

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 983 824**

51 Int. Cl.:

G05B 19/4097 (2006.01)

B64F 5/10 (2007.01)

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/401 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2019** **PCT/GB2019/051823**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.01.2020** **WO20002925**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2019** **E 19734869 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2024** **EP 3814858**

54 Título: **Método y sistema para producir partes componentes de armazones de aeronave**

30 Prioridad:

28.06.2018 GB 201810648

28.06.2018 EP 18180582

28.06.2018 GB 201810649

28.06.2018 EP 18180583

28.06.2018 GB 201810655

28.06.2018 EP 18180587

28.06.2018 GB 201810651

28.06.2018 EP 18180584

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.10.2024

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)

6 Carlton Gardens

London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

COULIER, GRAHAM, PETER;

CARBERRY, JONATHAN, MICHAEL y

FLETCHER, ALISTAIR, JAMES

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 983 824 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 sistema para producir partes componentes de armazones de aeronave

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a la producción de armazones de aeronave y de sus partes componentes, incluyendo, aunque no de forma limitativa, armazones, refuerzos de cortadura, suelos y largueros.

10 **Antecedentes**

Las aeronaves normalmente comprenden un armazón al que se fija un revestimiento externo de aeronave. Muchos armazones de aeronave comprenden una pluralidad de bastidores (o piezas estructurales transversales para dar forma) y refuerzos de cortadura (o larguerillos). Los bastidores están, de forma típica, separados lateralmente entre sí y dispuestos perpendiculares al eje longitudinal de la aeronave. La finalidad principal de los bastidores es establecer la forma del fuselaje. Los refuerzos de cortadura son de forma típica elementos estructurales que están unidos entre pares de bastidores y están dispuestos paralelos al eje longitudinal de la aeronave. Los refuerzos de cortadura soportan el revestimiento de aeronave y, en uso, transfieren a los bastidores las cargas aerodinámicas que actúan sobre el revestimiento.

Es deseable que los armazones de aeronave se produzcan dentro de unos límites de tolerancia muy estrechos.

La producción de un armazón de aeronave comprende normalmente producir dos o más secciones de armazón separadas (p. ej., una sección de fuselaje anterior, una sección de fuselaje posterior y una sección de cola) y, posteriormente, unir esas secciones entre sí.

Tiende a ser muy difícil de producir secciones de armazón independientes con un nivel suficiente de precisión como para permitir un fácil ensamblado del armazón. Pueden resultar necesarios procesos de acuíñado largos y costosos para rellenar los huecos entre, por ejemplo, las secciones de armazón cuando esas secciones están unidas entre sí.

La producción de una sección de un armazón de aeronave conlleva de forma típica el uso de herramientas o útiles de ensamblado de armazones diseñados para soportar componentes de armazón mientras se trabaja en los mismos y para situar distintos componentes juntos en las posiciones relativas correctas durante el ensamblado del armazón. Tradicionalmente, cada proceso de ensamblado distinto ha requerido al menos un útil de ensamblado dedicado, que se produce específicamente para un conjunto dado de componentes y que está diseñado para soportar los componentes de una forma particular para que las operaciones de ensamblado puedan llevarse a cabo sin interferencia de la herramienta. Tales herramientas de ensamblado se fabrican según unas normas muy estrictas.

Un elemento de ensamblado convencional comprende una estructura de metal rígida construida de acero de sección transversal rectangular soldada. Se ensambla una pluralidad de dispositivos de recogida en la estructura para transportar los componentes de aeronave durante el proceso de ensamblado, y estos también se producen de forma convencional a partir de piezas de acero soldadas.

El documento EP 1 230 124 describe tal elemento de ensamblado. US2003/033041 también es un documento indicativo de la técnica anterior.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona un método y un sistema correspondiente para producir una parte componente de un armazón de aeronave, como se establece en las reivindicaciones independientes 1 y 11, respectivamente.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de una aeronave;

la Figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) de una parte de un armazón de un fuselaje de la aeronave;

la Figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que muestra etapas de un método para producir partes componentes del armazón;

la Figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra parte de un modelo digital del armazón creado durante el proceso de la Figura 3;

la Figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un aparato de mecanizado para mecanizar un componente del armazón;

la Figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra parte de un modelo digital del armazón creado durante el proceso de la Figura 3;

5 la Figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un aparato de mecanizado para mecanizar un componente del armazón;

la Figura 8 es un diagrama de flujo de proceso que muestra las etapas de un método de ensamblado del armazón y de sujeción de un revestimiento externo de aeronave al mismo;

10 la Figura 9 es una ilustración esquemática (no a escala) de un subconjunto del armazón;

la Figura 10 es un diagrama de flujo de proceso que muestra etapas de un método de ensamblado el subconjunto;

15 la Figura 11 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un sistema de ensamblado;

la Figura 12 es un diagrama de flujo de proceso que muestra etapas de un método de ensamblado del armazón a partir de unos subconjuntos;

20 la Figura 13 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra el sistema de ensamblado que se está utilizando para el ensamblado;

la Figura 14 es un diagrama de flujo de proceso que muestra las etapas de un método para fijar un revestimiento externo de aeronave al armazón; y

25 la Figura 15 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra parte de un modelo digital de una cuña.

Descripción detallada

30 Se apreciará que en la presente memoria se emplean términos relativos tales como horizontal y vertical, superior e inferior, encima y debajo, frontal y trasero, superior e inferior, etc. simplemente para facilitar la referencia a las Figuras y que estos términos no son limitativos como tales, y que pueden aplicarse cualesquiera dos direcciones o posiciones, etc. distintas más que unas direcciones realmente horizontal y vertical, superior e inferior, etc.

35 La Figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de una aeronave 100 ilustrativa que comprende un fuselaje 102, dos alas 104 y un empenaje 106.

El fuselaje 102 comprende un armazón y un revestimiento externo de aeronave fijado al armazón.

40 La Figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) de una parte del armazón 200 del fuselaje 102, que se denomina en adelante en la memoria el "armazón" 200.

En esta realización, el armazón 200 comprende cuatro bastidores 202 separados lateralmente y doce refuerzos 204 de cortadura.

45 En esta realización, los bastidores 202 pueden ser de cualquier material apropiado, incluidos, sin limitación, aluminio o una aleación del mismo y titanio o una aleación del mismo. Los bastidores 202 definen la forma del fuselaje de aeronave y, en uso, aportan estabilidad a la aeronave 100 al impedir u oponerse a la flexión de los refuerzos 204 de cortadura. Cuando la aeronave 100 está completamente ensamblada, los bastidores 202 se disponen de forma sustancialmente perpendicular al eje longitudinal de la aeronave 100.

50 En esta realización, los refuerzos 204 de cortadura pueden ser de cualquier material apropiado, incluidos, aunque no de forma limitativa, aluminio o una aleación del mismo y titanio o una aleación del mismo. Cada refuerzo 204 de cortadura está sujeto a dos bastidores 202 adyacentes y se extiende entre ese par de bastidores 202. Cuando la aeronave 100 está completamente ensamblada, los refuerzos 204 de cortadura discurren sustancialmente paralelos al eje longitudinal de la aeronave 100. En esta realización, los refuerzos 204 de cortadura están sujetos a los bastidores 202 por una pluralidad de fijaciones insertadas a través de unos agujeros de fijaciones en los bastidores 202 y los refuerzos 204 de cortadura. En algunas realizaciones, uno o más de los refuerzos 204 de cortadura es de un tamaño distinto al de uno o más de los demás refuerzos de cortadura.

60 El armazón 200 puede comprender además uno o más componentes adicionales que pueden estar sujetos (p. ej., mediante fijaciones) a uno o más de los bastidores 202 y/o de los refuerzos 204 de cortadura. Ejemplos de partes componentes adicionales incluyen, sin limitación, elementos estructurales tales como quillas, suelos de combustible y vigas. Tales componentes adicionales se han omitido en esta descripción simplemente por razones de facilidad de representación y de comprensión.

65

Más adelante se describe con más detalle una realización de un proceso de producción de las partes componentes 202, 204 del armazón 200 con referencia a las Figuras 3-7. Este proceso puede considerarse como producir un “juego de partes” para el armazón 200 que puede ensamblarse posteriormente dentro el armazón 200 mostrado en la Figura 2.

5 Más adelante se describe con más detalle una realización de un proceso de ensamblado de las partes componentes 202, 204 (producidas por el proceso que se describe a continuación con referencia a las Figuras 3-7) para formar el armazón 200 con referencia a las Figuras 8-15.

10 La Figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de una realización de un método para producir las partes componentes 202, 204 del armazón 200 (es decir, los bastidores 202 y los refuerzos 204 de cortadura). En esta realización, los bastidores 202 producidos y los refuerzos 204 de cortadura forman un juego de partes que posteriormente pueden ensamblarse juntos para formar el armazón 200.

15 En una etapa s2, para cada una de las partes componentes 202, 204 del armazón 200 (es decir, para cada uno de los bastidores 202 y de los refuerzos 204 de cortadura), se crea un modelo digital respectivo de esa parte 202, 204. Los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 especifican las superficies de las partes componentes 202, 204. Los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 pueden ser especificados por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier software o herramienta de diseño asistido por ordenador (CAD) de modelización 3D apropiado.

20 En una etapa s4, los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 se ensamblan digitalmente entre sí para proporcionar de este modo un modelo digital del armazón 200. Los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 pueden ser ensambladas digitalmente por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados. El modelo digital del armazón 200 especifica las superficies del armazón 200.

En una etapa s6, el modelo digital del armazón 200 se modifica para incluir huecos entre las representaciones digitales de las partes componentes 202, 204.

30 La Figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una parte 400 del modelo digital del armazón 200 modificado en la etapa s6. En esta realización, el modelo digital del armazón 200 se modifica para que los modelos digitales de los bastidores 202 y de los refuerzos 204 de cortadura estén separados entre sí. El modelo digital del armazón 200 se modifica para que existan unos huecos 402 entre las representaciones digitales de las partes componentes 202, 204 que han de fijarse entre sí durante el ensamblado del armazón 200.

35 El modelo digital del armazón 200 puede ser modificado (para definir los huecos 402) por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados. Por ejemplo, los huecos 402 pueden especificarse alterando el tamaño y/o la forma de uno o más de los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 y/o moviendo uno o más de los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 con respecto a uno o más de los otros modelos digitales de las partes componentes 202, 204. La modificación del modelo digital del armazón 200 puede basarse en la capacidad de fabricación.

45 En una etapa s7, se crean unos modelos digitales nuevos (o actualizados) de las partes componentes 202, 204 basándose en el modelo digital modificado del armazón 200 producido en la etapa s6. En esta realización, los nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 son los especificados por el modelo digital modificado del armazón 200, es decir, que pueden haberse modificado o cambiado para acomodar los huecos 402 en el modelo digital del armazón 200. Los nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 pueden ser creados por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados.

50 En la etapa s8 se producen los bastidores 202 y los refuerzos 204 de cortadura físicos según los nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 creados en la etapa s7.

En esta realización, cada bastidor 202 y refuerzo 204 de cortadura es producido por una fresadora con control numérico por ordenador (CNC) de 5 ejes que mecaniza una pieza de trabajo respectiva según el nuevo modelo digital de ese bastidor 202 o refuerzo 204 de cortadura.

La Figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) que ilustra un ejemplo de proceso convencional de producción de un bastidor 202 que puede realizarse en la etapa s8.

60 En esta realización, una pieza de trabajo (que ha de mecanizarse para formar el bastidor 202 y, por lo tanto, se indica en la Figura 5 mediante el número de referencia 202) se fija a un elemento 500 de mecanizado de bastidor. El elemento 500 de mecanizado de bastidor comprende una parte 502 de base sustancialmente rígida y una pluralidad de pasadores posicionadores 504.

65 En esta realización, hay cuatro pasadores posicionadores 504 situados en una superficie superior de la parte de base 502 y que se extienden alejándose de la superficie superior de la parte 502 de base en una dirección que es

sustancialmente perpendicular a esa superficie. En esta realización, cada uno de los pasadores posicionadores 504 está configurado para acoplarse a una característica de sujeción de útil respectiva de la pieza 202 de trabajo. En esta realización, cada característica 510 de sujeción de elemento es un agujero a través de la pieza de trabajo a través de la cual se recibe un pasador posicionador 504 correspondiente. Las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 504 corresponden a las de las características 510 de sujeción de elemento de la pieza 202 de trabajo, de forma que la pieza 202 de trabajo puede situarse sobre la superficie superior de la parte 502 de base de modo que cada pasador posicionador 504 se acopla a una característica 510 de sujeción de elemento respectiva, fijando de este modo la pieza 202 de trabajo contra el elemento 500 de mecanizado de bastidor. La pieza 202 de trabajo y el elemento 500 de mecanizado de bastidor son complementarios. Los pasadores posicionadores 504 están configurados para sostener firmemente la pieza 202 de trabajo para impedir u oponerse al movimiento o flexión de la pieza 202 de trabajo mientras se está mecanizando la pieza 202 de trabajo.

