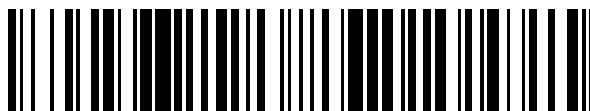


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 039**

51 Int. Cl.:

G01N 29/265 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

G01N 29/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2014** **E 14180808 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020** **EP 2851681**

54 Título: **Aparato para la inspección no destructiva de larguerillos**

30 Prioridad:

26.08.2013 US 201313975599

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

07.08.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SARR, DENNIS P y
BUI, HIEN T**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 778 039 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

Aparato para la inspección no destructiva de larguerillos

Antecedentes

5

Esta descripción generalmente se refiere a equipos y métodos de inspección no destructivos, y se refiere más particularmente a métodos y aparatos para inspeccionar estructuras hechas de material compuesto.

10

La inspección no destructiva de estructuras implica examinar a fondo una estructura sin dañar la estructura o requerir su desmontaje significativo. La inspección no destructiva se usa comúnmente en la industria aeronáutica para inspeccionar las estructuras de los aviones en busca de cualquier tipo de daño interno o externo o defectos en la estructura. La inspección no destructiva también se utiliza en la fabricación inicial de los componentes estructurales de la aeronave. Se utiliza para asegurar que una parte se fabricó correctamente y que no haya material extraño incrustado dentro de la parte. La inspección puede realizarse durante la fabricación de una estructura y/o después de que una estructura se haya puesto en servicio.

15

La inspección no destructiva (NDI) puede realizarse en partes compuestas rígidas de una aeronave. El rigidizador de la parte rígida puede estar hecho de un material compuesto como plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP). Un larguerillo compuesto unido a un fuselaje compuesto no es más que un ejemplo de dicho rigidizador.

20

La calidad de una pieza rígida se puede determinar de forma no destructiva mediante pruebas ultrasónicas. Una parte rígida puede inspeccionarse ultrasónicamente mediante una sonda que incluye una o más zapatas que sostienen los respectivos conjuntos de transductores ultrasónicos. Durante la NDI, las zapatas se presionan contra las superficies externas respectivas de la parte rígida, los transductores se acoplan acústicamente a la parte rígida (por ejemplo, usando agua) y la sonda se mueve de forma incremental a lo largo de la parte rígida. A medida que se mueve la sonda, los conjuntos de transductores funcionan en modo pulso / eco para generar ondas ultrasónicas pulsadas, que se propagan a la parte rígida. Las ondas ultrasónicas reflejadas son devueltas y detectadas por los conjuntos de transductores para proporcionar datos indicativos de la presencia de grietas, huecos, delaminaciones, etc. en la parte rígida. Los datos adquiridos por los conjuntos de transductores generalmente son procesados por un sistema informático, y los datos procesados pueden presentarse a un usuario a través de un monitor de computadora. Se puede usar un dispositivo de adquisición de datos y un software de manejo de datos para la recopilación y visualización de datos de inspección, como mostrar los datos en un monitor de computadora como una representación de imagen de la estructura bajo inspección, como unos larguerillos de gorro, complementados con el color correspondiente y/o los datos gráficos de la inspección para permitir el examen por un inspector cualificado.

30

Una sonda NDI típica tiene elementos sensores, tales como transductores ultrasónicos, que se colocan cerca de la superficie a inspeccionar. En muchos casos, la parte inspeccionada tiene múltiples superficies de diferentes formas y orientaciones, lo

que requiere el uso de múltiples conjuntos de transductores. Esto permite que la inspección de la estructura se realice más rápida y eficientemente, reduciendo así los costes asociados con la inspección. Por lo general, se inspeccionan diferentes estructuras usando los conjuntos de transductores respectivos que se han diseñado específicamente para proporcionar la alineación del transductor (posición y orientación con respecto a las superficies de la estructura) y cobertura de exploración para toda la estructura.

La industria aeroespacial ha pasado de la fabricación manual por parte de trabajadores cualificados al uso de maquinaria automatizada. Este es particularmente el caso en el campo de la inspección no destructiva de estructuras compuestas. Los sistemas de inspección automatizados se han desarrollado como una alternativa a las técnicas de inspección manual y semiautomatizada. Tales sistemas suelen emplear un manipulador (por ejemplo, pórtico elevado, escáner multieje o robot) que escanea el efector final NDI a lo largo de la parte que se está inspeccionando. Para los métodos de inspección de un solo lado, como la inspección por ultrasonido de pulso, se puede usar un dispositivo robótico de un solo brazo con seis grados de libertad para colocar y mover un efector final NDI, como un dispositivo de inspección por ultrasonido de pulso, conectado al extremo del brazo robot. La parte a inspeccionar puede montarse en un soporte que es giratorio alrededor de un eje. Así, un total de ocho grados de libertad permiten una inspección completa de la pieza. Los ocho grados de libertad son controlados por un controlador de robot de acuerdo con las trayectorias generadas a partir de un modelo digital de la parte inspeccionada. Se han empleado varios sistemas para inspeccionar los rigidizadores del fuselaje y de la caja de ala (también conocidos como "larguerillos de gorro") que tienen un perfil trapezoidal con radios de dos esquinas. Algunos sistemas tienen tres transductores que se emplean respectivamente para inspeccionar las esquinas y una porción de punta central que conecta las esquinas. Cada transductor tiene su propia técnica de configuración ultrasónica y su propia calificación NDI que debe cumplir. Los datos de tres conjuntos de transductores se deben unir para proporcionar una visualización continua de datos de escaneo C. Tales sistemas de tres transductores para inspeccionar una punta de larguero pueden tener una configuración grande, costosa y compleja y no son óptimos para inspeccionar los larguerillos de punta redondeada.

Los sistemas anteriores pueden estar equipados además con cuatro conjuntos de transductores para NDI de los radios exteriores inferiores (LOR) y los lados del larguero (SS). En tales sistemas de siete transductores, el robot mantendrá alineados los tres conjuntos de transductores que escanean la punta y las esquinas alineados, pero los otros conjuntos de transductores para LOR y SS están sujetos a muchos factores dimensionales que dificultan su posicionamiento. Deben poder adaptarse a las siguientes variables:

altura del larguerillo, grosor del larguerillo, descenso de la capa del fuselaje, sección transversal asimétrica del larguero y condiciones irregulares de la superficie debido a problemas de proceso (porosidad, burbujas de resina, etc.). Si los conjuntos

de transductores LOR y SS no pueden ajustarse adecuadamente a las variables anteriores, puede ser necesario realizar un nuevo escaneo.

Sería ventajoso proporcionar un sistema automatizado de alineación automática para inspeccionar un rigidizador de punta redondeada en un único procedimiento continuo de NDI mientras se reduce o elimina el reescaneo de los rigidizadores.

5 El documento JP2011252759 A describe un sistema de detección de defectos ultrasónico que comprende una sonda ultrasónica 100 que tiene un tamaño tal que toca la superficie de una parte a detectar y comprende un transductor ultrasónico para transmitir ondas ultrasónicas y un transductor ultrasónico para recibir ondas ultrasónicas.

El documento US2007062290 A1 describe mecanismos de accionamiento para un transductor de ultrasonido o wobbler escaneado mecánicamente, colocando un eje de accionamiento de un motor ortogonal a un conjunto en lugar de paralelo al
10 conjunto, y dispositivos para transferir la fuerza del movimiento de rotación del motor al conjunto. Un casquillo lineal transfiere el movimiento de rotación de un brazo conectado con un motor al movimiento de rotación de un brazo conectado con un conjunto en uno de tales dispositivos. En otro dispositivo, una leva transfiere el movimiento de rotación del motor al movimiento de rotación del conjunto.

El documento CN202649174 U divulga un dispositivo de escaneo especializado para una estructura de pórtico con placa
15 acanalada en forma de U. Se utilizan una viga y dos carros para formar un marco de estructura de pórtico en forma de U combinado con una placa acanalada en forma de U. La viga está provista de un componente de juego de ruedas magnéticas y un componente codificador. La viga está provista además de dos componentes de rueda de limitación y los dos componentes de rueda de limitación están dispuestos entre los dos carros.

20 Breve descripción de la invención

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un aparato como se define en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

La materia descrita en detalle a continuación está dirigido a sistemas NDI multisensor que tienen medios para la autoalineación
25 de los sensores NDI junto con el movimiento del conjunto de sensores a lo largo de una estructura alargada hueca que tiene una punta redondeada (en lo sucesivo "estructura redondeada"). Con fines ilustrativos, se describirán realizaciones en las que los sensores NDI son conjuntos de transductores ultrasónicos respectivos y la estructura redondeada es un larguero de punta redondeada unido a un fuselaje. Sin embargo, las enseñanzas de este documento tienen aplicación en otras estructuras redondeadas y cualquier otro tipo de sensor adecuado para NDI de material compuesto.

Se proporciona un aparato para NDI de una estructura compuesta de gran radio (hecha, por ejemplo, de grafito epoxi), como un larguerillo de fuselaje que tiene una configuración redondeada. De acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, el aparato comprende un conjunto de transductores ultrasónicos curvados de gran radio (por ejemplo, 64 elementos transductores) con foco cilíndrico, que proporciona una cobertura completa para la denominada "punta" del larguerillo de punta redondeada. Este conjunto de transductores tiene ajuste en altura y en la dirección axial del larguerillo para una configuración óptima. Al utilizar esta configuración óptima y la ganancia corregida en el tiempo, la punta redondeada de un larguerillo compuesto se puede inspeccionar de forma no destructiva sin ajustar o cambiar la configuración. En particular, el diseño del aparato permite que se use una configuración para escanear una punta de un larguero de punta redondeada con cambios de capa (por ejemplo, de cinco a doce capas). Esto evita tener que ajustar la ganancia o tener múltiples procedimientos NDI para NDI de la punta. También reduce el número de transductores de tres a uno al inspeccionar la punta de un larguerillo. De acuerdo con una implementación, esta sonda utiliza correderas mecánicas de acero inoxidable para una alineación precisa para mantener la normalidad del conjunto del transductor en relación con el larguerillo. La sonda también tiene una columna de agua reducida para reducir el flujo de agua en una configuración de burbujeador. Esta configuración de sonda se puede usar en cualquier orientación para facilitar el escaneo de una pieza compuesta. Esta sonda permite NDI de un larguerillo sin tener que girar la estructura compuesta.

