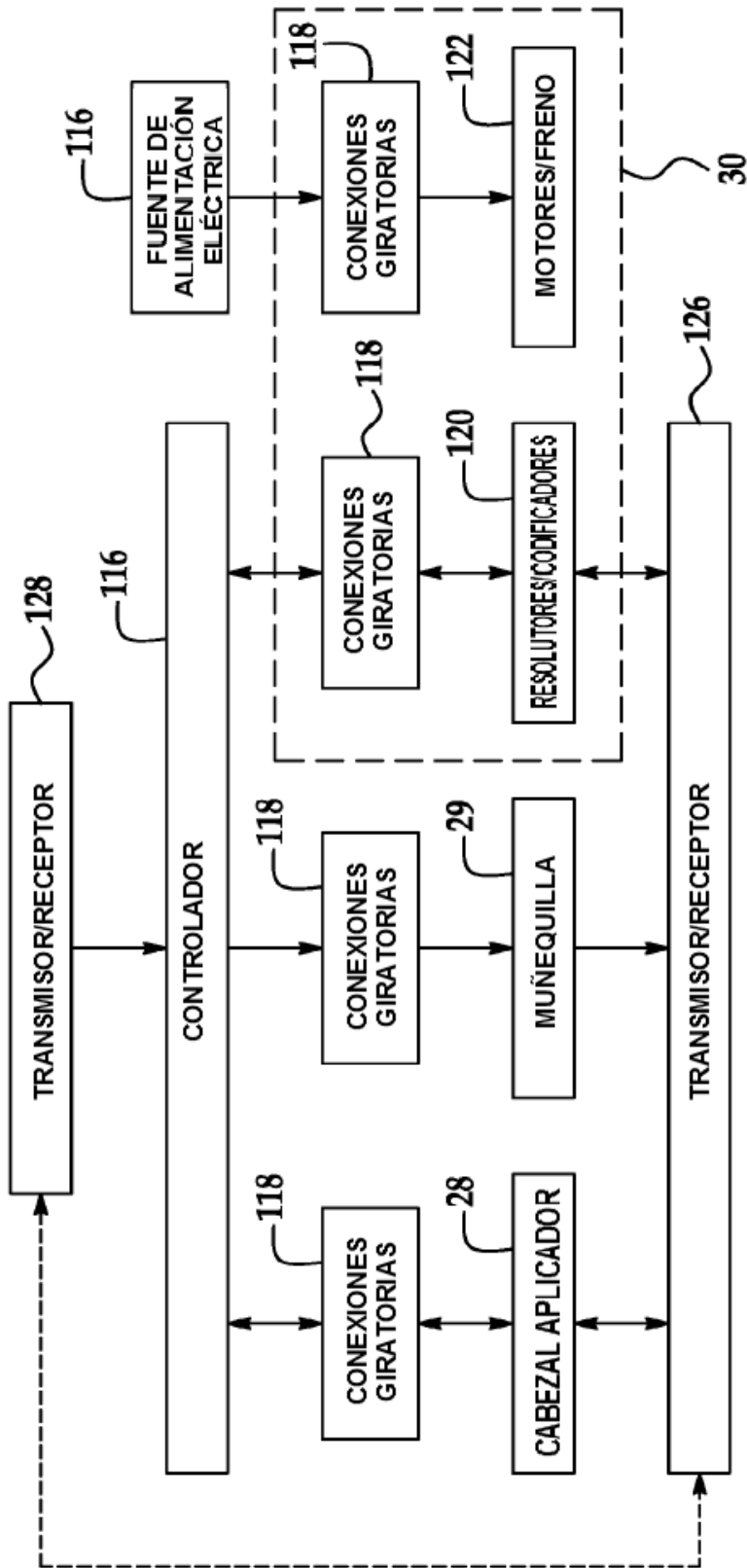


FIG. 10

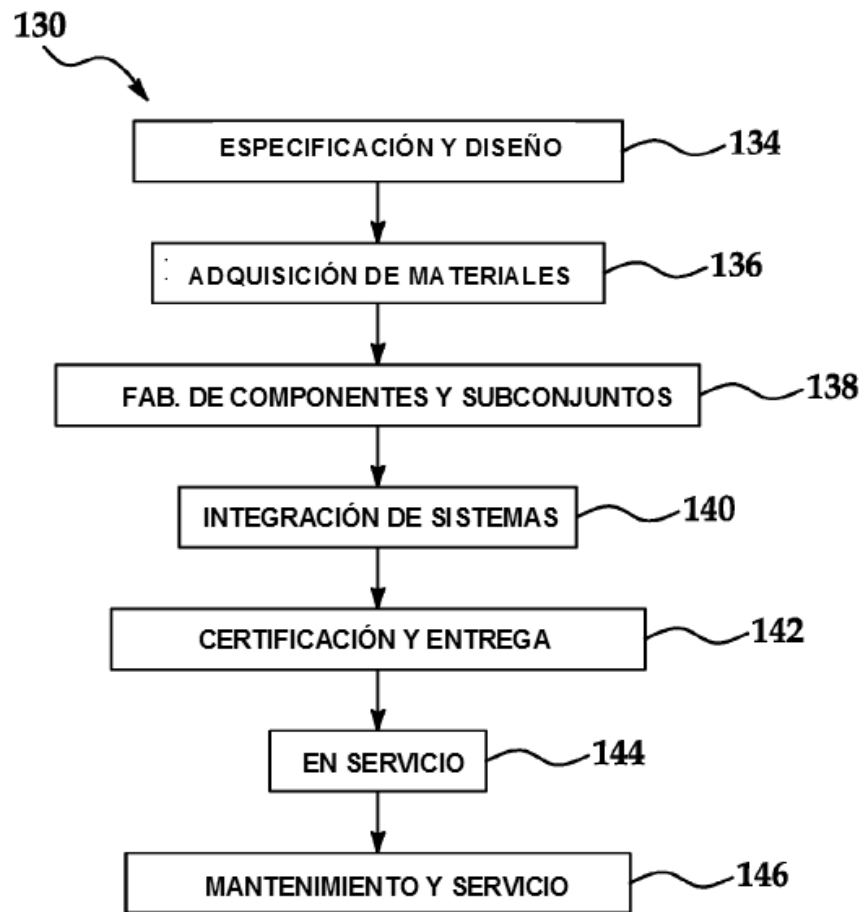