En esta realización, la fresadora CNC 506 está controlada por un controlador 508. El controlador 508 mueve la fresadora CNC 506 con respecto a un dato definido por las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 504 y las características de sujeción del elemento de la pieza 202 de trabajo. El controlador 508 puede controlar la fresadora de CNC 506 para examinar características del elemento 500 de mecanizado de bastidor, por ejemplo, moviendo la fresadora CNC 506 para que entre en contacto con los pasadores posicionadores 504. De este modo, el controlador 508 determina la localización de la herramienta de corte de la fresadora 506 CNC en el espacio con respecto al dato. Utilizando el dato, la posición conocida de la herramienta de corte y el modelo digital actual del bastidor 202, el controlador 508 controla la fresadora CNC 506 para mecanizar la pieza 202 de trabajo y producir de este modo el bastidor 202.

Por lo tanto, el bastidor 202 puede producirse de la siguiente forma. En primer lugar, se proporciona una pieza de trabajo que comprende una pluralidad de características de sujeción para sujetar la pieza de trabajo al elemento 500 de mecanizado. Se define un dato dependiente de las posiciones relativas de las características de sujeción (que, por ejemplo, pueden ser medidas por la fresadora CNC 506, por un seguidor láser o por otro aparato de medición). La superficie de la pieza 202 de trabajo puede medirse entonces con respecto al dato (p. ej., mediante la fresadora CNC 506, un seguidor láser u otro aparato de medición). La pieza de trabajo está sujeta, utilizando sus características de sujeción, al elemento 500 de mecanizado. Puede utilizarse un modelo digital del bastidor 202 deseado (que puede incluir las características de sujeción) y las mediciones de la superficie de la pieza de trabajo para controlar el aparato de mecanizado (es decir, la fresadora CNC 506) con respecto al dato para mecanizar la pieza 200 de trabajo sujeta al elemento 500 de mecanizado para producir el bastidor 200 como especifica el modelo digital.

Todos los bastidores 202 y refuerzos 204 de cortadura pueden producirse utilizando un proceso de mecanizado CNC similar.

Volviendo a la descripción de la Figura 3, en una etapa s10 se usa una máquina de medición por coordenadas (CMM) para medir las superficies de cada uno de los bastidores físicos 202 y los refuerzos 204 de cortadura producidos en la etapa s8.

En una etapa s12 se crean modelos digitales nuevos (o actualizados) de las partes componentes 202, 204 utilizando las mediciones de CMM realizadas en la etapa s10. Por lo tanto, estos nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 tienden a ser representaciones digitales precisas de las partes 202, 204 físicas producidas.

Opcionalmente, en una etapa s14 se tratan las partes componentes físicas. Ejemplos de tratamiento que pueden llevarse a cabo o aplicarse a las partes componentes 202, 204 incluyen, aunque no de forma limitativa, la anodización, desengrasado, recubrimiento por conversión de cromato, tratamiento térmico de la solución y pintado. En algunas realizaciones, esta etapa de tratamiento (etapa s14) se lleva a cabo antes de las etapas de medición por CMM y de creación de modelo digital realizadas en las etapas s10 y s12, respectivamente.

En una etapa s15, los nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 creados en la etapa s12 se ensamblan digitalmente entre sí para de este modo proporcionar un modelo digital nuevo (o actualizado) del armazón 200. Los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 pueden ser ensambladas digitalmente por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados.

En una etapa s16, se crea un modelo digital para cada una de una pluralidad de cuñas utilizando el nuevo modelo digital del armazón 200 creado en la etapa s15.

El nuevo modelo digital del armazón 200 creado en la etapa s15 especifica unos huecos entre las partes componentes 202, 204 que han de fijarse entre sí. En esta realización, para cada uno de estos huecos se crea un modelo digital de una cuña respectiva que rellena completamente ese hueco.

La Figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una parte 600 del nuevo modelo digital del armazón 200 creado en la etapa s15. En esta realización, hay un hueco 602 entre las representaciones digitales del bastidor 202 y el refuerzo 204 de cortadura. Se especifica un modelo digital de una cuña 604 para que la cuña 604 llene completamente el hueco 602.

El modelo digital de las cuñas 604 puede ser creado por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados.

5 En una etapa s18, se producen cuñas físicas 604 según los modelos digitales de las cuñas 604 creadas en la etapa s16.

10 En esta realización, las cuñas 604 son producidas por un aparato de fabricación aditiva (AM) que realiza un proceso AM. Ejemplos de procesos AM que pueden utilizarse para producir las cuñas 604 incluyen, aunque no de forma limitativa, inyección de aglutinante, deposición por energía dirigida, extrusión de material, inyección de material, fusión de lechos de polvo, laminación de hojas y fotopolimerización en cubeta.

15 Las cuñas 604 pueden ser de cualquier material apropiado, por ejemplo, aluminio o una aleación de aluminio, titanio o una aleación de titanio, o un plástico. Preferiblemente, las cuñas 604 son resistentes a la corrosión o a la degradación por contacto con combustible de aviación.

20 En una etapa s20, las cuñas físicas 604 se unen a las superficies correspondientes de las partes componentes 202, 204 físicas. Puede utilizarse cualquier proceso de unión adecuado para unir las cuñas 604 a las partes componentes 202, 204. Por ejemplo, puede utilizarse un adhesivo de polisulfuro.

En algunas realizaciones, las cuñas 604 pueden formarse sobre las superficies de las partes componentes 202, 204 físicas utilizando un proceso de AM [tal como un proceso de escritura directa (DW)] para “imprimir” las cuñas 604 directamente sobre las superficies de las partes componentes 202, 204.

25 En algunas realizaciones, una o más de las partes acunadas 202, 204 vuelven a medirse y pueden utilizarse para verificar o actualizar uno o más de los modelos digitales.

30 En una etapa s22, el modelo digital del armazón 200 se modifica para incluir representaciones digitales de agujeros de fijaciones a través de las partes componentes 202, 204.

En la Figura 6 se indica un ejemplo de una representación digital de un agujero de sujetador mediante líneas de puntos y el número 606 de referencia.

35 En esta realización, los agujeros 606 de sujeción son agujeros a través de las partes componentes 202, 204, 604. Los agujeros 606 de sujeción son agujeros para recibir fijaciones durante el proceso de ensamblado de armazón descrito más adelante. Para dos o más partes componentes 202, 204 distintas que han de ensamblarse entre sí los agujeros 606 de sujeción en esas partes están alineados, lo que permite situar fijaciones a través de todas esas partes componentes 202, 204, 604 para fijar mecánicamente esas partes componentes 202, 204 entre sí. Como se muestra en la Figura 6, un agujero 606 de sujeción en el bastidor 202 está alineado con un agujero 606 de sujeción en el refuerzo 204 de cortadura.

40 Por lo tanto, los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 se modifican o actualizan para especificar agujeros 606 de sujeción. Los agujeros 606 de sujeción pueden ser especificados en los modelos digitales por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D apropiados.

45 En una etapa e24, los agujeros 606 de sujeción se taladran en las partes componentes 202, 204, 604 físicas según los modelos digitales modificados en la etapa s22. Es decir, los modelos digitales de las partes componentes 202, 204 que se han modificado o actualizado para especificar agujeros 606 de sujeción se utilizan para formar agujeros 606 de sujeción en las partes componentes 202, 204 físicas.

50 La Figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que ilustra un proceso ilustrativo de taladrado de agujeros de fijaciones en un bastidor 202 que puede llevarse a cabo en la etapa s24. El bastidor 202 tiene una pluralidad de cuñas 604 unidas a su superficie. El bastidor 202 se fija al elemento 500 de mecanizado del bastidor. En particular, los pasadores posicionadores 504 sujetan firmemente el bastidor 202 contra la superficie superior de la parte 502 de base rígida para impedir u oponerse al movimiento o a la flexión del bastidor 202 mientras se taladran los agujeros 606 de sujeción.

55 En esta realización, el controlador 508 mueve la fresadora 506 CNC con respecto a un dato definido por las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 504 y las características de sujeción del elemento de la pieza 202 de trabajo. El controlador 508 puede controlar la fresadora de CNC 506 para examinar características del elemento 500 de mecanizado de bastidor, por ejemplo, moviendo la fresadora CNC 506 para que entre en contacto con los pasadores posicionadores 504. De este modo, el controlador 508 determina la localización de la herramienta de corte de la fresadora 506 CNC en el espacio con respecto al dato. Utilizando el dato, la posición conocida de la herramienta de corte y el modelo digital actual para el bastidor 202 que especifica las posiciones de los agujeros 606 de sujeción, el controlador 508 controla la fresadora CNC 506 para taladrar los agujeros 606 de sujeción en el bastidor 202.

Preferiblemente, los agujeros 606 de sujeción taladrados se desbarban después de taladrarse, por ejemplo, mientras que el bastidor 202 todavía está fijado al elemento 500 de mecanizado.

Todos los bastidores 202 y refuerzos 204 de cortadura pueden tener agujeros de sujeción taladrados en los mismos utilizando un proceso de mecanizado por CNC similar.

Volviendo a la descripción de la Figura 3, en una etapa s26 se utiliza una máquina CMM para medir las superficies de cada uno de los bastidores 202 y refuerzos 204 de cortadura taladrados producidos en la etapa s24, incluyendo la medición de los agujeros 606 de sujeción taladrados.

En una etapa s28 se crean modelos digitales nuevos (o actualizados) de las partes componentes 202, 204 utilizando las mediciones de CMM tomadas en la etapa s26. Por lo tanto, estos nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 tienden a ser representaciones digitales precisas de las partes 202, 204 físicas producidas con cuñas 604 unidas a las mismas y con agujeros 606 de sujeción taladrados a través de las mismas.

Los nuevos modelos digitales de las partes componentes 202, 204 pueden utilizarse para proporcionar un modelo digital nuevo o actualizado del armazón 200.

Por lo tanto, se proporciona un método que produce las partes componentes 202, 204 del armazón 200. Los bastidores 202 y refuerzos 204 de cortadura producidos forman un juego de partes. Lo que se describirá ahora es un método de ensamblado de este juego de partes.

La Figura 8 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de una realización de un método de ensamblado del armazón 200 a partir de los bastidores 202 y los refuerzos 204 de cortadura y la sujeción de un revestimiento externo de aeronave al mismo.

En una etapa s30 se ensambla un primer subconjunto del armazón 200.

La Figura 9 es una ilustración esquemática (no a escala) del primer subconjunto 900. El primer subconjunto 900 es una parte del armazón 200. En esta realización, el primer subconjunto 900 comprende dos bastidores 202 separados lateralmente y cuatro refuerzos 204 de cortadura. Los cuatro refuerzos 204 de cortadura están sujetos entre los dos bastidores 202 separados.

Más adelante se describe con más detalle un proceso para ensamblar el primer subconjunto 900 con referencia a la Figura 10.

En una etapa s32 se ensambla un segundo subconjunto del armazón 200. En esta realización, el segundo subconjunto es sustancialmente igual que el primer subconjunto 900. El segundo subconjunto se ensambla del mismo modo que el primer subconjunto 900, que se describe con más detalle más adelante con referencia a las Figuras 10 y 11.

En una etapa s34, el primer subconjunto 900 y el segundo subconjunto se sujetan entre sí para formar el armazón 200.

Más adelante se describe con más detalle un proceso para ensamblar el armazón 200 a partir del primer y segundo subconjuntos con referencia a las Figuras 12 y 13.

En una etapa s36, se fija un revestimiento externo de aeronave a la superficie exterior del armazón 200.

Más adelante se describe con más detalle un proceso para fijar el revestimiento externo a la superficie exterior del armazón 200 con referencia a las Figuras 14 y 15.

Por lo tanto, se proporciona un método de ensamblaje del armazón 200 y de sujeción de un revestimiento externo de aeronave al mismo.

Volviendo ahora a la descripción de la etapa s30, la Figura 10 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de un método de ensamblado del primer subconjunto 900. La descripción de la Figura 10 hará referencia a la Figura 11. La Figura 11 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un sistema 100 de ensamblado utilizado para ensamblar el armazón 200.

En una etapa s40 se fija un primer bastidor 202a a una estructura 1102 de soporte.

La estructura 1102 de soporte comprende una base 1104 y una pluralidad de elementos 1106 de soporte alargados.

La base 1104 es un elemento sustancialmente rígido. La base 1104 puede ser de metal, por ejemplo, acero. La base 1104 es pesada, de forma que se opone o impide el deslizamiento (es decir, la traslación) y la rotación de la estructura 1102 de soporte durante el proceso de ensamblado. La base 1104 es relativamente gruesa, de forma que se opone o impide la flexión o el doblado de la base 1104 durante el proceso de ensamblado.