Además de tener un conjunto de transductor curvo cóncavo de gran radio para NDI del radio de la punta superior (UCR) de un larguerillo de punta redondeada, las modalidades descritas en el presente documento comprenden además dos conjuntos de transductores curvos convexos de radio pequeño para NDI de los radios exteriores inferiores (LOR) y dos conjuntos de transductores lineales para NDI de los lados del larguerillo (SS). Los cinco arreglos de transductores se soportan mediante los compuestos compatibles respectivos, los cuales facilitan el ajuste apropiado de la localización (es decir, posición y orientación) de los conjuntos de transductores. Los conjuntos de transductores respectivos y su aparato de soporte compatible se denominarán en la presente conjuntos de transductores. El conjunto del transductor UCR está acoplado de manera pivotante a un yugo, que a su vez está unido a una placa de estructura principal. Los conjuntos de transductor LOR y SS están montados en las esquinas respectivas de la placa de estructura principal. El yugo y la placa de estructura principal están conectados a una placa/conjunto de interfaz de robot.

Durante el NDI de un larguerillo de punta redondeada, el robot mantendrá alineada el conjunto del transductor UCR. Los conjuntos de transductor LOR y SS descritos en el presente documento pueden adaptarse a las variaciones discutidas anteriormente en las dimensiones del larguerillo, las gotas de la capa del fuselaje, las secciones transversales asimétricas del larguerillo y las condiciones irregulares de la superficie debido a problemas de proceso (porosidad, burbujas de resina, etc.).

Más específicamente, los conjuntos de transductor LOR y SS comprenden mecanismos de centrado integrados que permiten que los conjuntos de transductores LOR y SS se adapten a las variables anteriores.

Un aspecto de la materia descrita en este documento es un aparato que comprende: una estructura de soporte; un eje grande acoplado de manera pivotante y deslizante a la estructura de soporte; un acoplamiento flexible unido a un extremo del eje grande; un soporte de transductor unido al acoplamiento flexible; un conjunto de transductores sostenido por el soporte del transductor; y un mecanismo de centrado unido al soporte del transductor.

De acuerdo con una implementación, el mecanismo de centrado comprende: el primer y segundo ejes pequeños soportados en los extremos opuestos del mismo por el soporte del transductor; el primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento acoplados de manera deslizante al primer y segundo ejes pequeños respectivamente; y el primer y segundo conjuntos de guía

de centrado de cuatro enlaces acoplados de manera pivotante al primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento, respectivamente. El primer mecanismo de pivote/deslizamiento comprende un primer rodamiento y perno de pivote, mientras que el segundo mecanismo de pivote/deslizamiento comprende un segundo rodamiento y un segundo perno de pivote, el primer y segundo ejes pequeños son deslizables en el primer y segundo rodamientos respectivamente, y el primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces se acoplan de manera pivotante al primer y segundo pernos pivote,

respectivamente. Cada uno del primer y segundo conjuntos de guías de centrado de cuatro enlaces comprenden la primera y la segunda guías de centrado superiores se acoplan de manera pivotante al primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento respectivamente y la primera y segunda guías de centrado inferiores se acoplan de manera pivotante respectivamente a las primera y segunda guías de centrado superiores y se acoplan de manera pivotante entre sí. El mecanismo de centrado comprende pluralidades respectivas de elementos de rodadura acoplados de manera rodante a la

primera y segunda guías de centrado inferiores. El conjunto de transductores está dispuesto entre el primero y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces. El aparato puede incluir además un segundo eje grande acoplado de manera pivotante y deslizante a dicha estructura de soporte, un segundo acoplamiento flexible unido a un extremo de dicho segundo eje grande, un segundo soporte de transductor unido a dicho segundo acoplamiento flexible, un segundo conjunto de transductor sostenido por dicho segundo soporte del transductor, y un segundo mecanismo de centrado unido a dicho segundo

soporte del transductor. De manera ventajosa, el aparato es uno en donde dicho primer arreglo de transductores tiene una curvatura cóncava, dicho segundo conjunto de transductores es lineal, y dicho primer y segundo conjunto de transductores se disponen de manera que cuando dicho primer conjunto de transductores se enfrenta a un radio externo inferior de un rigidizador, dicho segundo conjunto de transductores se enfrentará a un lado del rigidizador. De manera ventajosa, el aparato es uno en donde cada uno de dichos primero y segundo conjuntos de transductores tienen una curvatura cóncava, y dichos

primer y segundo conjuntos de transductores se disponen de manera que cuando dicho primer conjunto de transductores se

enfrenta a un primer radio externo inferior de un rigidizador, dicho segundo conjunto de transductores se enfrentará a un segundo radio externo inferior del rigidizador. De manera ventajosa, el aparato es uno tal que cada uno de dichos primer y segundo conjuntos de transductores es lineal, y dicho primer y segundo conjuntos de transductores se disponen de manera que cuando dicho primer conjunto de transductores se enfrenta a un primer lado de un rigidizador, dicho segundo conjunto de transductores se enfrentará a un segundo lado del rigidizador.

Otro aspecto del tema divulgado es un aparato que comprende: una primera estructura de soporte que tiene un eje, la primera estructura de soporte que comprende una placa dispuesta perpendicular al eje y de primer a cuarto casquillos acoplados fijamente a la placa y dispuestos en las esquinas respectivas de un rectángulo; el primero al cuarto rodamientos asentados en los primeros a cuartos casquillos respectivamente; el primero al cuarto ejes grandes acoplados de manera pivotante y desplazable al primero al cuarto rodamientos respectivamente; el primero al cuarto acoplamientos flexibles unidos respectivamente a los extremos respectivos del primero al cuarto ejes grandes; del primero al cuarto soportes de transductor unidos respectivamente al del primero al cuarto acoplamientos flexibles; del primero al cuarto conjuntos de transductores unidos respectivamente al del primero al cuarto soportes del transductor; y del primero al cuarto mecanismos de centrado, respectivamente, unidos al del primero al cuarto soportes de transductor.

De acuerdo con una implementación, cada uno del primero al cuarto mecanismos de centrado comprende: el primer y segundo ejes pequeños soportados en los extremos opuestos del mismo por respectivamente uno del primer al cuarto soporte del transductor; el primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento acoplados de manera deslizante al primer y segundo ejes pequeños respectivamente; y el primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces acoplados de manera pivotante al primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento, respectivamente. Cada uno de los primeros mecanismo de pivote/deslizamiento comprende un primer rodamiento y un primer perno de pivote, y cada uno de los segundos mecanismos de pivote/deslizamiento, respectivamente, comprende un segundo rodamiento y un segundo perno de pivote, el primer y segundo ejes son deslizables en el primer y segundo rodamientos respectivamente, y el primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces se acoplan de manera pivotante al primer y segundo pernos pivote, respectivamente. Cada uno del primer y segundo conjuntos de guías de centrado de cuatro enlaces comprenden la primera y la segunda guías de centrado superiores se acoplan de manera pivotante al primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento respectivamente y la primera y segunda guías de centrado inferiores se acoplan de manera pivotante respectivamente a las primera y segunda guías de centrado superiores y se acoplan de manera pivotante entre sí. Del primero al cuarto conjuntos de transductores pueden estar dispuestos respectivamente entre el primero y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces.

Cada uno del primero y segundo conjuntos de transductores tiene una curvatura cóncava, cada uno del tercero al cuarto conjuntos de transductores es lineal, y del primero al cuarto conjuntos de transductores están dispuestos de modo que cuando el primer conjunto de transductores se enfrenta a un primer radio exterior de un rigidizador, el segundo conjunto de transductores se enfrentará a un segundo radio exterior del rigidizador, el tercer conjunto de transductores se enfrentará a un primer lado del rigidizador y el cuarto conjunto de transductores se enfrentará a un segundo lado del rigidizador.

El aparato puede comprender además: una segunda estructura de soporte acoplada de manera fija a la segunda placa de estructura de soporte de la primera estructura de soporte; un quinto soporte de transductor acoplado de manera pivotante a la segunda estructura de soporte; y un quinto conjunto de transductores sostenido por el quinto soporte del transductor, en donde el quinto conjunto de transductores tiene una curvatura cóncava de longitud suficiente para permitir la evaluación de una tapa redondeada del rigidizador cuando el primer conjunto de transductores se enfrenta al primer radio exterior del rigidizador.

Un aspecto adicional es un sistema que comprende: una estructura de piel; un rigidizador unido a la estructura de la piel, en donde el rigidizador está hecho de material compuesto y comprende una tapa, un primer y segundo lados conectados a la tapa, y un primer y segundo radios exteriores inferiores conectados al primero y segundo lados respectivamente; un manipulador que comprende un brazo; y una sonda de inspección ultrasónica acoplada al brazo. La sonda de inspección ultrasónica comprende: una estructura de soporte de la sonda acoplada al brazo del manipulador, la estructura de soporte de la sonda comprende una placa de primer a cuarto elementos de soporte acoplados fijamente a la placa y dispuestos en las esquinas respectivas de un rectángulo; y del primero a cuarto conjuntos de transductor acoplados de manera pivotante y desplazable al del primero a cuarto elementos de soporte, cada uno del primero al cuarto conjuntos de transductor comprende un soporte de transductor respectivo, un conjunto de transductor respectivo sostenido por un soporte de transductor respectivo y un mecanismo de centrado respectivo unido a un soporte de transductor respectivo. Los conjuntos de transductores del primer y segundo conjuntos de transductores tienen una curvatura cóncava y están respectivamente acoplados acústicamente al primer y segundo radios exteriores inferiores del rigidizador, mientras que los conjuntos de transductores del tercer y cuarto conjuntos de transductores son lineales y están respectivamente acoplados acústicamente al primer y segundo lado del rigidizador.

El sistema descrito en el párrafo anterior puede comprender además un quinto conjunto de transductor acoplado de manera pivotante a la estructura de soporte de la sonda, el quinto conjunto de transductor comprende un conjunto de transductores acoplado acústicamente a la punta redondeada de dicho rigidizador, el quinto conjunto de transductores tiene una curvatura cóncava de longitud suficiente para permitir la evaluación de la punta redondeada desde el primer lado o cerca del mismo hasta el segundo lado del rigidizador.

Otro aspecto adicional es un sistema que comprende: una estructura de piel; un rigidizador unido a la estructura de la piel, en donde el rigidizador está hecho de material compuesto y comprende una punta redondeada, un primer y segundo lados conectados a la punta redondeada, y un primer y segundo radios exteriores inferiores conectados al primero y segundo lados respectivamente; un manipulador que comprende un brazo; y una sonda de inspección ultrasónica acoplada al brazo. La sonda de inspección ultrasónica comprende: una estructura de soporte de sonda acoplada al brazo del manipulador; y un primer conjunto de transductor acoplado de manera pivotante a la estructura de soporte de la sonda, comprendiendo el primer conjunto de transductor un primer conjunto de transductor acoplado acústicamente a la punta redondeada del rigidizador. El primer conjunto de transductores tiene una curvatura cóncava de longitud suficiente para permitir la evaluación de la punta redondeada desde o cerca del primer lado hasta o cerca del segundo lado del rigidizador. En una implementación, la estructura de soporte de la sonda comprende una placa de estructura principal acoplada al brazo del manipulador y un yugo unido a la placa de estructura principal, y el primer conjunto de transductores está acoplado de manera pivotante al yugo.