FIG. 11

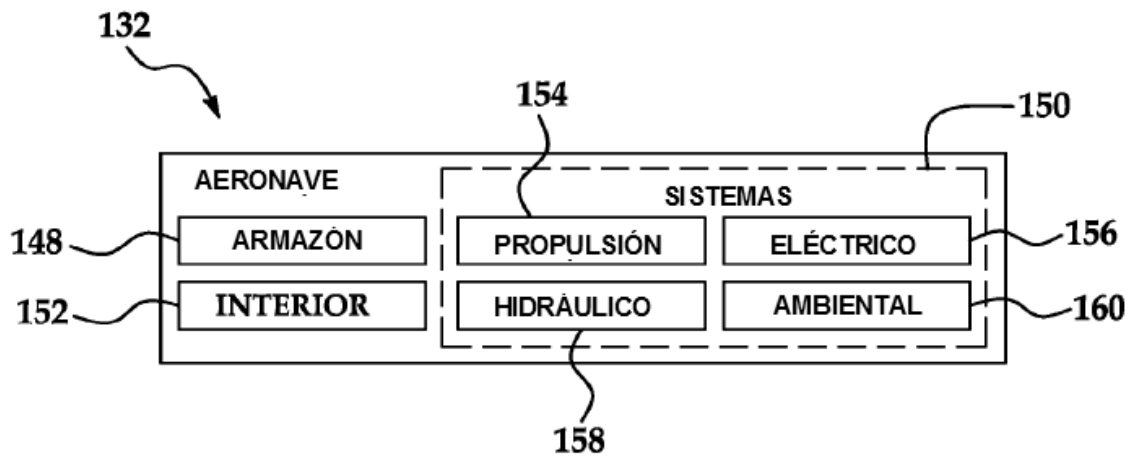


FIG. 12