La base 1104 comprende una pluralidad de primeros diodos 1107 emisores de luz (LED). En esta realización, hay cuatro primeros LED 1107. Sin embargo, en otras realizaciones hay un número distinto de primeros LED, por ejemplo, más de cuatro.

5 Cada elemento 1106 de soporte está sujeto de forma fija en su extremo proximal a una superficie superior de la base 1104. Cada elemento 1106 de soporte se extiende alejándose de la superficie superior de la base 1104 en una dirección que es sustancialmente perpendicular a la superficie superior de la base 1104.

10 En esta realización, el primer bastidor 202a está fijado a los extremos distales de los elementos 1106 de soporte. Los elementos 1106 de soporte están dispuestos de modo que la superficie definida por los extremos distales de los elementos 1106 de soporte tiene la misma forma que la superficie inferior del primer bastidor 202a.

15 En esta realización, cada elemento 1106 de soporte comprende un pasador posicionador 1108 respectivo. Las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 1108 corresponden a las de las características de sujeción de elemento (que en esta realización es a través de agujeros pasantes) del primer bastidor 202a para que el primer bastidor 202a pueda situarse sobre los extremos distales de los elementos 1106 de soporte de modo que cada pasador posicionador 1108 se acople a una característica de sujeción de elemento respectiva, fijando de este modo el primer bastidor 202a contra la estructura 1102 de soporte. Cada uno de los pasadores posicionadores 1108 está configurado para acoplarse a (es decir, ser recibido por) una característica de sujeción de elemento respectiva del primer bastidor 202a.

20 En esta realización, las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 1108 de la estructura 1102 de soporte son sustancialmente las mismas que las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 504 del elemento 500 de mecanizado. Además, las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 1108 de la estructura 1102 de soporte son sustancialmente las mismas que las posiciones relativas de las características de sujeción de elemento del primer bastidor 202a.

25 En esta realización hay cuatro elementos 1106 de soporte. Sin embargo, en otras realizaciones hay un número distinto de elementos de soporte, por ejemplo, más de cuatro.

30 En algunas realizaciones, las longitudes de los elementos 1106 de soporte (es decir, las alturas de los extremos distales de los elementos de soporte por encima de la superficie superior de la base 1104) son ajustables para que el sistema 1102 de elementos pueda ajustarse para recibir objetos que tengan formas distintas. Sin embargo, en otras realizaciones, las longitudes de los elementos 1106 de soporte son fijas y se seleccionan en función de una forma conocida de un objeto que ha de fijarse al sistema 1102 de elementos.

35 En una etapa s42, un seguidor láser (no mostrado) mide la posición del primer bastidor 202a en la estructura 1102 de soporte.

40 La posición del primer bastidor 202a en la estructura de soporte puede ajustarse basándose en las mediciones del seguidor láser para garantizar que el primer almacén tenga una posición deseada en relación con la estructura 1102 de soporte.

45 En una etapa s44, un primer refuerzo 204a de cortadura se sujeta a un primer brazo 1110 de robot.

50 En esta realización, el primer refuerzo 204a de cortadura ha de fijarse al primer bastidor 202a. Las posiciones relativas deseadas del primer bastidor 202a y del primer refuerzo 204a de cortadura cuando están sujetos entre sí se especifican en el modelo digital más reciente (es decir, actual) del almacén 200 (p. ej., el modelo digital del almacén creado en la etapa s15 o s28).

55 El primer brazo 1110 de robot es un brazo de robot industrial convencional, o brazo robótico, tal como un robot de brazos en serie de seis ejes. El primer brazo 1110 de robot tiene al menos seis grados de libertad. El primer brazo de robot comprende un primer efector final 1112.

60 En esta realización, el primer efector final 1112 comprende una superficie exterior para recibir el primer refuerzo 204a de cortadura. El primer efector final 1112 comprende una pluralidad de pasadores posicionadores 1114 que están situados en, y se extienden alejados de, la superficie exterior. En esta realización, cada uno de los pasadores posicionadores 1114 está configurado para acoplarse a una característica de sujeción de elemento correspondiente del primer refuerzo 204a de cortadura. En esta realización, cada característica de sujeción de elemento del primer refuerzo 204a de cortadura es un agujero a través del primer refuerzo 204a de cortadura, a través del cual puede recibirse un pasador posicionador 1114 respectivo. Las posiciones relativas de los pasadores posicionadores 1114 corresponden a las de las características de sujeción de elemento del primer refuerzo 204a de cortadura para que el primer refuerzo 204a de cortadura se sitúe contra la superficie exterior del primer efector final 1112 de modo que cada pasador posicionador 1114 se acople a una característica de sujeción de elemento respectiva, fijando de este modo el primer refuerzo 204a de cortadura contra el primer efector final 1112.

El primer efector extremo 1112 comprende una pluralidad de segundos LED 1116. En esta realización, hay tres segundos LED 1116. Sin embargo, en otras realizaciones hay un número distinto de segundos LED, por ejemplo, más de tres.

En una etapa s46, un sistema 1118 de medición de posición mide posiciones de la estructura 1102 de soporte y del primer efector final 1112.

En esta realización, el sistema 1118 de medición de posición comprende una pluralidad de cámaras 1120 detectoras de luz visible y un procesador 1122 que está acoplado operativamente a las cámaras 1120.

En esta realización, hay tres cámaras 1120. Sin embargo, en otras realizaciones hay un número distinto de cámaras, por ejemplo, más de tres.

Las cámaras 1120 detectan la luz emitida por la pluralidad de primeros LED 1107. Estas mediciones se envían de las cámaras 1120 al procesador 1122. Utilizando las mediciones de la luz emitida desde los primeros LED 1107, el procesador 1122 determina la posición de la base 1104 en relación con el sistema 1118 de medición de posición. En esta realización, el procesador utiliza esta posición determinada de la base 1104 y la posición medida del primer bastidor 202a en la estructura 1102 de soporte (tomada en la etapa s42) para determinar la posición del primer bastidor 202a en relación con el sistema 1118 de medición de posición.

Además, las cámaras 1120 detectan luz emitida por la pluralidad de segundos LED 1116. Estas mediciones se envían de las cámaras 1120 al procesador 1122. Utilizando las mediciones de la luz emitida desde los segundos LED 1116, el procesador 1122 determina la posición del primer efector final 1112 en relación con el sistema 1118 de medición de posición.

En esta realización, el primer refuerzo 204a de cortadura tiene una posición conocida en el primer efector final 1112. En algunas realizaciones, puede utilizarse un seguidor láser para medir la posición del primer refuerzo 204a de cortadura en el primer efector final 1112. Por lo tanto, el procesador 1122 puede determinar una posición del primer refuerzo 204a de cortadura en relación con el sistema 1118 de medición de posición.

En la etapa s48, el procesador 1122 determina una ruta para el primer efector final 1112. El procesador 1122 utiliza la posición determinada del primer bastidor 202a, la posición determinada del primer efector final 1112 (y/o el primer refuerzo 204a de cortadura) y el modelo digital actual del almacén 200 para determinar la ruta para el primer efector final 1112. La ruta determinada para el primer efector final 1112 es una ruta desde la posición actual del primer efector final (medida en la etapa s46) hasta una posición en la que el primer efector final sostiene el primer refuerzo 204a de cortadura en la posición deseada en relación con el primer bastidor 202a que se especifica en el modelo digital actual del almacén 200.

En una etapa s50, un controlador 1124 controla el primer brazo 1110 de robot para mover el primer efector final 1112 a lo largo de la ruta determinada. Por lo tanto, en esta realización, el primer refuerzo 204a de cortadura se mueve para que su posición en relación con el primer bastidor 202a sea la misma que la especificada en el modelo digital actual del almacén 200. Este movimiento del primer refuerzo 204a de cortadura en relación con el primer bastidor 202a tiende de forma ventajosa a hacer que los agujeros de sujeción en el primer refuerzo 204a de cortadura se alineen con los agujeros de sujetador en el primer bastidor 202a.

En una etapa s52, se bloquea la posición del primer brazo 1110 de robot en relación con la estructura 1102 de soporte. Esto puede comprender mantener la potencia al primer brazo 1110 de robot. Por lo tanto, se mantienen las posiciones relativas del primer bastidor 202a y del primer refuerzo 204a de cortadura.

En una etapa s54, un operario humano fija el primer refuerzo 204a de cortadura al primer bastidor 202a utilizando las denominadas "fijaciones temporales". Las fijaciones temporales pueden ser, por ejemplo, pernos o remaches de acero inoxidable.

En esta realización, el primer refuerzo 204a de cortadura se posiciona en relación con el primer bastidor 202a para que cada uno de una pluralidad de agujeros de sujetador a través del primer refuerzo 204a de cortadura esté alineado con un agujero de fijación correspondiente a través del primer bastidor 202a. Cada fijación temporal se inserta a través de un par respectivo de agujeros de fijación alineados. Por lo tanto, las fijaciones temporales se sitúan a través del primer bastidor 202a y del primer refuerzo 204b de cortadura para unir mecánicamente el primer bastidor 202a y el primer refuerzo 204b de cortadura entre sí.

En una etapa s56 se sujetan tres refuerzos de cortadura adicionales al primer bastidor 202a en unas posiciones especificadas por el modelo digital actual del almacén 200.

En esta realización, un segundo refuerzo 204b de cortadura se sujeta al primer bastidor 202a en una posición deseada que se especifica en el modelo digital actual del almacén 200. El segundo refuerzo 204b de cortadura se sujeta al

primer bastidor 202a utilizando un segundo brazo 1126 de robot, controlado por el controlador 1124. El segundo brazo 1126 de robot comprende un segundo efector final 1128 que sostiene el segundo refuerzo 204b de cortadura utilizando una pluralidad de pasadores posicionadores 1130. Las pasadores posicionadores 1130 se fijan a las características de sujeción del segundo refuerzo 204b de cortadura. El segundo efector final 1128 comprende una pluralidad de LED 1132, cuya luz es detectada por el sistema 1118 de posicionamiento. El segundo refuerzo 204b de cortadura se fija al primer almacén 202a repitiendo las etapas de proceso s44-s54 *mutatis mutandis*.

Puede fijarse un tercer refuerzo de cortadura al primer bastidor 202a en una posición deseada que se especifica en el modelo digital actual del almacén 200, por ejemplo, soltando el primer efector final 1112 del primer refuerzo 204a de cortadura, fijando el tercer refuerzo de cortadura al primer efector final 1112 y repitiendo las etapas de proceso s44-s54 *mutatis mutandis*.

Puede fijarse un cuarto refuerzo de cortadura al primer bastidor 202a en una posición deseada especificada en el modelo digital actual del almacén 200, por ejemplo, soltando el segundo efector final 1128 del segundo refuerzo 204b de cortadura, sujetando el cuarto refuerzo de cortadura al segundo efector final 1128 y repitiendo las etapas de proceso s44-s54 *mutatis mutandis*.

En una etapa s58 se sujeta un segundo bastidor 202b a los refuerzos 204 de cortadura (que están sujetos al primer bastidor 202a) en una posición especificada por el modelo digital actual del almacén 200.

En esta realización, el segundo bastidor 202b se sujeta a los refuerzos 204 de cortadura en una posición deseada que se especifica en el modelo digital actual del almacén 200. El segundo bastidor 202b se sujeta a los refuerzos 204 de cortadura utilizando un tercer brazo 1113 de robot, que está controlado por el controlador 1124. El tercer brazo 1113 de robot comprende un tercer efector final 1136 que sostiene el segundo bastidor 202b utilizando una pluralidad de pasadores posicionadores 1138. Los pasadores posicionadores 1138 están sujetos a las características de fijación de bastidor del segundo bastidor 202b. El tercer efector final 1136 comprende una pluralidad de LED 1140, cuya luz es detectada por el sistema 1118 de posicionamiento. El segundo almacén 202b se fija a los refuerzos 204 de cortadura repitiendo las etapas de proceso s44-s54 *mutatis mutandis*.

En una etapa s60, un operario humano cambia las fijaciones temporales que sujetan los bastidores 202a-b y los refuerzos 204 de cortadura entre sí mediante las denominadas "fijaciones permanentes". Esto completa el ensamblado del primer subconjunto 900.

Las fijaciones permanentes pueden ser, por ejemplo, pernos o remaches de acero inoxidable. Las fijaciones temporales pueden sustituirse una por las fijaciones permanentes.

Después de la sustitución de las fijaciones temporales por las fijaciones permanentes, el primer subconjunto 900 completado se retira de la estructura 1102 de soporte.

Por lo tanto, se proporciona un método de ensamblado del primer subconjunto 900. El mismo método puede utilizarse *mutatis mutandis* para ensamblar el segundo subconjunto.

Volviendo ahora a la descripción de la etapa s34, la Figura 12 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de un método de ensamblado del almacén 200 a partir de los primer y segundo subconjuntos. La descripción de la Figura 12 hará referencia a la Figura 13. La Figura 13 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un sistema 1100 de ensamblado siendo utilizado para ensamblar el almacén 200.