El sistema puede además comprender un segundo conjunto de transductor que comprende un eje grande acoplado de manera pivotante y deslizante a la estructura de soporte de sonda; un eje grande acoplado de manera pivotante y deslizante a la estructura de soporte; un acoplamiento flexible unido a un soporte de transductor; un conjunto de transductor unido al acoplamiento flexible; un conjunto de transductores sostenido por el soporte del transductor; y un mecanismo de centrado unido al soporte del transductor. En una implementación, el mecanismo de centrado comprende: el primer y segundo ejes pequeños soportados en los extremos opuestos del mismo por el soporte del transductor; el primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento acoplados de manera deslizante al primer y segundo ejes respectivamente; y el primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces acoplados de manera pivotante al primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento, respectivamente. El mecanismo de pivote/deslizamiento puede comprender un primer rodamiento y un primer perno de pivote, y dicho segundo mecanismo de pivote/deslizamiento puede comprender un segundo rodamiento y un segundo perno de pivote, dichos primer y segundo ejes pequeños son deslizables en dichos primer y segundo rodamientos respectivamente, y el primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces se acoplan de manera pivotante al primer y segundo pernos pivote. Cada uno de dichos primer y segundo conjuntos de guías de centrado de cuatro enlaces pueden incluir la primera y la segunda guías de centrado superiores se acoplan de manera pivotante a dicho primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento respectivamente y dicha primera y segunda guías de centrado inferiores se acoplan de manera pivotante respectivamente a las primera y segunda guías de centrado superiores y se acoplan de manera pivotante entre sí. El segundo conjunto de transductor puede tener una curvatura cóncava y estar acoplado acústicamente al primer radio externo inferior del rigidizador, o el segundo conjunto de transductor es lineal y se acopla acústicamente al primer lado

del rigidizador. Un total de cinco conjuntos de transductor pueden proporcionarse para NDI de la punta redondeada, los lados y los radios exteriores inferiores de un rigidizador.

Otros aspectos de los sistemas y métodos para NDI de un rigidizador de punta redondeada se divulgan a continuación.

5 Breve descripción de las figuras

La figura 1 es un diagrama que representa una vista en perspectiva de una estructura que comprende largueros trapezoidales unidos a una piel.

La figura 2 es un diagrama que representa una vista extraída de un modelo digital de una sonda NDI asentada en un rigidizador de punta redondeada de acuerdo con una modalidad.

La figura 3 es un diagrama que representa otra vista del mismo modelo digital desde el cual la figura 2 se extrajo como se observa en un punto de vista por debajo de la sonda.

Las Figuras 4 y 5 son diagramas que representan vistas elevadas de los extremos opuestos de la sonda NDI representada en la figura 2. Un extremo de la sonda comprende un primer par de conjuntos de transductores que cumplen con el soporte de los conjuntos de transductor lineales respectivos para NDI de los lados de un rigidizador (visto en la figura 4); el otro extremo de la sonda comprende un segundo par de conjuntos de transductores que cumplen con el soporte de los conjuntos de transductor curvados respectivos para NDI de los radios externos inferiores del rigidizador (visto en la figura 5).

La figura 6 es un diagrama que representa la misma vista elevada en la figura 5 con el agregado del rigidizador de punta redondeada representado en la figura 2.

Las Figuras 7A y 7B son diagramas que representan vistas respectivas de diferentes puntos de vista de la porción inferior de un conjunto de transductor SS de acuerdo con la modalidad representada en la figura 2.

La figura 8 es un diagrama que representa una vista de un conjunto de transductor LOR de acuerdo con la modalidad representada en la figura 2.

La figura 9 es un diagrama que representa una vista de un conjunto de transductor UCR acoplado de manera pivotante a un yugo de acuerdo con la modalidad representada en la figura 2.

La figura 10 es un diagrama que representa una vista del conjunto de transductor UCR representado en la figura 2, pero con una carcasa inferior (ver en la figura 3) del conjunto de transductor UCR omitido.

La figura 11 es un diagrama que representa una vista transversal de la estructura vista en la figura 10.

La figura 12 es un diagrama que representa una vista superior de un sensor de posición lineal. Cuatro de estos sensores de posición lineal están unidos a la estructura de soporte de sonda para detectar los desplazamientos de los conjuntos de transductores en relación con la estructura de soporte de sonda.

5 La figura 13A es un diagrama que representa una vista elevada de un accionador de perno que se utiliza en conjunto con el sensor de posición lineal representado en la figura 12.

La figura 13B es un diagrama que representa una vista transversal del accionador de perno representado en la figura 13A.

La figura 14 es una vista en perspectiva de un sistema de inspección no destructivo que comprende una sonda que es llevada por un robot en una comunicación con un sistema de adquisición de datos de acuerdo con una modalidad.

La figura 15 es un diagrama de flujo de una producción de aeronave y metodología de servicio.

10 La figura 16 es un diagrama de bloques que muestra sistemas de una aeronave.

En lo sucesivo se hará referencia a los dibujos en cuyos elementos similares en los diferentes dibujos portan el mismo número de referencia.

Descripción detallada

15

Ahora se describirán modalidades de aparatos de inspección no destructivos y métodos para inspeccionar larguerillos compuestos de punta redondeada para un fuselaje de avión. Sin embargo, el aparato y los métodos descritos aquí también pueden usarse para aplicaciones similares que requieren inspección no destructiva, incluidos otros rigidizadores compuestos alargados que tienen una punta redondeada.

20

La inspección de los larguerillos de gorro normalmente requiere una técnica de inspección unilateral, como la inspección por ultrasonido de pulso (PEU). Sin embargo, las formas de los larguerillos de gorro complican la inspección. Los dispositivos de inspección de larguerillos de gorro descritos en la presente son capaces de realizar una inspección de eco de pulso en larguerillos de gorro que tienen un perfil redondeado cuando se ven en sección transversal. Las modalidades descritas están configuradas para escanear ambos lados y la sección superior de un larguerillo de gorro para permitir la inspección de un solo

25 paso. El conjunto del transductor está colocada estratégicamente y orientada para garantizar una inspección completa de todo el larguerillo de gorro. Las estructuras de soporte para los sensores de inspección, también conocidas como soportes de transductores, pueden fabricarse para la colocación y orientación específicas de los conjuntos de transductores correspondientes a las formas y tamaños deseados de larguerillos de gorro.

25

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una estructura con dos larguerillos de gorro 110. La estructura incluye una piel 112

30 a la que se unen los larguerillos de gorro individuales o conectados 110 para rigidizar la estructura general. Cada larguerillo

de gorro 110 es una estructura trapezoidal que comprende lados angulados 116 y 118 que se conectan a una punta 114 en las esquinas 124 y 126 respectivamente. Cada larguerillo de gorro 110 está fijado a la piel 112 en las pestañas 120 y 122, que se conectan a los lados angulados del larguerillo de gorro en las esquinas respectivas 128 y 130. Con el fin de inspeccionar los larguerillos de gorro que tienen la estructura mostrada en la FIG. 1, se conoce un enfoque utilizando un grupo de siete
 5 conjuntos de transductores: uno para inspeccionar una porción de punta central 114; dos para inspeccionar los lados angulados 116 y 118; dos para inspeccionar las esquinas de la punta 124 y 126; y dos para inspeccionar las esquinas 128 y 130. Debe entenderse que el término "esquina", como se usa en el presente documento, se refiere a una superficie redondeada. La porción de punta central 114 puede ser una superficie plana que conecta las esquinas de punta 124 y 126.

De acuerdo con las enseñanzas de la presente descripción, se proporciona un aparato para inspeccionar un larguero que
 10 tiene una punta redondeada (en lo sucesivo "larguerillo de punta redondeada), lo que significa que los lados angulados del larguerillo están conectados por medio de una punta continuamente curvada. Por ejemplo, el perfil de la punta curvada continuamente puede ser una sección de una línea curva circular, elíptica, parabólica u otro tipo.

La Figura 2 representa una sonda de inspección ultrasónica 18 asentada en un larguerillo de punta redondeada 4 de acuerdo con una modalidad. El larguerillo de punta redondeada 4 está unido y sirve para rigidizar una estructura de piel 2 (por ejemplo,
 15 una piel de fuselaje). El larguerillo de punta redondeada 4 está hecho de material compuesto y comprende una punta, el primer y segundo lados angulados conectados a la punta, y el primer y segundo radios exteriores inferiores conectados al primero y segundo lados respectivamente. La sonda 18 puede estar montada en un brazo de un manipulador controlado por computadora (no mostrado) para escanear el larguerillo de punta redondeada 4 en una dirección longitudinal (suponiendo, con fines ilustrativos, que el larguerillo de punta redondeada 4 alargado es recto).

De acuerdo con la modalidad representada en la Figura 2, la sonda de inspección ultrasónica 18 comprende una estructura de soporte de sonda 32 acoplada al brazo manipulador (no mostrado), cuatro conjuntos de transductor 50a-50d acoplados de manera pivotante y desplazable a la estructura de soporte de sonda 32. La estructura de soporte de la sonda 32 comprende una placa de estructura principal rectangular 34 y cuatro casquillos de soporte 36a-36d en las respectivas patas de soporte 38a-38d. Las patas de soporte 38a-38d están conectadas a las esquinas respectivas de la placa de estructura principal 34 por
 25 las vigas de esquina respectivas 40 y están conectadas a las patas de soporte adyacentes por una pluralidad (es decir, cuatro) vigas laterales 42. La placa de estructura principal 34 tiene un agujero central circular grande 44 y cuatro agujeros de esquina circulares más pequeños 46.

En la modalidad representada en la Figura 2, la placa de estructura principal 34, las mangas de soporte 36a-36d, las patas de soporte 38a-38d, las vigas de esquina 40 y las vigas laterales 42 están formadas integralmente como una parte monolítica.

Sin embargo, la estructura de soporte de la sonda 32 podría ensamblarse fácilmente a partir de piezas formadas individualmente.