En una etapa s70, el sistema 1100 de ensamblado posiciona el primer subconjunto 900 y el segundo subconjunto 1300 en las posiciones relativas deseadas que se especifican en el modelo digital actual del almacén 200.

En esta realización, el segundo subconjunto 1300 se fija a la estructura 1102 de soporte. En particular, un almacén inferior 202 del segundo subconjunto 1300 se fija a los pasadores posicionadores 1108 de los elementos 1106 de soporte, como se ha descrito con más detalle anteriormente con referencia a la etapa s40 de la Figura 10, *mutatis mutandis*.

Además, el primer subconjunto 900 se fija al tercer efector final 1136 del tercer brazo 1134 de robot. En particular, un almacén superior 202 del primer subconjunto 900 se fija a los pasadores posicionadores 1138 del tercer efector final 1136, como se describe con más detalle arriba con referencia a la etapa s58 de la Figura 10, *mutatis mutandis*.

Utilizando mediciones de la luz emitida procedente del primer y tercer diodo 1107, 1140 tomadas por el sistema 1118 de posicionamiento, el controlador 1124 controla el tercer brazo 1134 de robot para mover el primer subconjunto 900 en relación con el segundo subconjunto 1300 para que los subconjuntos 900, 1300 estén en las posiciones relativas especificadas en el modelo digital actual del almacén 200. Esto puede hacerse como se describe con más detalle arriba con referencia a las etapas s46-s50 de la Figura 10, *mutatis mutandis*.

En una etapa s71, se bloquea la posición del tercer brazo 1113 de robot en relación con la estructura 1102 de soporte. Esto puede comprender mantener la potencia al tercer brazo 1113 de robot. Por lo tanto, se mantienen las posiciones relativas de los subconjuntos 900, 1300.

- 5 En una etapa s72, uno o más operarios humanos sujetan unos refuerzos 204c de cortadura intermedios entre el primer y segundo subconjuntos 900, 1300, fijando de este modo el primer y segundo subconjuntos 900, 1300 entre sí. En esta realización, cuatro refuerzos de cortadura intermedias 204c se sujetan entre los primer y segundo subconjuntos 900, 1300, proporcionando de este modo el armazón 200 ensamblado.
- 10 Puede fijarse un refuerzo 204c de cortadura intermedio entre los subconjuntos 900, 1300 de la siguiente forma. En primer lugar, el uno o más operarios humanos mueven el refuerzo 204c de cortadura intermedio hasta una posición entre el bastidor inferior 202 del primer subconjunto 900 y el bastidor superior 200 del segundo subconjunto 1300, como se indica en la Figura 13 mediante una flecha sólida y el número 1302 de referencia. El refuerzo 204c de cortadura intermedio se posiciona para que una pluralidad de agujeros de fijación de una parte superior del refuerzo 204c de cortadura se alinee con una pluralidad correspondiente de agujeros de fijación del bastidor inferior 202 del primer subconjunto 900 y para que una pluralidad de agujeros de fijaciones de una parte inferior del refuerzo 204c de cortadura se alinee con una pluralidad correspondiente de agujeros de fijaciones del bastidor superior 202 del segundo subconjunto 1300. Esto tiende de forma ventajosa a hacer que el refuerzo 204c de cortadura se posicione en relación con los subconjuntos 900, 1300 como se especifica en el modelo digital actual del armazón 200. A continuación, el uno o más operarios humanos sujetan el refuerzo 204c de cortadura al bastidor inferior 202 del primer subconjunto 900 y al bastidor superior 202 del segundo subconjunto 1300 utilizando una pluralidad de “fijaciones temporales”. Cada fijación temporal se inserta a través de un par respectivo de agujeros de fijación alineados. Por lo tanto, se posiciona una pluralidad de fijaciones temporales a través del refuerzo 204c de cortadura y del bastidor inferior 202 del primer subconjunto 900 para unir mecánicamente entre sí el refuerzo 204c de cortadura y el bastidor inferior 202 del primer subconjunto 900. Además, se posiciona una pluralidad adicional de fijaciones temporales a través del refuerzo 204c de cortadura y del bastidor superior 202 del segundo subconjunto 1300 para unir mecánicamente entre sí el refuerzo 204c de cortadura y el bastidor superior 202 del segundo subconjunto 1300.
- 25 Una vez que los cuatro refuerzos 204c de cortadura están sujetos entre el primer y segundo subconjuntos 900, 1300 utilizando fijaciones temporales, un operario humano cambia los fijaciones temporales por fijaciones permanentes.
- 30 Esto completa el ensamblado del armazón 200.
- 35 Por lo tanto, se proporciona un método de ensamblado del armazón 200.
- Volviendo ahora a la descripción de la etapa s36, la Figura 14 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de un método de sujeción de un revestimiento externo de aeronave a la superficie exterior del armazón 200.
- 40 En una etapa s80, un seguidor láser mide las superficies del armazón 200 a las que se ha de sujetar el revestimiento externo de aeronave. En esta realización, el seguidor láser mide las superficies externas del armazón 200. En algunas realizaciones, pueden usarse uno o más tipos distintos de sensor de medición de superficies (tal como un aparato LIDAR) en vez, o además, de un seguidor láser.
- 45 En una etapa s82 se crea un modelo digital nuevo (o actualizado) de las superficies externas del armazón 200 utilizando las mediciones de seguidor láser tomadas en la etapa s80. Este modelo digital tiende a ser una representación digital precisa de la superficie del armazón 200 ensamblado. El modelo digital de las superficies externas del armazón 200 puede ser especificado por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados.
- 50 En una etapa s84 se proporciona un revestimiento externo de aeronave para el armazón 200. El revestimiento de aeronave puede fabricarse utilizando cualquier método de fabricación conocido apropiado. El revestimiento de aeronave puede ser de, por ejemplo, un CFC.
- 55 En una etapa s86, un seguidor láser mide una superficie interna del revestimiento de aeronave. Es decir, se mide la superficie del revestimiento de aeronave que ha de sostenerse contra el armazón 200. En otras realizaciones, pueden utilizarse uno o más tipos distintos de sensor de medición de superficie (tal como un aparato LIDAR) en vez, o además, de un seguidor láser.
- 60 En una etapa s88 se crea un modelo digital de la superficie interna del revestimiento de aeronave utilizando las mediciones de seguidor láser realizadas en la etapa s86. El modelo digital de la superficie interna del revestimiento de aeronave puede ser especificado por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados.
- 65 En una etapa s90 se crea un modelo digital de una cuña. Esta cuña se denomina en lo sucesivo la “cuña de revestimiento”.

La Figura 15 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una parte del modelo digital de la cuña 1500.

En esta realización, el uso del modelo digital de la cuña 1500 se determina utilizando el modelo digital de la superficie externa 1502 del armazón 200 y el modelo digital de la superficie interior 1504 del revestimiento 1506 de aeronave.

En particular, en esta realización, los modelos digitales de la superficie externa 1502 del armazón 200 y de la superficie interior 1504 del revestimiento 1506 de aeronave se ensamblan digitalmente juntos, es decir, de forma que el revestimiento 1506 de aeronave cubra el armazón según se desee. Entonces, se especifica la cuña 1500 del revestimiento para que llene el espacio (es decir, el hueco) entre la superficie externa 1502 del armazón 200 y la superficie interior 1504 del revestimiento 1506 de aeronave. Por lo tanto, la cuña del revestimiento 1506 encaja entre el armazón 200 y el revestimiento 1506 de aeronave.

El modelo digital de la cuña 1500 del revestimiento puede ser especificado por un usuario humano utilizando un ordenador y cualquier herramienta CAD o software de modelización 3D adecuados.

En una etapa s92, se producen unas cuñas 1500 del revestimiento físicas según los modelos digitales de las cuñas 1500 de revestimiento creadas en la etapa s90.

En esta realización, las cuñas 1500 del revestimiento son producidas por un aparato de AM que realiza un proceso de AM. Entre los ejemplos de procesos de AM que pueden utilizarse para producir las cuñas 1500 del revestimiento se incluyen, aunque no de forma limitativa, inyección de aglutinante, deposición por energía dirigida, extrusión de material, inyección de material, fusión de lechos de polvo, laminación de hojas y fotopolimerización en cubeta.

Las cuñas 1500 del revestimiento pueden ser de cualquier material apropiado, por ejemplo, aluminio o una aleación de aluminio, titanio o una aleación de titanio, o un plástico. Preferiblemente, las cuñas 1500 del revestimiento son resistentes a la corrosión o a la degradación por contacto con el combustible de aviación.

En una etapa s94, las cuñas 1500 del revestimiento físicas se unen a las superficies correspondientes del armazón 200 físico. Puede utilizarse cualquier proceso de unión adecuado para unir las cuñas 1500 del revestimiento al armazón 200. Por ejemplo, puede utilizarse un adhesivo de polisulfuro.

En algunas realizaciones, las cuñas 1500 del revestimiento pueden formarse sobre las superficies del armazón 200 utilizando un proceso de AM (tal como un proceso DW) para “imprimir” las cuñas 1500 del revestimiento directamente sobre las superficies de las partes componentes 202, 204.

En algunas realizaciones, una o más de las cuñas 1500 del revestimiento se unen a, o forman, en la superficie interior 1504 del revestimiento externo 1506 en la etapa s94 en vez de unirse primero al armazón 200.

En una etapa s96, el revestimiento 1506 de aeronave se fija a la superficie acunada del armazón 200 (es decir, la superficie externa del armazón 200 a la que se ha adherido la cuña 1500 del revestimiento).

El revestimiento 1506 de aeronave puede sujetarse a la superficie acunada del armazón 200 utilizando cualquier proceso de fijación apropiado, por ejemplo, utilizando unas fijaciones taladradas.

En algunas realizaciones, el revestimiento 1506 de aeronave puede posicionarse para que su superficie interior 1504 esté en contacto con la superficie acunada del armazón 200 según se desee. Posteriormente se taladran agujeros para las fijaciones a través del revestimiento 1506 de aeronave y del armazón 200. Los fijaciones (p. ej., pernos o remaches) se aseguran a través de los agujeros taladrados para fijar el revestimiento 1506 de aeronave al armazón 200.

En algunas realizaciones, puede aplicarse un adhesivo (p. ej., un adhesivo de polisulfuro) entre la superficie interna 1504 del revestimiento 1506 de aeronave y la superficie acunada del armazón 200.

Por lo tanto, se proporciona un método de fijación del revestimiento externo 1506 de la aeronave a la superficie exterior del armazón 200.

Una ventaja proporcionada por los métodos y aparatos descritos anteriormente es que el armazón tiende a producirse dentro de unos límites de tolerancia muy estrechos, que tienden a no ser posibles utilizando técnicas de producción convencionales. Por ejemplo, una línea de molde interno (IML) del armazón tiende a estar dentro de tolerancias muy estrechas. Por lo tanto, tiende a facilitarse el ensamblado de la aeronave, por ejemplo, la sujeción de las alas y del empenaje al fuselaje.

El proceso de producción descrito anteriormente puede utilizarse para producir un juego de partes para el armazón, que puede ensamblarse posteriormente. En otras palabras, el ensamblado no tiene por qué tener lugar al mismo tiempo y en la misma localización que la producción parcial. El juego puede almacenarse y/o transportarse con relativa facilidad. Además, una o más partes componentes pueden producirse en distintas localizaciones que otras partes

componentes. El ensamblado del armazón puede tener lugar en una localización distinta de aquellas en las que se produjeron las partes componentes.

5 Los métodos y aparatos descritos anteriormente tienden a proporcionar que las partes componentes del armazón (p. ej., los bastidores y los refuerzos de cortadura) puedan producirse independientemente las unas de las otras. Es decir, tiende a no ser necesario mecanizar o procesar los componentes como un conjunto. Esta producción independiente de los componentes tiende a reducir el tiempo de producción del armazón en comparación con los procesos convencionales.

10 Otra ventaja proporcionada por los métodos y aparatos descritos anteriormente es que pueden realizarse ensayos no destructivos y otros procesos en componentes de armazón individuales por separado. Tales ensayos no destructivos tienden a ser difíciles empleando procesos de fabricación y de ensamblado convencionales.

15 El sistema y el método descritos anteriormente tienden a proporcionar mayor flexibilidad. El sistema y el método descritos anteriormente tienden a proporcionar una producción y un ensamblado más rápidos.

El sistema y el aparato descritos anteriormente pueden utilizarse para producir y ensamblar distintos tipos de estructuras. El aparato descrito anteriormente tiende a ser reutilizable para ensamblar múltiples estructuras diferentes.

20 De forma ventajosa, los bastidores y los refuerzos de cortadura tienden a mecanizarse con gran precisión con respecto a un dato de armazón de componente local que está definido por unas características de sujeción que se utilizan para localizar ese componente en el elemento de mecanizado y en los brazos de robot. Esto tiende de forma ventajosa a facilitar el ensamblado y mejorar las tolerancias.