Como se muestra en la Figura 2, los conjuntos de transductor 50a-50d están acoplados de manera pivotante y desplazables a los casquillos de soporte 36a-36d por medio de los respectivos rodamientos de casquillo 48. Los conjuntos de transductor 50a y 50b (en adelante "conjuntos de transductor SS") comprenden conjuntos de transductores lineales respectivos (no visibles en la FIG. 2) posicionados para evaluar los lados angulados respectivos del larguerillo de punta redondeada 4; los conjuntos de transductor 50c y 50d (en adelante "conjuntos de transductor LOR") comprenden conjuntos de transductores respectivos (no visibles en la FIG. 2) que tiene una curvatura cóncava y está posicionado para evaluar los respectivos radios exteriores inferiores del larguerillo de punta redondeada 4. Para facilitar dicha evaluación, los conjuntos de transductores 50a-50d se acoplan acústicamente a las partes enfrentadas del larguerillo de punta redondeada 4 por agua suministrada a las columnas de agua respectivas (no visible en la FIG. 2) que separan las matrices de transductores del larguerillo de punta redondeada 4 durante la inspección.

La sonda 18 comprende además un conjunto transductor 100 (en lo sucesivo "conjunto transductor UCR") que puede pivotar con relación a la estructura de soporte de la sonda 32. (Solo se muestran partes del conjunto transductor UCR 100 en la FIG. 2). El conjunto transductor UCR 100 comprende un conjunto de transductor (no visible en la figura 2) el cual se coloca para permitir el acoplamiento acústico con la punta redondeada del larguerillo 4. El conjunto de transductores UCR 100 tiene una curvatura cóncava de longitud suficiente para permitir la evaluación de la punta redondeada desde o cerca de un lado angulado del larguerillo 4 hasta o cerca del otro lado angulado.

En la modalidad representada en la Figura 2, el conjunto de transductor UCR 100 se acopla de manera pivotante a una horquilla 52. La horquilla 52 se une a una barra transversal (no mostrada en la figura 2), la cual a su vez se encuentra unida a la placa de estructura principal 34. (Más detalles con relación a la horquilla y la barra transversal, las cuales forman un yugo, se proporcionarán más adelante con referencia a la Figura 9).

La Figura 3 es otra vista del mismo modelo digital desde el cual la figura 2 se extrajo como se observa en un punto de vista por debajo de la sonda. La horquilla antes mencionada se omite de la figura 3 y los únicos componentes del conjunto de transductores UCR mostrado en la figura 3 es la carcasa inferior 74. La carcasa inferior comprende un par de miembros rodantes 76 y 78 dispuestos en ángulos diseñados para coincidir con los ángulos de los lados angulados del rigidizador de punta redondeada que se está inspeccionando. Cada miembro de rodillo 76, 78 comprende una multiplicidad respectiva de cavidades de rodamiento 75. No se muestran los rodamientos de rodillos que se montarían de forma giratoria en las cavidades de rodamiento 75 por medio de ejes. Los rodamientos de rodillos se colocan de manera que rueden en paralelo en los lados angulados respectivos del rigidizador de punta redondeada a medida que la sonda se mueve a lo largo del rigidizador. La

superficie inferior de la carcasa inferior 74 tiene una forma redondeada que permite que la carcasa inferior 74 se desplace a lo largo del travesaño de la punta redondeada. La carcasa inferior 74 comprende una columna de agua 80, la cual se sitúa por debajo de un conjunto de transductores curvado cóncavo (no visible en la figura 3) para la inspección del radio de punta superior conforme ruedan los rodamientos de los rodillos sobre los lados angulados del rigidizador. Regresando la atención a la figura 2, cada uno de los conjuntos de transductor 50A-50d comprende un eje respectivo 60 el cual se desplaza a lo largo y de manera pivotante alrededor de su propio eje en relación con la estructura de soporte de sonda 32. Cada eje 60 se desliza y rota en un rodamiento de casquillo respectivo 48. Los ejes 60 se acoplan a los respectivos mecanismos de centrado 68 por medio de un acoplamiento flexible respectivo 62 y un soporte de transductor respectivo 64 o 66.

Cada acoplamiento flexible 62 puede tomar la forma de una varilla de aluminio que tiene una ranura en espiral cortada a lo largo del tubo de aluminio para formar una bobina helicoidal en una sección central que actúa como un resorte. La flexión permitida por la porción central del acoplamiento acomoda la desalineación angular, paralela y axial entre los ejes unidos 60 y los soportes del transductor 64 o 66. Tal acoplamiento flexible está disponible comercialmente en Lovejoy, Inc., Downers Grove, Illinois.

Los conjuntos de transductor 50a-50d se describirán ahora con más detalle con referencia a las Figs. 4 y 5, las cuales son vistas elevadas de los extremos opuestos de la sonda NDI representada en la figura 2. Un extremo de la sonda (mostrado en la figura 4) está equipado con un par de conjuntos de transductores 50a, 50b, los cuales soportan de manera segura los conjuntos de transductores lineales respectivos para NDI de los lados del rigidizador; el otro extremo de la sonda (mostrado en la figura 5) está equipado con un par de conjuntos de transductores 50c, 50d, los cuales soportan de manera segura los conjuntos de transductores curvados convexos respectivos para NDI de los radios externos inferiores del rigidizador.

Con referencia a la figura 4, cada uno de los conjuntos transductores 50a y 50b comprende además un soporte de transductor respectivo 64. Cada soporte de transductor 64 comprende una conexión de boquilla de agua respectiva 86 y una zapata respectiva 70 que tiene una columna de agua respectiva 82 (mostrada en la figura 3) formada en el mismo. De acuerdo con la modalidad mostrada en la figura 4, la conexión de la boquilla de agua y la zapata están formadas integralmente con otras partes del soporte del transductor que soportan el mecanismo de centrado. Como alternativa, un soporte de transductor que tiene una construcción funcionalmente equivalente podría ensamblarse a partir de componentes individuales. La conexión de la boquilla de agua 86 está en comunicación fluida con la columna de agua, permitiendo el suministro de agua a la columna de agua para acoplar acústicamente un conjunto de transductor ultrasónico lineal respectivo 71 a un lado angulado respectivo del rigidizador durante la inspección. Los conjuntos de transductores lineales 71 están instalados respectivamente dentro de las zapatas 70. Los conectores de cable eléctrico 98, que salen de la parte superior de los conjuntos de transductores lineales

71, facilitan la conexión eléctrica de los respectivos conjuntos de transductores lineales 71 a los respectivos cables eléctricos (no mostrados en la figura 4).

Con referencia a la figura 5, cada uno de los conjuntos de transductor 501c y 50d comprenden además un soporte de transductor respectivo 66. Cada soporte de transductor 66 comprende una conexión de boquilla de agua respectiva 86 y una zapata respectiva 72 que tiene una columna de agua respectiva 84 (mostrada en la figura 3) formada en el mismo. La conexión de la boquilla de agua 86 está en comunicación fluida con la columna de agua, permitiendo el suministro de agua a la columna de agua para acoplar acústicamente un conjunto de transductor curvado cóncavo (no visible en la figura 5) a un radio exterior inferior respectivo del rigidizador durante la inspección. Una tapa y un cierre de tapa contienen el agua en la zapata 72 y reducen el flujo de agua. Los conjuntos de transductores curvados cóncavos están instalados respectivamente dentro de las zapatas 72. Los conectores de cable eléctrico 98, que salen de las zapatas 72 en los lados de estas, facilitan la conexión eléctrica de los respectivos conjuntos de transductores curvados cóncavos a los respectivos cables eléctricos (no mostrados en la figura 5).

Con referencia, de nuevo, a la figura 2, cada uno de los conjuntos transductores 50a y 50b comprende además un mecanismo de centrado respectivo 68 unido al soporte de transductor 64 respectivo. De acuerdo con la implementación mostrada en las figuras 4, 7A y 7B, cada mecanismo de centrado 68 comprende: el primer y segundo ejes pequeños 90 soportados en los extremos opuestos del mismo por los miembros transversales mutuamente opuestos respectivos del soporte del transductor 64; el primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento 88 acoplados de manera deslizante al primer y segundo ejes pequeños 90 respectivamente; y el primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces (94a, 94b, 96a, 96b) acoplados de manera pivotante al primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento 88, respectivamente. Además, las porciones de los ejes 90 que se extienden entre los miembros transversales superiores de un respectivo soporte de transductor 64 y un mecanismo de pivote/deslizamiento respectivo 88 están rodeados por los respectivos resortes de compresión 92, que empujan a los mecanismos de pivote/deslizamiento 88 lejos de la transversal superior miembros del transductor mayores 64. Como se observa mejor en las figuras 7A y 7B, cada mecanismo de pivote/deslizamiento 88 comprende un rodamiento 102, un perno de pivote 106 y un cuerpo de soporte de rodamiento 104 que soporta tanto el rodamiento 102 y un extremo de perno de pivote 106. Más específicamente, el cuerpo de soporte del rodamiento 104 puede fabricarse con un primer orificio cilíndrico que tiene dos secciones:

una primera sección que tiene un diámetro relativamente grande, en el que el rodamiento 102 está asentado, y una segunda sección que tiene un diámetro relativamente pequeño para pasar a través de un eje pequeño respectivo 90. El cuerpo de soporte del rodamiento 104 comprende además un segundo orificio cilíndrico que recibe un extremo de un perno de pivote respectivo 106. En una implementación, los ejes de los pernos de pivote 106 son perpendiculares a las guías de los ejes 90.

De acuerdo con esta construcción, cada rodamiento 102 está acoplado de manera desplazable a un eje 90 respectivo, permitiendo que el mecanismo de pivote/deslizamiento 88 se deslice hacia arriba y hacia abajo a lo largo del eje 90.

Aunque el mecanismo de pivote/deslizamiento 88 se ha descrito con referencia a las Figuras 7A y 7B, que muestran las partes inferiores de los conjuntos de transductores que llevan los conjuntos de transductores lineales para la inspección de los lados del rigidizador, los mecanismos de pivote/deslizamiento incorporados en los conjuntos de transductores que llevan los conjuntos de transductores convexos y curvados para inspeccionar los radios exteriores inferiores pueden tener la misma construcción.

Las Figuras 7A y 7B también muestran la estructura de los conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces de los conjuntos de transductor que llevan los conjuntos de transductores lineales. Los conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces de los conjuntos de transductor que llevan los conjuntos de transductores curvos convexos para inspeccionar los radios exteriores inferiores tienen una construcción similar pero no idéntica. Cada conjunto de transductor tiene dos conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces. Los conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces para los cuatro conjuntos de transductor en las cuatro esquinas de la sonda funcionan según el mismo principio cuando la sonda se mueve a lo largo de un rigidizador durante la exploración.

Cada conjunto de guía de centrado de cuatro enlaces comprende un par de guías de centrado superiores 94a, 94b y un par de guías de centrado inferiores 96a, 96b. Los extremos superiores de las guías de centrado superiores 94a, 94b están acoplados de manera pivotante a un perno de pivote respectivo 106 (véase la FIG. 7B). Los extremos inferiores de las guías de centrado superiores 94a, 94b se acoplan respectivamente de manera pivotante a los extremos superiores de las guías de centrado inferiores 96a, 96b (véase la FIG. 7A). Los extremos inferiores de las guías de centrado inferiores 96a, 96b están acoplados de manera pivotante entre sí (véase la FIG. 7A). Cada conjunto de transductores lineal 71 está dispuesto entre el primero y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces de un conjunto de transductor respectivo. Estos acoplamientos giratorios producen una estructura de centrado cuadrilateral ajustable en el cual el ángulo entre las guías de centrado inferiores 94a y 94b se ajustará a los ángulos entre las bridas del rigidizador y los lados angulados en los lados opuestos del rigidizador, permitiendo que conjunto de transductor se alinee con el ángulo de separación. Los mecanismos de centrado comprenden además una pluralidad respectiva de elementos de rodadura 140 acoplados de manera enrollable a la primera y segunda guías de centrado inferiores 96a y 96b (ver figura 7A). Los mecanismos de centrado proporcionan una alineación de ángulo independiente en circunstancias en las que el larguerillo cambia el ángulo y/o el grosor durante el movimiento de la sonda a lo largo del rigidizador.

Regresando a la figura 4, la acción de los mecanismos de pivote-deslizamiento 88 permite la variabilidad del fuselaje IML al ángulo lateral del larguerillo. Esto permite el radio variable del fuselaje, ya que el fuselaje no es una estructura de radio

constante. También es variable a lo largo de la estructura del fuselaje. La acción del centrado con el mecanismo de pivote/deslizamiento también mantiene cada conjunto de transductores lineales en la posición correcta en el lado del larguero respectivo para los conjuntos de transductores SS 50a y 50b. Este mecanismo también mantiene cada conjunto de transductor curvo cóncavo de los conjuntos de transductor LOR 50c y 50d en alineación con el respectivo radio exterior inferior del rigidizador para asegurar una buena cobertura de datos, como se muestra en la figura 6.

La Figura 8 muestra un conjunto de transductor LOR 50c de acuerdo con la modalidad representada en la figura 2. El conjunto de transductor LOR 50c comprende un eje 60 que es desplazable a lo largo y que puede girar sobre su propio eje con respecto a la estructura de soporte de la sonda 32 (mostrada en la FIG. 2). El eje 60 se desliza y gira en el rodamiento de casquillo 48. La rotación del eje 60 está limitada por un dispositivo de retención 122, que golpeará la estructura de soporte de la sonda 32 (véase la FIG. 2) cuando se alcanza el límite de rotación del eje (por ejemplo, 65-10 grados). El eje 60 está acoplado a un par de conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces (94a, 94b, 96a, 96b) por medio de un acoplamiento flexible 62 y un soporte de transductor 66. La flexión permitida por el acoplamiento flexible 62 aloja desalineación angular, paralela y axial entre el eje 60 y el soporte del transductor 66.

De nuevo, con referencia a la figura 2, el desplazamiento axial de cada eje 60 se mide mediante un sensor de posición lineal respectivo 124 que está fijado a una pata de soporte respectiva 38a-38d. El sensor de posición lineal 124 puede tomar la forma de un potenciómetro suave. Una parte accesoria 120 respectiva, que tiene un punto de contacto de presión roscado en un orificio formado allí, está unida al extremo superior del eje 60 respectivo. Cada sensor de posición lineal 124 detecta la distancia recorrida por el punto de contacto de presión de una parte accesoria 120 respectiva.

Como se muestra en la Figura 12, el sensor de posición lineal 124 es un sistema de tres hilos con dos canales de salida resistivos y una corriente de colector eléctrico en un sustrato de poliéster 126. Al presionar un punto de contacto de presión hacia abajo sobre el circuito superior 128, el sensor de posición lineal 124 produce una salida eléctrica indicativa de la posición lineal del punto de contacto de presión. Dado que el punto de contacto de presión está fijado al eje, la salida del sensor también indica el desplazamiento axial del eje.

De acuerdo con una modalidad, el punto de contacto de presión toma la forma de un accionador de perno 150 mostrado en las Figuras 13A y 13B. El accionador de perno 150 comprende una carcasa que tiene roscas externas 154 y un orificio cilíndrico circular 156. El perno comprende un tapón 160 que se puede deslizar en el orificio 156 y una punta redondeada 152 que sobresale del alojamiento y contacta con el sensor de posición lineal. A medida que el eje se desplaza axialmente, la punta redondeada 152 se apoya contra el circuito superior 128 (véase la FIG. 12), que produce señales de salida del sensor indicativas de desplazamiento axial incremental del eje. El desplazamiento axial de cada eje 60 (ver la FIG. 2) se puede detectar de esta manera.

Durante la configuración, la presión del resorte respectivo (no mostrado) que rodea una porción de cada eje puede ajustarse en función de las salidas de los sensores de posición lineal. Cada resorte se puede seleccionar con una constante de resorte diferente, así como la longitud para obtener un ajuste y una posición óptimos de cada eje, es decir, la posición de la sonda en el larguerillo.

5 Además de inspeccionar los lados angulados y los radios exteriores inferiores del larguero, la sonda 18 mostrada en la figura 2 es capaz de inspeccionar simultáneamente la punta redondeada del larguerillo. La figura 9 muestra diversos componentes de un conjunto de transductor UCR de acuerdo con una modalidad. El conjunto del transductor UCR está soportado por un yugo 56 que comprende una horquilla 52 unida a una barra transversal 54. El yugo 56 (visto en la FIG. 9) y la placa de estructura principal 34 (vista en la FIG. 2) ambos están conectados a una placa/conjunto de interfaz de robot (no se muestra).
 10 La placa/conjunto de interfaz del robot está dispuesta en un extremo distal de un efector del extremo del robot (descrito más adelante con referencia a la FIG. 14).

El conjunto del transductor UCR comprende una carcasa inferior 74 (descrita previamente con referencia a la FIG. 5) que tiene rodamientos de rodillos en las superficies internas respectivas para deslizarse por la punta del larguerillo. El conjunto del transductor UCR comprende además una carcasa superior (partes 108 y 110) que está acoplada a la carcasa inferior 74.
 15 carcasa superior se puede mover transversalmente con respecto a la carcasa inferior por medio de un perno 142 que está acoplado de forma roscada a una brida que se proyecta hacia arriba desde la carcasa inferior 74.

Como se observa mejor en las figuras 10 y 11, un conjunto de transductor curvo convexo 112 está unido a y entre dos componentes de fijación 114 y 116 que son deslizables con respecto a las partes superiores de la carcasa 108 y 110, respectivamente, por medio de los deslizadores respectivos 134 y 136. Esto permite que se ajuste la posición vertical del
 20 conjunto del transductor 112. Los deslizadores de acero inoxidable se utilizan para proporcionar una histéresis baja y una alineación exacta. Las porciones inferiores de las partes superiores de la carcasa 108 y 110 forman una columna de agua 138, que se conecta a una fuente de agua mediante un colector 140 formado en la parte superior de la carcasa 110. El conjunto de transductores 112 se proyecta en la columna de agua 138, que se llena con agua durante la inspección de la punta redondeada del larguerillo.

25 De acuerdo con la modalidad representada en la Figura 11, la posición vertical del conjunto del transductor 112 puede ajustarse manualmente girando un perno 130 que tiene una porción sin rosca en un orificio sin rosca formado en la parte superior de la carcasa 110 y una porción roscada en un orificio roscado formado en el componente de fijación 116.

De acuerdo con una modalidad alternativa, el ajuste de la posición vertical del conjunto del transductor 112 podría automatizarse reemplazando el perno 130 con un tornillo de avance accionado por motor, un ejemplo que se enseña en la
 30 patente estadounidense No. 8,082,793.

De acuerdo con una implementación, el conjunto de transductores curvos convexos para NDI de punta redondeada del larguero puede ser un conjunto curvo de 162.56 cm (64 pulgadas) y 64 elementos con foco cilíndrico; los conjuntos de transductores lineales para NDI de los lados del larguero pueden ser conjuntos lineales planos de 16 elementos; y los conjuntos de transductores cóncavos curvos para NDI de los radios exteriores inferiores del larguerillo pueden ser conjuntos de radios de 16 elementos que tienen un radio de 10.2 mm y un ángulo de 90 grados. Los primeros dos tipos de matrices están disponibles comercialmente en GE Inspection Technologies; el tercer tipo de conjunto está disponible comercialmente en Olympus.

La Figura 14 muestra un sistema de inspección para inspeccionar una estructura 20 (por ejemplo, un fuselaje). El sistema de inspección comprende un robot 10, un sistema de adquisición de datos 14 y una sonda 18 que está montada en un efector final de robot 16 dispuesto en el extremo de un brazo de robot 12 y en comunicación con el sistema de adquisición de datos 14. (En otras palabras, la sonda 18 está acoplada al brazo del robot 12 por medio del efector final del robot 16.) A medida que la sonda 18 se mueve a lo largo de la estructura 20, los datos se envían al sistema de adquisición de datos 14 para su procesamiento. Por lo regular, el robot 10 se controla automáticamente para mover la sonda 18 cerca de la estructura 20, mientras que el sistema de adquisición de datos 14 genera imágenes de la superficie de la estructura 20 para mapear la respuesta de la sonda. El robot 10 podría usarse para inspeccionar cualquier número de estructuras en una variedad de industrias donde se requiere la detección de fallas o defectos en la estructura, como en las industrias aeronáutica, automotriz o de construcción. En particular, si la sonda 18 es del tipo mostrado en la figura 2, el robot 10 podría usarse para inspeccionar rigidizadores del tipo mostrado en las Figuras 1 y 2.