25 En los métodos descritos anteriormente, tiende a evitarse el taladrado manual de partes. Además, tiende a evitarse la determinación manual de los tamaños de cuña (p. ej., utilizando calibres de espesores). Por lo tanto, tienden a proporcionarse una producción más rápida de piezas y una mayor precisión. Además, los agujeros taladrados pueden desbarbarse en la etapa de mecanizado en vez de, por ejemplo, durante el ensamblado. Esto tiende a proporcionar un ensamblado más rápido.

30 De forma ventajosa, tiende a evitarse el uso de herramientas de ensamblado, tales como plantillas de metal rígidas y dispositivos de captación. Por lo tanto, pueden evitarse los costes asociados a la producción y al almacenamiento de estas herramientas de ensamblado.

35 El sistema de ensamblado, que comprende los brazos de robot y la estructura de soporte, tiende a ocupar menos espacio que los sistemas de ensamblado convencionales, que normalmente comprenden plantillas de ensamblado de gran tamaño. Utilizando los sistemas y métodos descritos anteriormente, el armazón puede ensamblarse verticalmente, lo que tiende a reducir aún más la huella del sistema. Además, los brazos de robot pueden moverse y disponerse para funcionar en distintos tamaños y formas de espacio de trabajo. Además, los brazos de robot pueden moverse y disponerse para aceptar distintos tamaños y formas de estructuras y partes componentes que se estén ensamblando.

40 De forma ventajosa, los efectores finales de los brazos de robot pueden cambiarse, permitiendo de este modo que el mismo brazo de robot se utilice para sostener y posicionar distintas partes componentes.

45 Los métodos y aparatos descritos anteriormente tienden a facilitar la producción y el ensamblado de armazones y aeronaves de una sola vez. El sistema y el aparato descritos anteriormente tienden a ser especialmente útiles en la provisión de servicios de demostración, prototipos y/o desarrollo.

50 El aparato, que incluye cualquiera de los ordenadores o procesos mencionados anteriormente para realizar cualquiera de los pasos de método de procesamiento de datos descritos anteriormente, puede proporcionarse configurando o adaptando cualquier aparato adecuado, por ejemplo, uno o más ordenadores u otro aparato de procesamiento o procesadores, y/o proporcionando módulos adicionales. El aparato puede comprender un ordenador, una red de ordenadores o uno o más procesadores para ejecutar instrucciones y usar datos, incluyendo instrucciones y datos en forma de programa informático o de una pluralidad de programas informáticos almacenados en un soporte de almacenamiento legible por máquina tal como una memoria de ordenador, un disco informático, una memoria ROM, una memoria PROM, etc. o cualquier combinación de estos u otros soportes de almacenamiento.

55 Debe señalarse que algunas de las etapas de proceso representadas en los diagramas de flujo de las Figuras 3, 8, 10, 12 y 14 y descritas anteriormente pueden omitirse o que tales etapas de proceso pueden realizarse en un orden distinto al presentado anteriormente y mostrado en esas figuras. Además, aunque todas las etapas de proceso se han representado, por motivos de conveniencia y facilidad de comprensión, como etapas discretas y temporalmente secuenciales, no obstante, algunas de las etapas de proceso pueden de hecho realizarse simultáneamente o al menos superponerse en cierta medida temporalmente.

65

En las realizaciones anteriores se produce un armazón de un fuselaje de aeronave. Sin embargo, en otras realizaciones se produce un tipo de estructura distinto. Por ejemplo, puede producirse un armazón de una parte distinta de la aeronave, por ejemplo, un ala o el empenaje.

5 En las realizaciones anteriores, el armazón comprende cuatro bastidores y doce refuerzos de cortadura. Sin embargo, en otras realizaciones, el armazón comprende un número distinto de bastidores y/o de refuerzos de cortadura. Además, el armazón puede comprender uno o más tipos de componentes diferentes, que incluyen, sin limitación, por ejemplo, largueros, vigas, quillas, suelos de combustible, etc.

10 En las realizaciones anteriores, cada componente de armazón (es decir, cada bastidor y refuerzo de cortadura) comprende cuatro características de sujeción que se utilizan para determinar un dato para ese componente. Las características de sujeción son agujeros a través de la estructura del componente. Sin embargo, en otras realizaciones, uno o más de los componentes de armazón comprenden un número distinto de características de sujeción. En algunas realizaciones, una o más de las características de sujeción pueden ser un tipo distinto de característica de fijación que
15 no sea un agujero pasante.

En las realizaciones anteriores, el armazón se ensambla ensamblando primero dos subconjuntos y luego fijando posteriormente esos subconjuntos entre sí. Sin embargo, en otras realizaciones, el armazón se ensambla de una forma distinta, por ejemplo, fijando las partes componentes entre sí en un orden distinto al descrito anteriormente.
20

En las realizaciones anteriores, el sistema de ensamblado comprende una estructura de soporte que comprende elementos de soporte alargados verticales. Sin embargo, en otras realizaciones se utiliza un tipo de estructura de soporte distinta.

25 En las realizaciones anteriores, el sistema de ensamblado comprende tres brazos de robot. Sin embargo, en otras realizaciones se utiliza un número distinto de brazos de robot, por ejemplo, un único brazo de robot.

En las realizaciones anteriores, los brazos de robot se controlan basándose en mediciones de luz en la cámara emitida por LED sobre los efectores finales de los brazos de robot. Sin embargo, en otras realizaciones, uno o más de los
30 brazos de robot se controlan de una forma adecuada distinta.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir una parte componente de un armazón de aeronave, comprendiendo el método:

5 proporcionar un primer modelo digital, siendo el primer modelo digital un modelo digital de la parte componente;
 producir una parte física inicial utilizando el primer modelo digital;
 medir una superficie de la parte física inicial;
 10 crear un segundo modelo digital utilizando las mediciones de la superficie de la parte física inicial, siendo el segundo modelo digital un modelo digital de la parte física inicial;
 ensamblar digitalmente el segundo modelo digital con uno o más modelos digitales adicionales, siendo cada uno de los modelos digitales adicionales un modelo digital de una parte componente adicional del armazón de aeronave;
 15 especificar uno o más agujeros de sujeción a través de los modelos digitales ensamblados, comprendiendo cada agujero de sujeción a través de los modelos digitales ensamblados una primera parte que pasa a través del segundo modelo digital y una segunda parte que pasa a través de uno de los modelos digitales adicionales, estando alineada la primera parte con la segunda parte;
 taladrar uno o más agujeros de sujeción en la parte física inicial utilizando el segundo modelo digital con las primeras partes respectivas del agujero o agujeros de sujeción especificados en el mismo, produciendo de este modo la parte componente de un armazón de aeronave; y en donde el método comprende además:

25 utilizando los modelos digitales ensamblados, crear un modelo digital de una cuña, llenando la cuña un hueco entre el segundo modelo digital y uno o más de los modelos digitales adicionales;
 producir una parte de cuña física utilizando el modelo digital de la cuña; y
 fijar la cuña física a la parte física inicial; y en donde
 la etapa de taladrar el agujero o agujeros de sujeción en la parte física inicial comprende taladrar uno o más agujeros de sujeción en la parte física inicial a la que se ha fijado la
 30 cuña.

2. Un método según la reivindicación 1, que comprende además taladrar uno o más agujeros de sujeción en una parte física adicional utilizando el modelo digital adicional con las segundas partes respectivas del agujero o agujeros de sujeción especificados en el mismo, produciendo de este modo una parte componente adicional de un armazón de aeronave.

3. Un método según la reivindicación 2, que comprende además:

40 posicionar la parte componente del armazón de aeronave y la parte componente adicional de un armazón de aeronave de modo que cada uno del agujero o agujeros de sujeción de la parte componente del armazón de aeronave se alinee con un agujero más rápido respectivo de la parte componente adicional de un armazón de aeronave; y
 fijar una fijación respectiva a través de cada par de agujeros de sujeción alineados, sujetando de este modo entre sí la parte componente del armazón de aeronave y la parte componente adicional de un armazón de aeronave.

4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la etapa de producir la parte física inicial utilizando el primer modelo digital comprende:

50 proporcionar una pieza de trabajo que comprende una pluralidad de características de sujeción para fijar la pieza de trabajo a un elemento de mecanizado;
 fijar, utilizando las características de sujeción, la pieza de trabajo al elemento de mecanizado;
 determinar un dato, siendo el dato dependiente de las posiciones relativas de las características de sujeción; y
 55 controlar el aparato de mecanizado con respecto al dato para mecanizar la pieza de trabajo sujeta al elemento de mecanizado para producir la parte física inicial según lo especificado por el primer modelo digital.

5. Un método según la reivindicación 4, en donde la etapa de taladrar uno o más agujeros de sujeción en la parte física inicial comprende:

60 fijar, utilizando las características de sujeción, la parte física inicial al elemento de mecanizado; y
 controlar el aparato de taladrado con respecto al dato para taladrar el agujero o agujeros de sujeción en la parte física inicial para producir la parte componente de un armazón de aeronave.

6. Un método según cualquier reivindicación anterior, en donde la etapa de producir una cuña física comprende realizar un proceso de fabricación aditiva.
- 5 7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la etapa de taladrar el uno o más agujeros de sujeción en la parte física inicial comprende:
fijar la parte física inicial a un elemento de mecanizado;
taladrar el uno o más agujeros de sujeción en la parte física inicial fijada al elemento de mecanizado;
y
10 mientras la parte física inicial está fijada al elemento de mecanizado, desbarbar el uno o más agujeros de sujeción.
8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además:
15 medir una superficie de la parte componente del armazón de aeronave; y
crear, utilizando las mediciones de la superficie de la parte componente del armazón de aeronave, un modelo digital de la parte componente del armazón de aeronave.
- 20 9. Un método para producir un juego de partes para un armazón de aeronave, comprendiendo el método:
producir una pluralidad de partes componentes del armazón de aeronave; en donde
una o más de las partes componentes se producen utilizando un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 25 10. Un método para producir un armazón de aeronave, comprendiendo el método:
producir un kit de partes para un armazón de aeronave utilizando el método según la reivindicación 9, comprendiendo el kit de partes una pluralidad de partes componentes; y
ensamblar entre sí la pluralidad de partes componentes para producir de este modo el armazón de
30 aeronave.
11. Un sistema para producir una parte componente de un armazón de aeronave, comprendiendo el sistema:
35 aparato de producción configurado para producir una parte física inicial usando un primer modelo digital, siendo el primer modelo digital un modelo digital de la parte componente;
aparato de medición configurado para medir una superficie de la parte física inicial;
uno o más procesadores configurados para:
40 crear un segundo modelo digital utilizando las mediciones de la superficie de la parte física inicial, siendo el segundo modelo digital un modelo digital de la parte física inicial;
ensamblar digitalmente el segundo modelo digital con uno o más modelos digitales adicionales, siendo cada uno de los modelos digitales adicionales un modelo digital de una parte componente adicional del armazón de aeronave;
45 utilizando los modelos digitales ensamblados, crear un modelo digital de una cuña, llenando la cuña un hueco entre el segundo modelo digital y uno o más de los modelos digitales adicionales;
y
especificar uno o más agujeros de sujeción a través de los modelos digitales ensamblados,
comprendiendo cada agujero de sujeción a través de los modelos digitales ensamblados
50 una primera parte que pasa a través del segundo modelo digital y una segunda parte que pasa a través de uno de los modelos digitales adicionales, estando alineada la primera parte con la segunda parte; y en donde el aparato de producción está configurado además para:
55 producir una parte de cuña física utilizando el modelo digital de la cuña; y
fijar la cuña física a la parte física inicial; en donde el sistema comprende además:
aparato de taladrado configurado para taladrar uno o más agujeros de sujeción
60 en la parte física inicial a la que se ha fijado la cuña utilizando el segundo modelo digital con las primeras partes respectivas de los agujeros de sujeción especificados en el mismo, produciendo de este modo la parte componente de un armazón de aeronave.

Figura 1

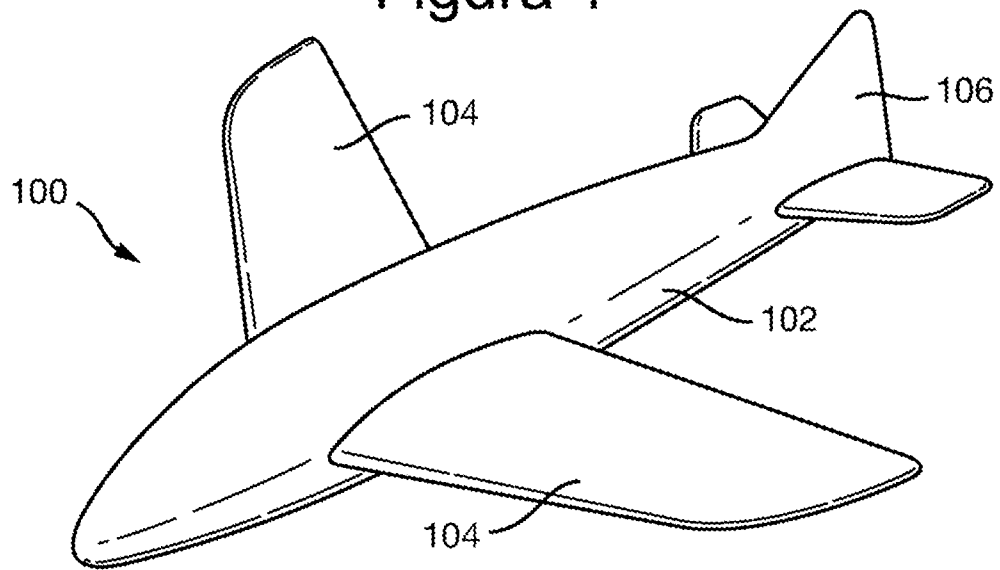


Figura 2

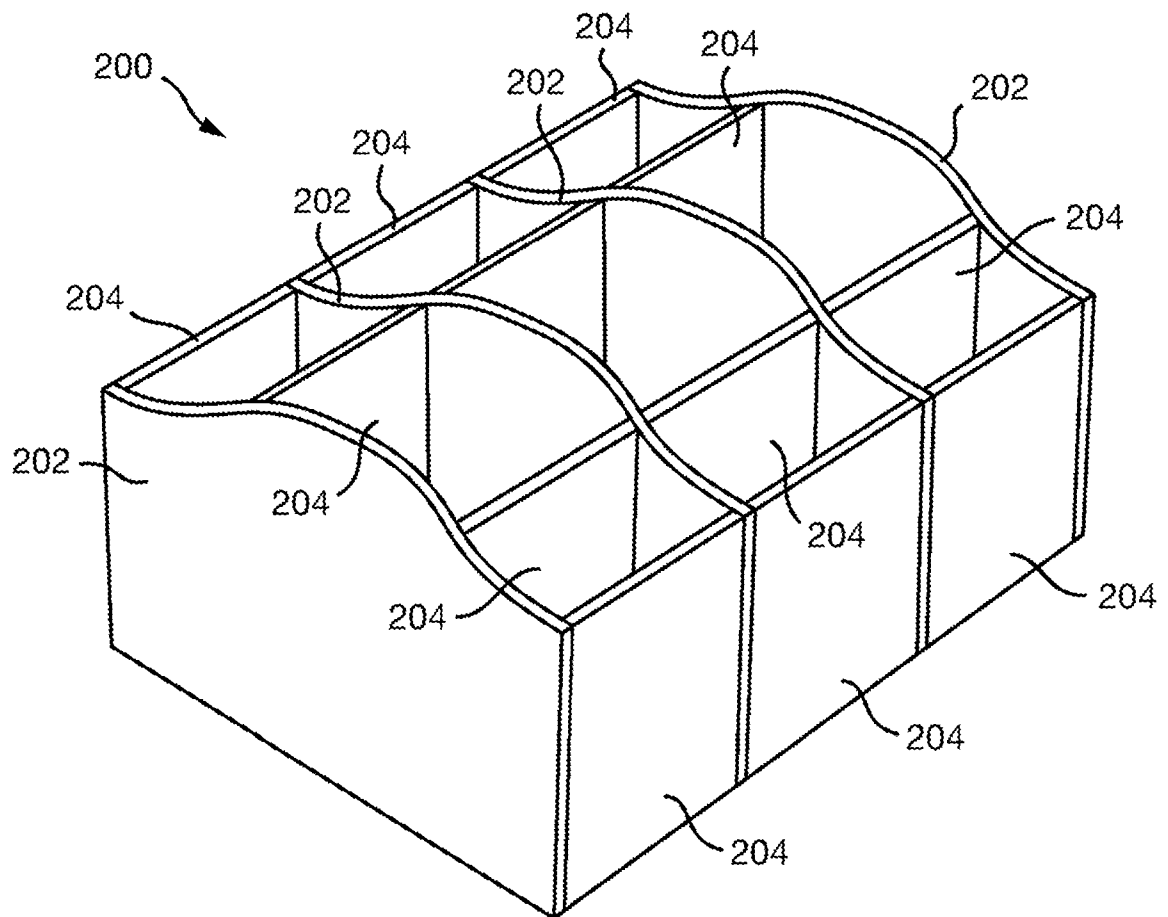


Figura 3

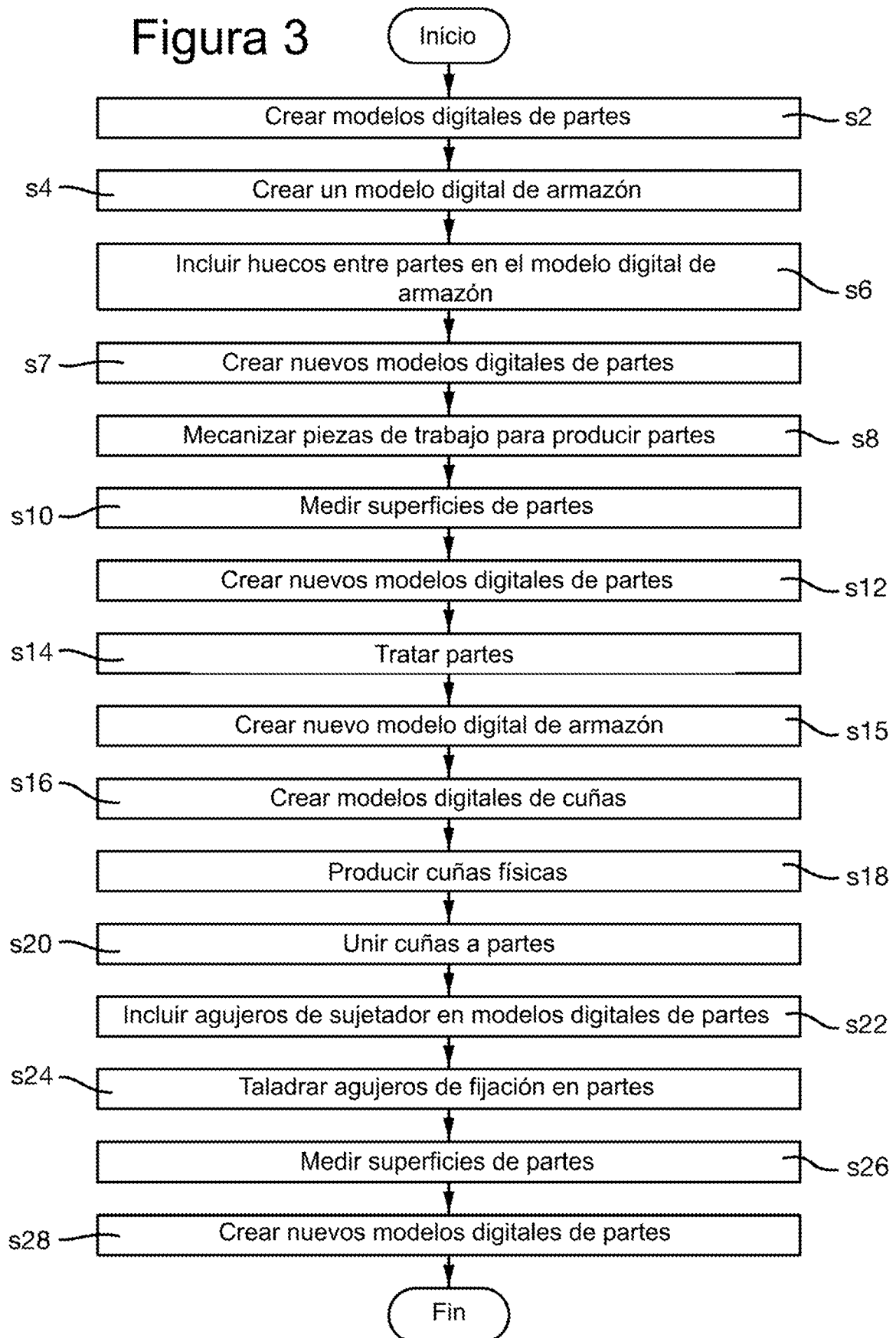


Figura 4

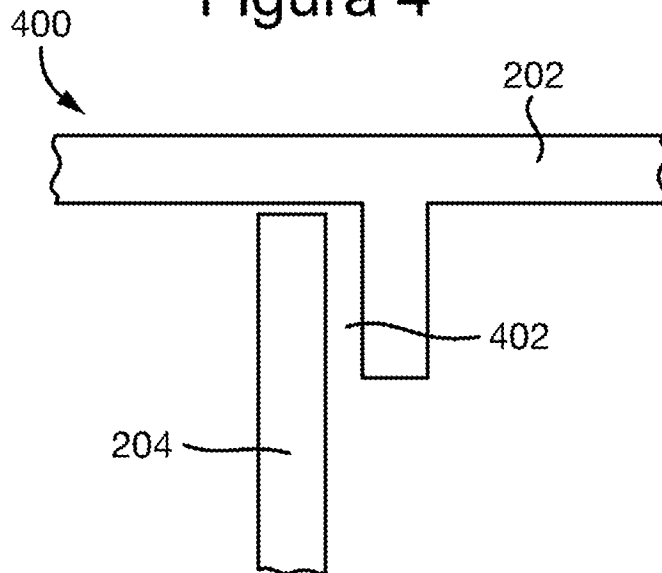


Figura 5

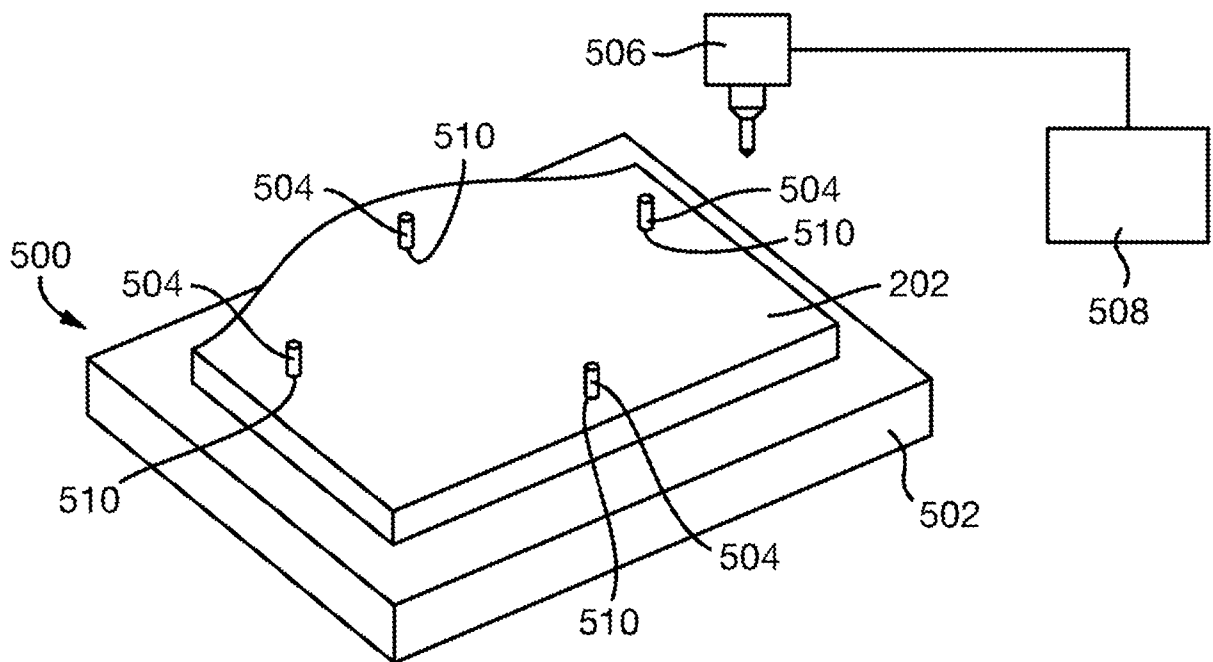