El robot 10 tiene capacidad de movimiento multieje y utiliza soporte de software para generar un perfil tridimensional que se utilizará para la medición e inspección de piezas. En particular, el robot 10 mostrado en la figura 14 comprende una base 28, un carrusel 22, un balancín 24, un brazo robot 12 y un efector extremo 16, cuyos componentes están acoplados de forma giratoria por una pluralidad de pivotes 26. La combinación de estos componentes proporciona varios grados de libertad, lo que a su vez permite que la sonda 18 se mueva a diferentes ubicaciones y en diferentes direcciones. El robot 10 incluye uno o más sensores posicionales 30 en, o asociados de otra manera, a cada uno de los pivotes 26 que proporcionan datos posicionales (X, Y y Z en espacio tridimensional) al sistema de adquisición de datos 14 para localizar con precisión la sonda 18, un ejemplo que se puede encontrar en la Patente de Estados Unidos No. 7,448,271. Por ejemplo, el robot 10 mostrado en la Figura 14 incluye seis pivotes 26, donde cada pivote incluye un codificador posicional 30 que define colectivamente la ubicación tridimensional de la sonda 18. La sonda 18 proporciona datos NDI indicativos de la estructura 20. Como tal, el robot 10 proporciona una ubicación precisa de cualquier defecto usando datos posicionales y datos NDI adquiridos durante la inspección de la estructura 20.

Un ejemplo de un robot 10 que podría emplearse con la sonda mostrada en la figura 2 es el modelo de robot KR-150 fabricado por Kuka Roboter GmbH (Augsburgo, Alemania), aunque podría utilizarse cualquier robot u otro manipulador capaz de transportar una sonda 18 y comunicarse con un sistema de adquisición de datos 14. Además, el robot 10 podría incluir varios números de sensores 30 (por ejemplo, uno o más) para adquirir datos posicionales, y los sensores 30 podrían estar ubicados en diferentes ubicaciones, tales como cerca de la sonda 18.

El sistema de adquisición de datos 14 es capaz de generar varias imágenes, que incluyen imágenes de exploración A, exploración B y exploración C de estructuras complejas 20 basadas en datos recopilados por los sensores de posición 30 y la sonda 18. Además, el sistema de adquisición de datos 14 es capaz de generar una nube de puntos tridimensional basada en los datos adquiridos por los sensores de posición 30 y la sonda 18. Por lo tanto, un flujo de datos posicionales puede asignarse a un flujo de datos NDI para generar la nube de puntos. Los datos de NDI pueden incluir, entre otra información, datos sobre defectos, irregularidades u otras imperfecciones en la estructura 20.

El sistema de adquisición de datos 14 por lo regular incluye un procesador o dispositivo informático similar que funciona bajo el control del software de formación de imágenes para que cualquier defecto en la estructura 20 pueda presentarse en una pantalla. El procesador podría ser incorporado por una computadora, tal como una computadora de escritorio, una computadora portátil o un dispositivo de procesamiento portátil capaz de procesar los datos generados por los sensores de posición 30 y la sonda 18 y crear una imagen de los datos escaneados que se muestra en una pantalla como monitor u otro dispositivo de visualización. El sistema de adquisición de datos 14 genera imágenes de datos y también permite al usuario almacenar y editar imágenes creadas previamente. Por lo tanto, se puede mantener un registro permanente de las imágenes para uso futuro o mantenimiento de registros. Sin embargo, se entiende que el sistema de adquisición de datos 14 no necesita generar imágenes, ya que el sistema de adquisición de datos podría recolectar y analizar matemáticamente datos posicionales y de NDI que un técnico podría usar para caracterizar y localizar un fallo basada en los datos.

El robot 10 está típicamente en comunicación con el sistema de adquisición de datos 14 para procesar los datos acumulados por los sensores de posición 30 y la sonda 18 y para mostrar los datos procesados. En muchos casos, los cables de comunicaciones (no mostrados en la figura 14) transmiten datos entre el robot 10 y el sistema de adquisición de datos 14. En otras modalidades, los datos pueden transmitirse entre el robot 10 y el sistema de adquisición de datos 14 a través de comunicaciones inalámbricas. El robot 10 puede estar conectado directamente al procesador, o conectado indirectamente, tal como a través de una red. En modalidades adicionales, el sistema de adquisición de datos 14 puede estar ubicado próximo al robot 10, de modo que no sean necesarias conexiones remotas entre el robot y el sistema de adquisición de datos. Además, se entiende que el sistema de adquisición de datos 14 podría incorporarse al robot 10 de manera que el robot recopile y procese los datos.

Se pueden usar otros tipos de sistemas de posicionamiento de efectores finales, incluidas las combinaciones de plataformas lineales de eje cartesiano, plataformas de eje giratorio y plataformas Stewart que utilizan cinemática paralela. Los ejemplos específicos incluyen pórticos, otros tipos de robots, robots en riel, plataformas de tipo postmill y plataformas Stewart (por ejemplo, hexápodos). En cada uno de estos ejemplos, el sistema de posicionamiento del efector final está configurado para
5 entregar un efector final seleccionado a una posición o a lo largo de una ruta para realizar su función, al tiempo que satisface los requisitos de rendimiento (por ejemplo, ángulos, velocidad, aceleración, rigidez, rango de desplazamiento, utilidades, acoplamiento de liberación rápida).

El sistema y el método descritos anteriormente pueden emplearse en un método 200 de fabricación y servicio de aeronaves como se muestra en la figura 15 para inspeccionar partes de una aeronave 202 como se muestra en la figura 16. Durante la
10 preproducción, el método ejemplar 200 puede incluir la especificación y el diseño 204 de la aeronave 202 y la adquisición de material 206. Durante la producción, tiene lugar la fabricación de componentes y subconjuntos 208 y la integración de sistemas 210 del avión 202. Posteriormente, la aeronave 202 puede pasar por la certificación y entrega 212 para ser puesta en servicio 214. Mientras se encuentre en servicio para un cliente, la aeronave 202 está programada para mantenimiento y servicio de rutina 216 (que también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación, etc.).

15 Cada uno de los procesos del método 200 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). A los fines de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una empresa de arrendamiento financiero, una entidad militar, una organización de servicios, etc.

20 Como se muestra en la Figura 16, el avión 202 producido por el método ejemplar 200 puede incluir una célula 218 (que comprende, por ejemplo, un fuselaje, marcos, rigidizadores, cajas de ala, etc.) con una pluralidad de sistemas 220 y un interior 222. Los ejemplos de sistemas de alto nivel 220 incluyen uno o más de los siguientes: un sistema de propulsión 224, un sistema eléctrico 226, un sistema hidráulico 226 y un sistema de control ambiental 230. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios descritos en este documento pueden aplicarse a
25 otras industrias, como la industria automotriz.

El aparato y los métodos incorporados en la presente pueden emplearse durante una o más de las etapas del método de producción y servicio 200. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos fabricados o ensamblados durante el proceso de producción 208 pueden inspeccionarse usando el sistema de inspección descrito en este documento. Además, se pueden utilizar una o más modalidades de aparatos, modalidades de métodos o una combinación de las mismas durante las etapas
30 de producción 208 y 210, por ejemplo, agilizando sustancialmente el montaje o reduciendo el costo de un avión 202. De

manera similar, una o más de las modalidades de aparatos, modalidades de métodos o una combinación de las mismas se pueden utilizar mientras el avión 202 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, durante el mantenimiento y el servicio 216. Aunque las sondas NDI se han descrito con referencia a diversas modalidades, se pretende que las reivindicaciones no se limiten a las modalidades particulares descritas en el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato, caracterizado porque comprende:
una estructura de soporte (32);
5 un primer eje largo (60) acoplado de manera pivotante y deslizable a dicha estructura de soporte (32);
un primer acoplamiento flexible (62) unido a un extremo de dicho primer eje largo (60);
un primer soporte de transductor (64) unido a dicho
10 primer acoplamiento flexible (62);
un primer conjunto de transductores sujetado por dicho primer soporte de transductor (64); y **caracterizado porque:**
un primer mecanismo de centrado (68) unido a dicho primer soporte de transductor (64), en donde dicho primer mecanismo de centrado (68) comprende:
15 primer y segundo ejes pequeños (90) soportados en extremos opuestos del mismo mediante dicho primer soporte de transductor (64);
primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento (88) acoplados de manera deslizable a dichos primer y segundo ejes pequeños (90) respectivamente; y
primer y segundo conjunto de guías de centrado de cuatro enlaces (94a, 94b, 96a, 96b) acoplados de manera pivotante a
20 dicho primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento (88) respectivamente;
en donde cada uno de dichos primer y segundo conjuntos de guías de centrado de cuatro enlaces (94a, 94b, 96a, 96b) comprende la primera y la segunda guías de centrado superiores (94a, 94b) se acoplan de manera pivotante a dichos primer y segundo mecanismos de pivote/deslizamiento (88) respectivamente y la primera y segunda guías de centrado inferiores (96a, 96b) se acoplan de manera pivotante respectivamente a dichas primera y segunda guías de centrado superiores (94a,
25 94b) y se acoplan de manera pivotante entre sí.
2. El aparato de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho primer mecanismo de pivote/deslizamiento (88) comprende un primer rodamiento (102) y un primer perno de pivote (106), y dicho segundo mecanismo de pivote/deslizamiento (88) comprende un segundo rodamiento (102) y un segundo perno de pivote (106), dichos primer y
30 segundo ejes pequeños (90) son deslizables en dichos primer y segundo rodamientos (102) respectivamente, y dichos primer

y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces (94a, 94b, 96a, 96b) se acoplan de manera pivotante a dichos primer y segundo pernos de pivote, respectivamente.

3. El aparato de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho conjunto de transductores se dispone entre
5 dicho primer y segundo conjuntos de guía de centrado de cuatro enlaces (94a, 94b, 96a, 96b).

4. El aparato de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque además comprende:
un segundo eje largo (60) acoplado de manera pivotante y deslizable a dicha estructura de soporte (32);
un segundo acoplamiento flexible (62) unido a un extremo de dicho segundo eje largo (60);
10 un segundo soporte de transductor (64) unido a dicho segundo acoplamiento flexible (62);
un segundo conjunto de transductor sujeto por dicho segundo soporte de transductor (64); y
un segundo mecanismo de centrado (68) unido a dicho segundo soporte de transductor (64).

5. El aparato de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado porque dicho primer conjunto de transductores tiene una
15 curvatura cóncava, dicho segundo conjunto de transductores es lineal, y dicho primer y segundo conjuntos de transductores
se disponen de manera que cuando dicho primer conjunto de transductores se enfrenta a un radio externo inferior de un
rigidizador , dicho segundo conjunto de transductores se enfrentará a un lado del rigidizador.

6. El aparato de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado porque cada uno de dichos primero y segundo conjuntos
20 de transductores tienen una curvatura cóncava, y dichos primer y segundo conjuntos de transductores se disponen de manera
que cuando dicho primer conjunto de transductores se enfrenta a un primer radio externo inferior de un rigidizador , dicho
segundo conjunto de transductores se enfrentará a un segundo radio externo inferior del rigidizador.

7. El aparato de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado porque cada uno de dichos primer y segundo conjuntos de
25 transductores es lineal, y dicho primer y segundo conjuntos de transductores se disponen de manera que cuando dicho primer
conjunto de transductores se enfrenta a un primer lado de un rigidizador , dicho segundo conjunto de transductores se
enfrentará a un segundo lado del rigidizador.

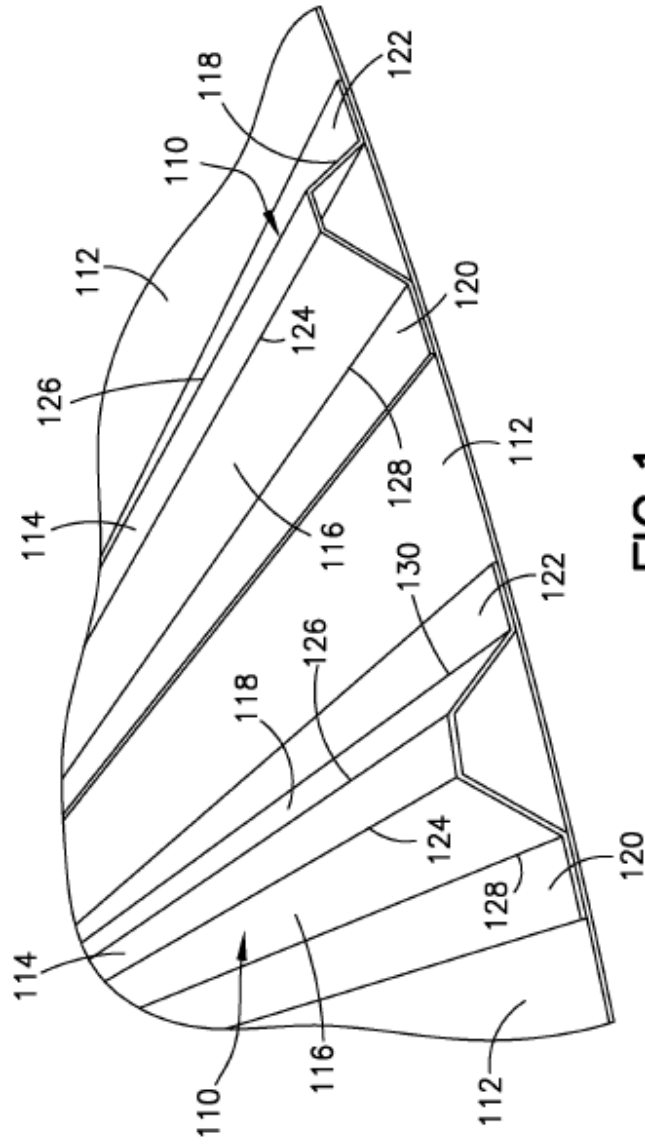
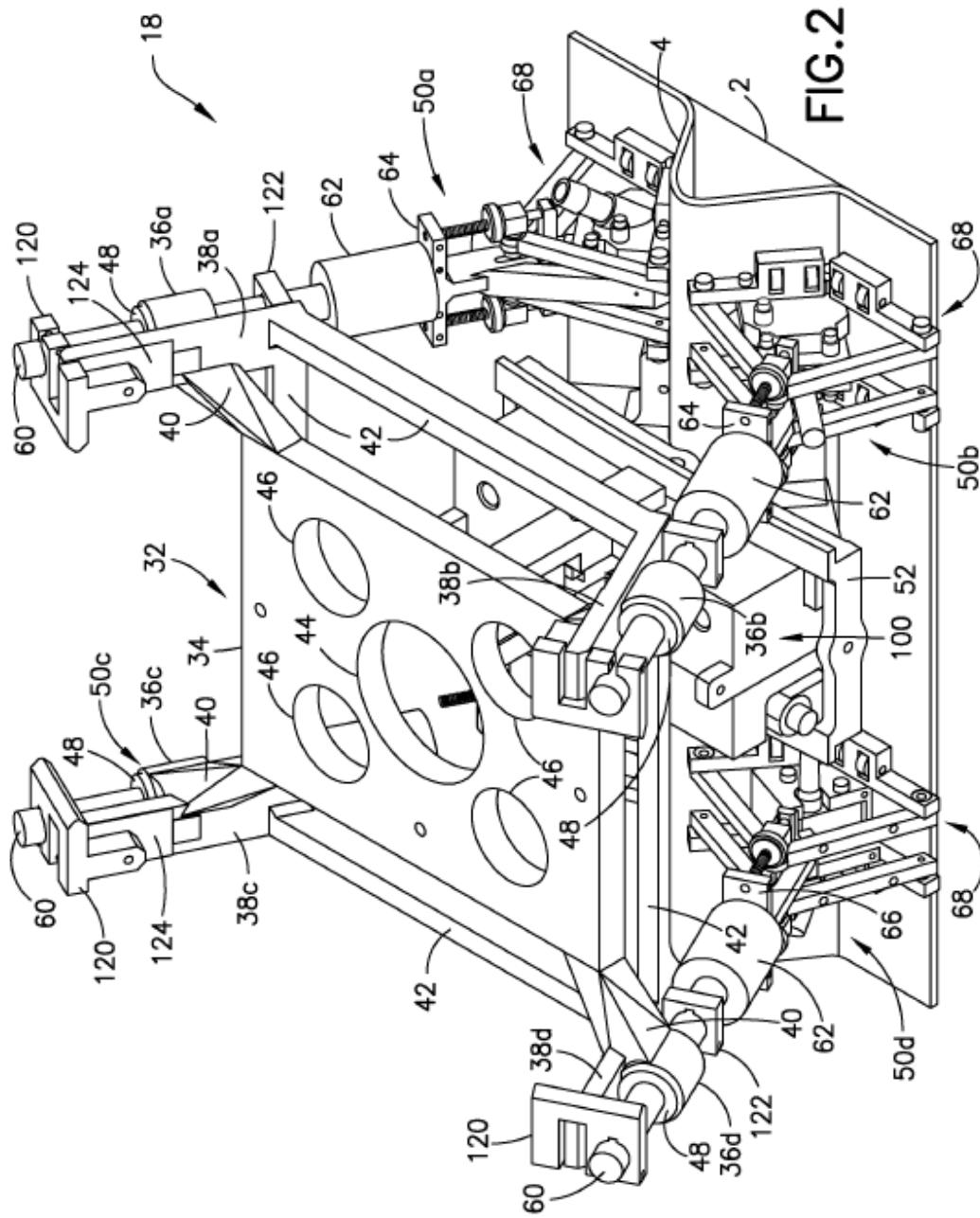


FIG.1



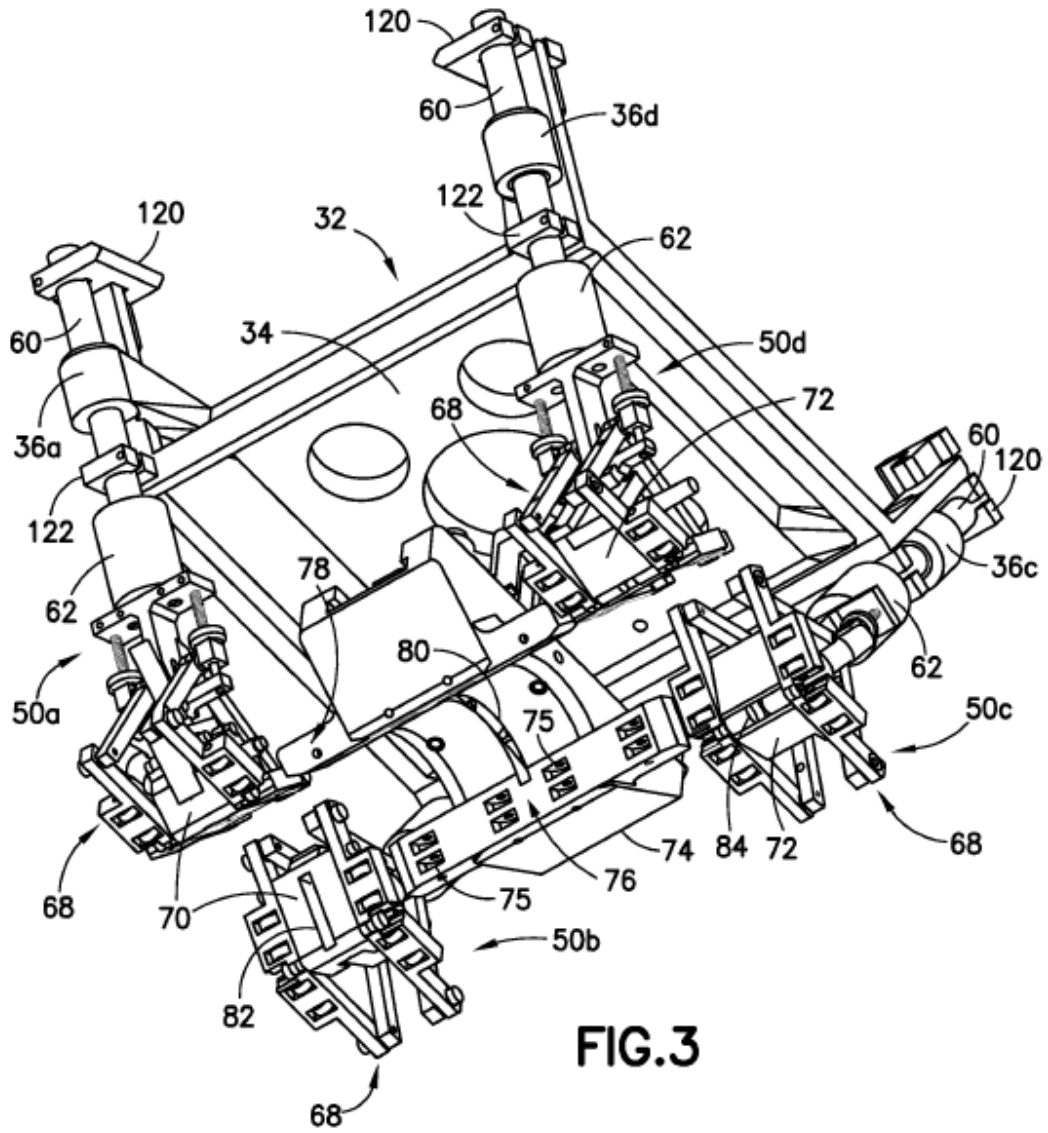
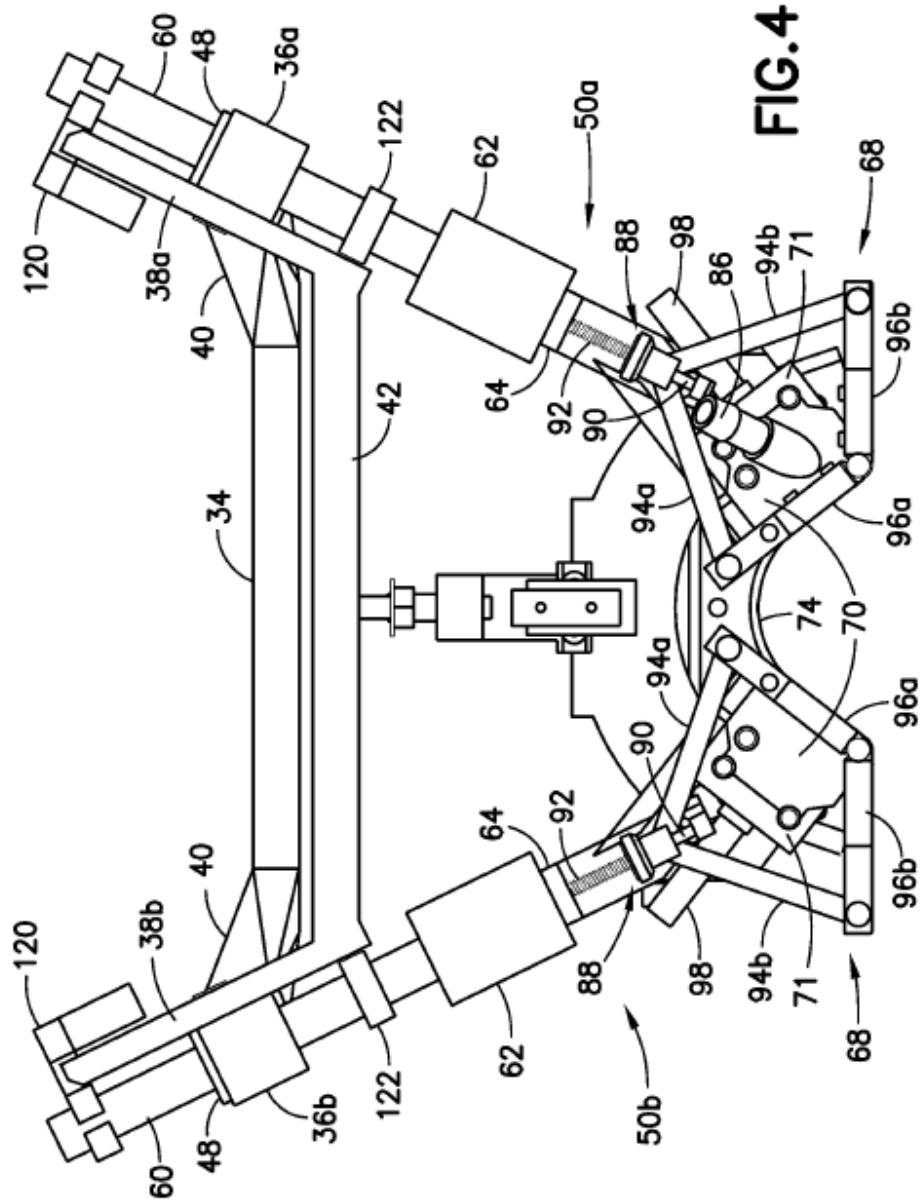