Figura 6

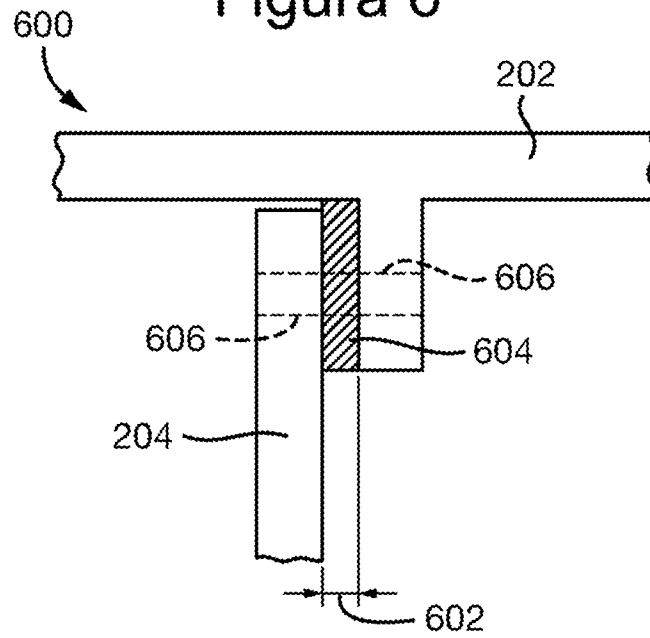


Figura 7

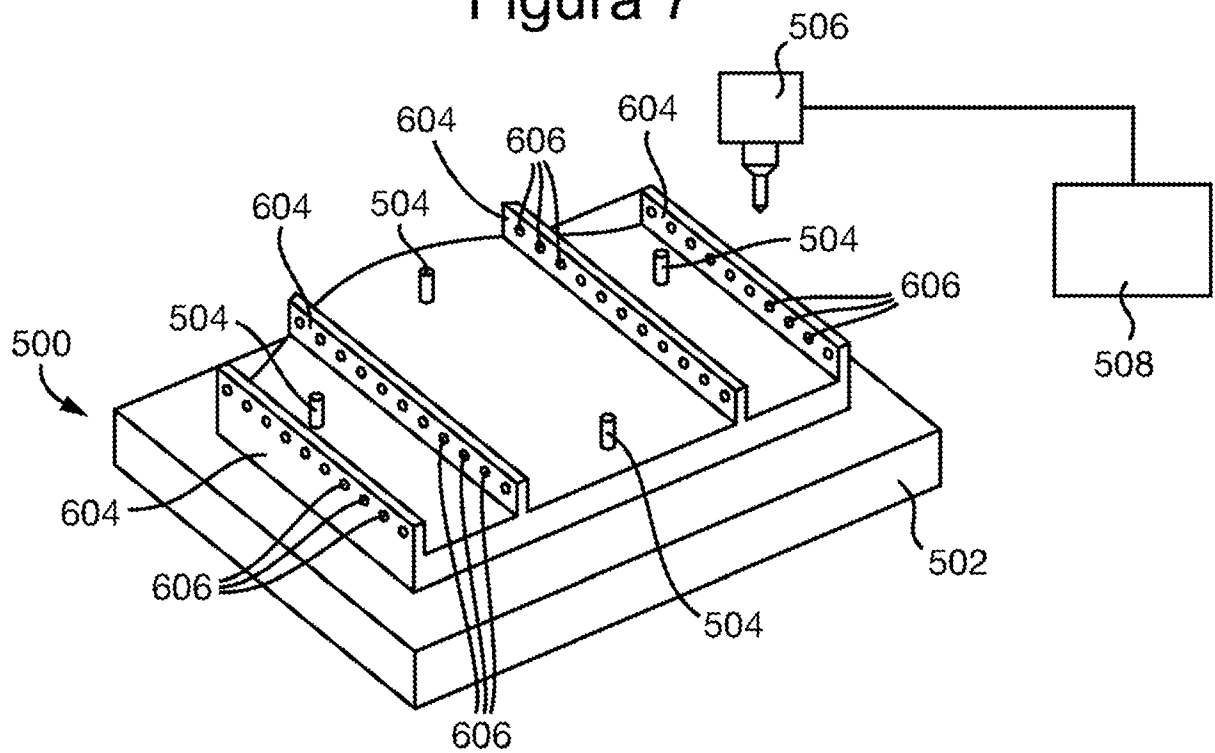


Figura 8

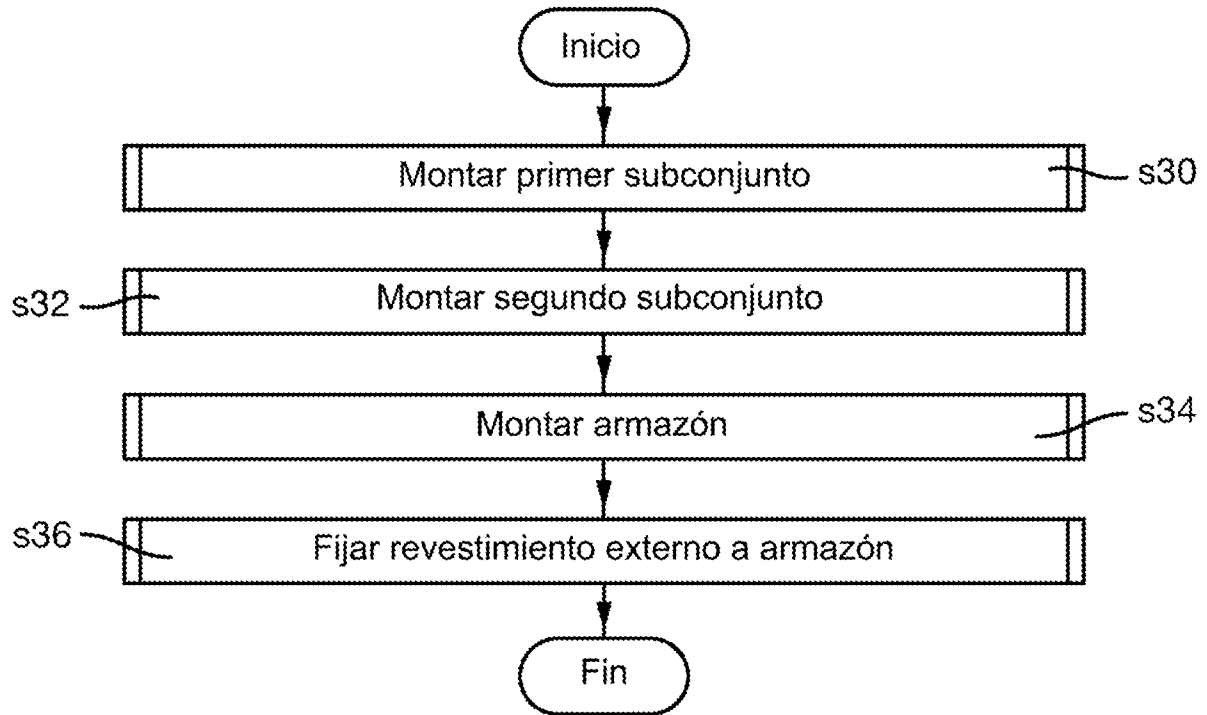


Figura 9

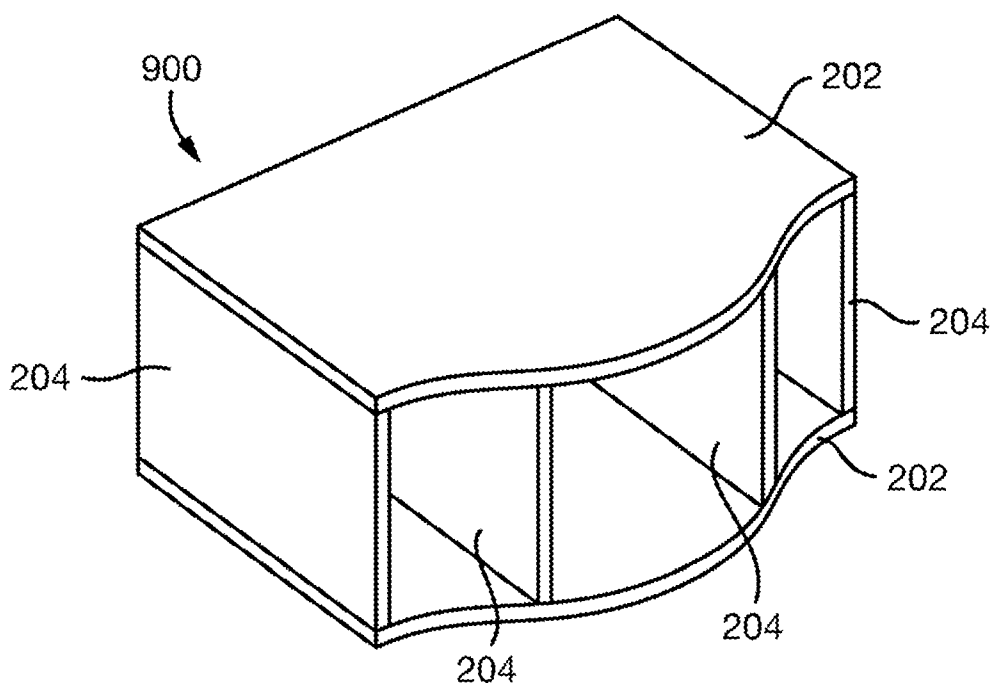


Figura 10

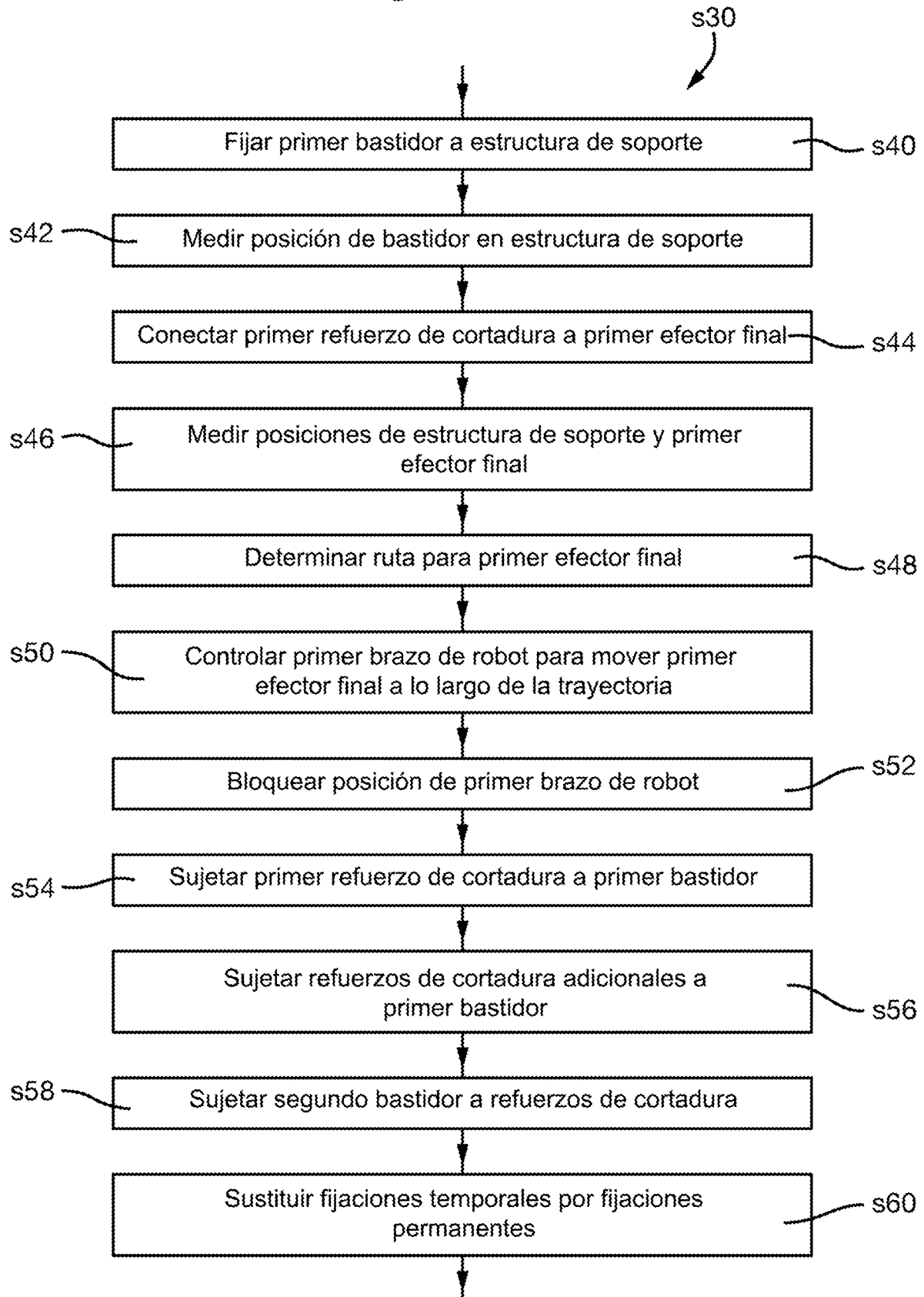


Figura 11

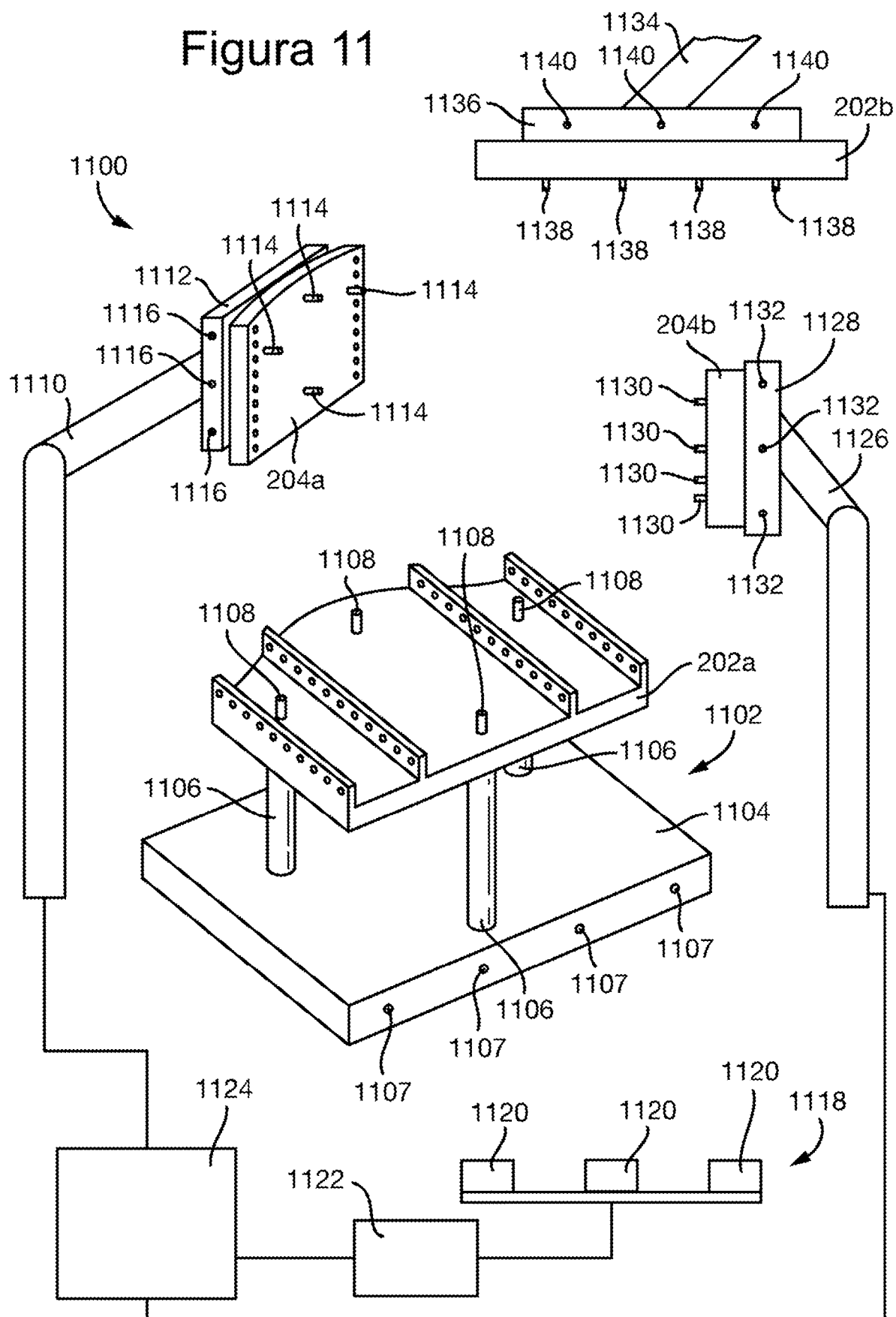


Figura 12

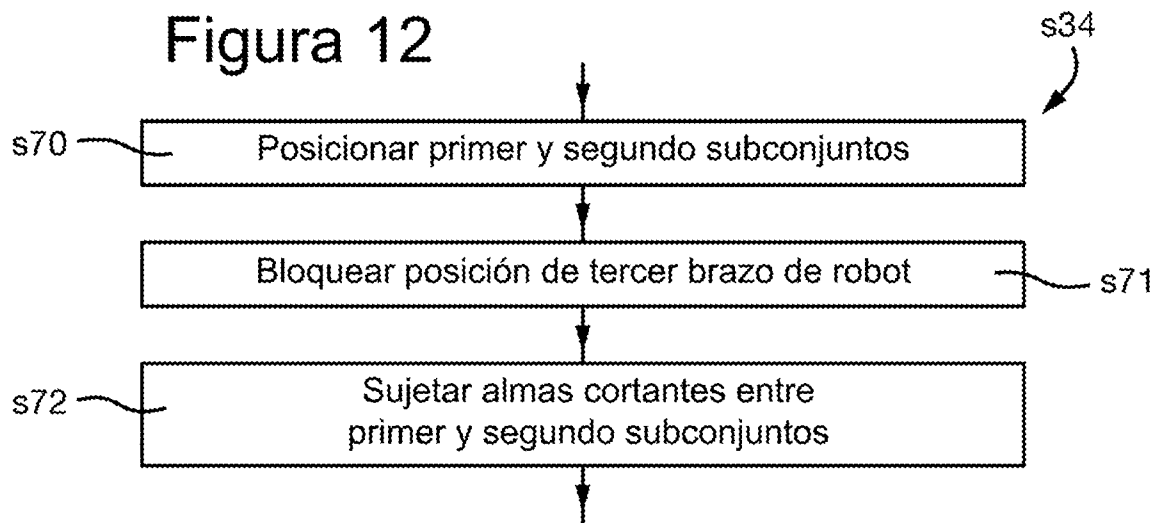


Figura 13

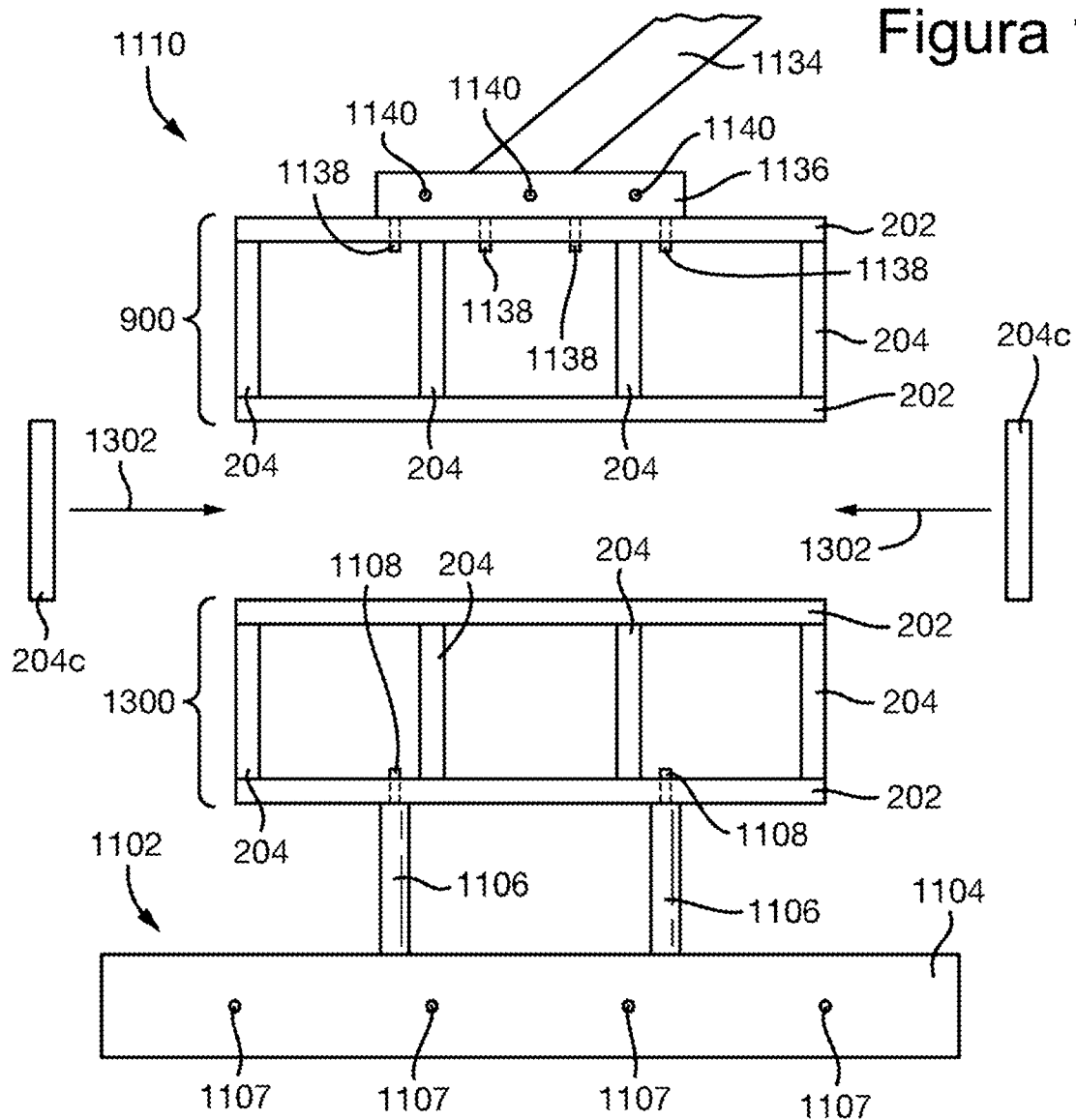


Figura 14

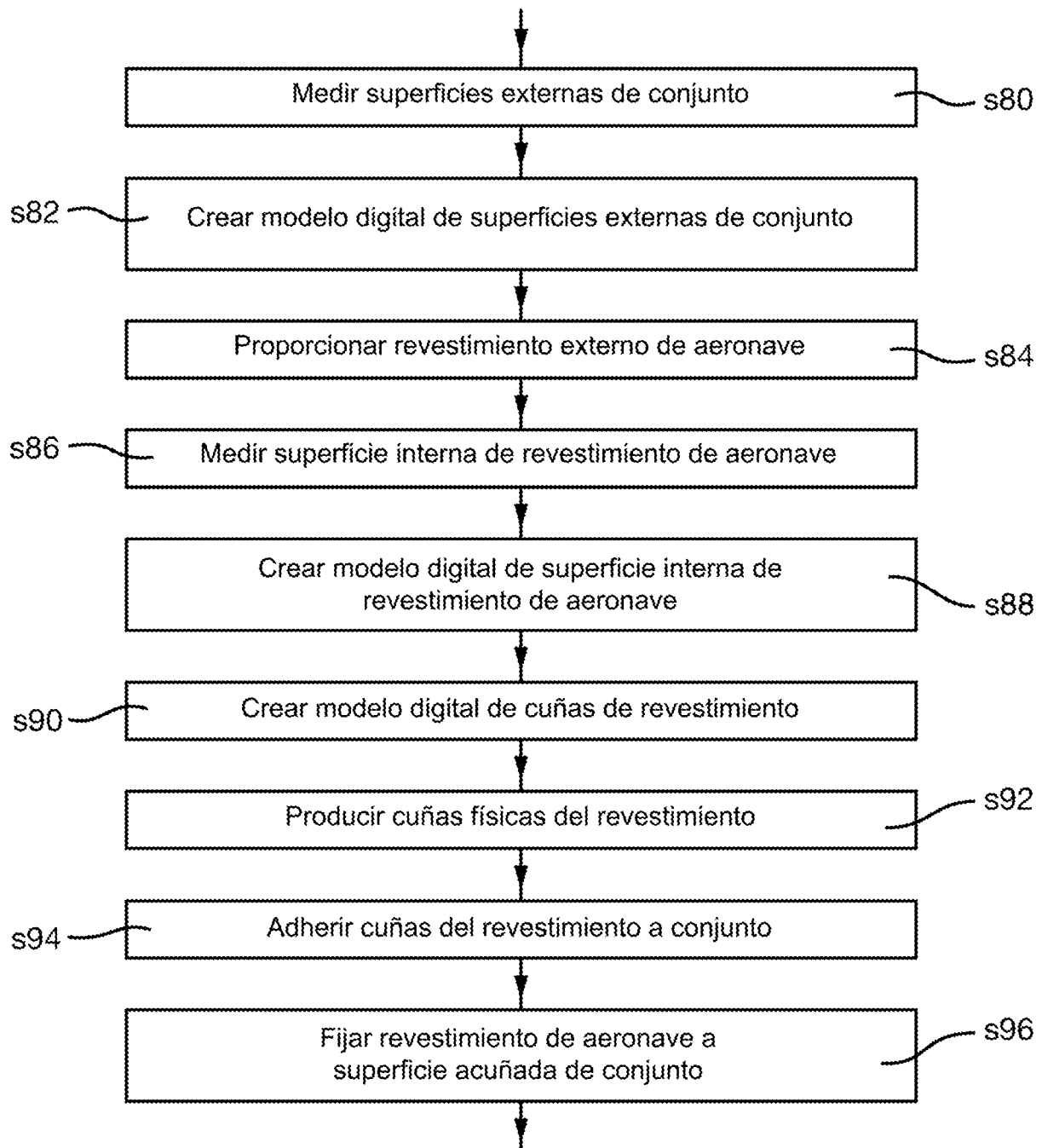


Figura 15