FIG.3



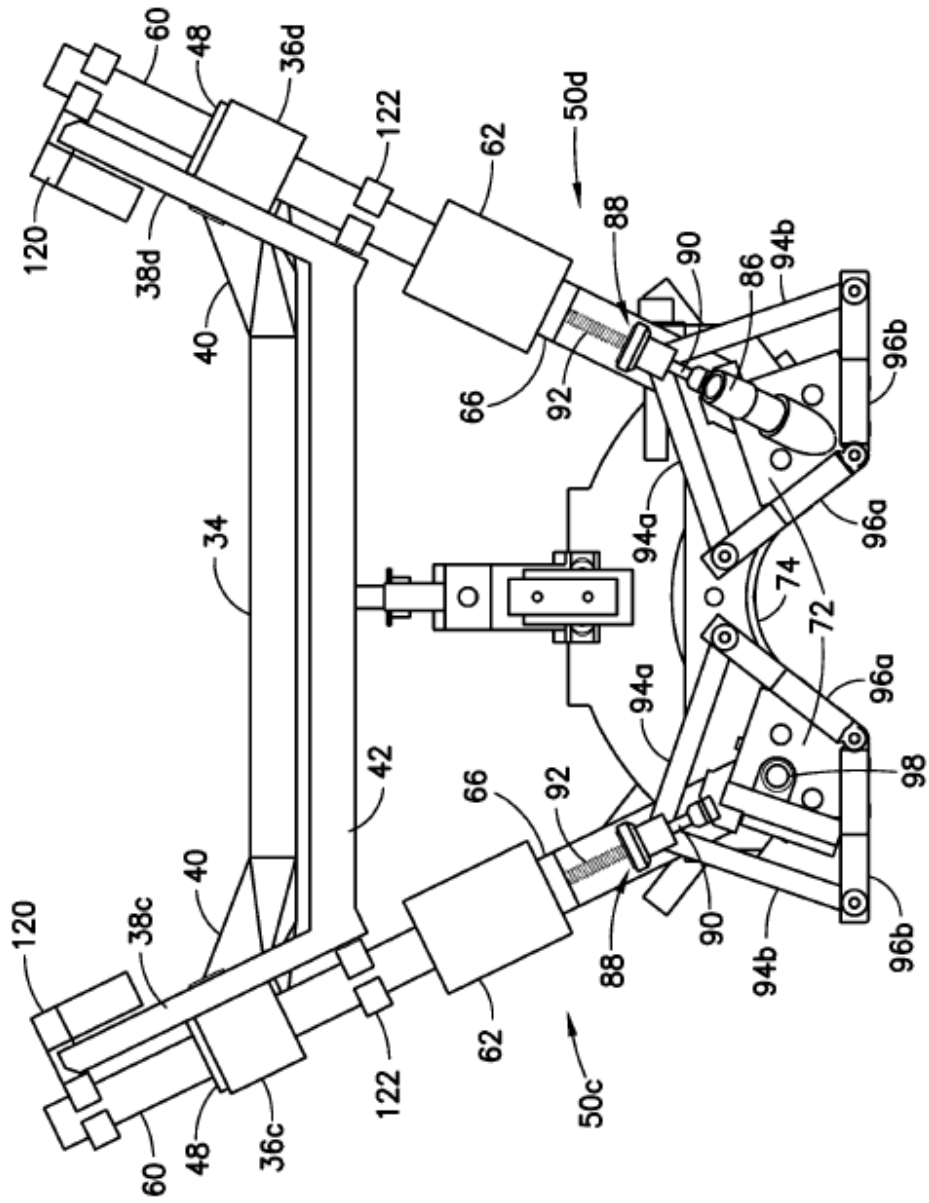


FIG.5

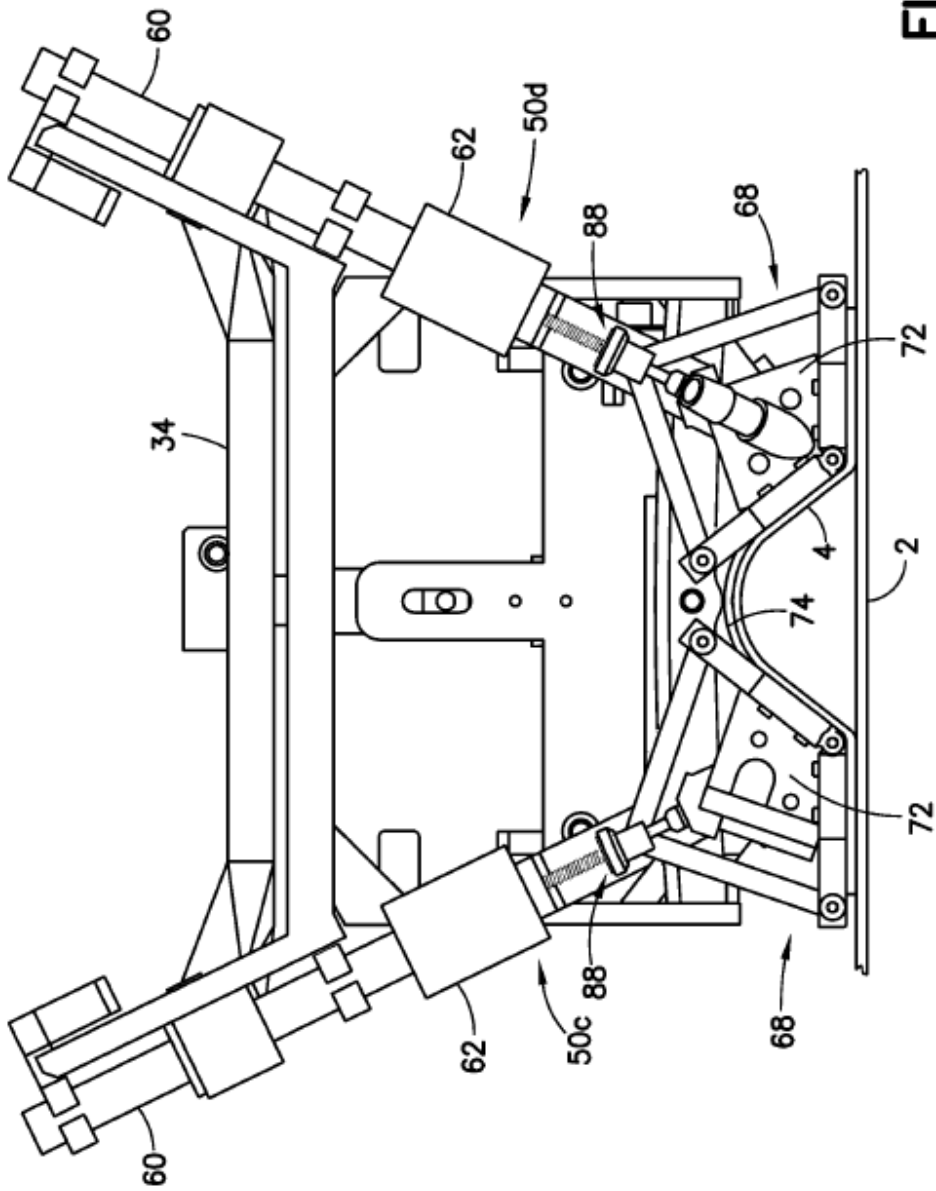


FIG.6

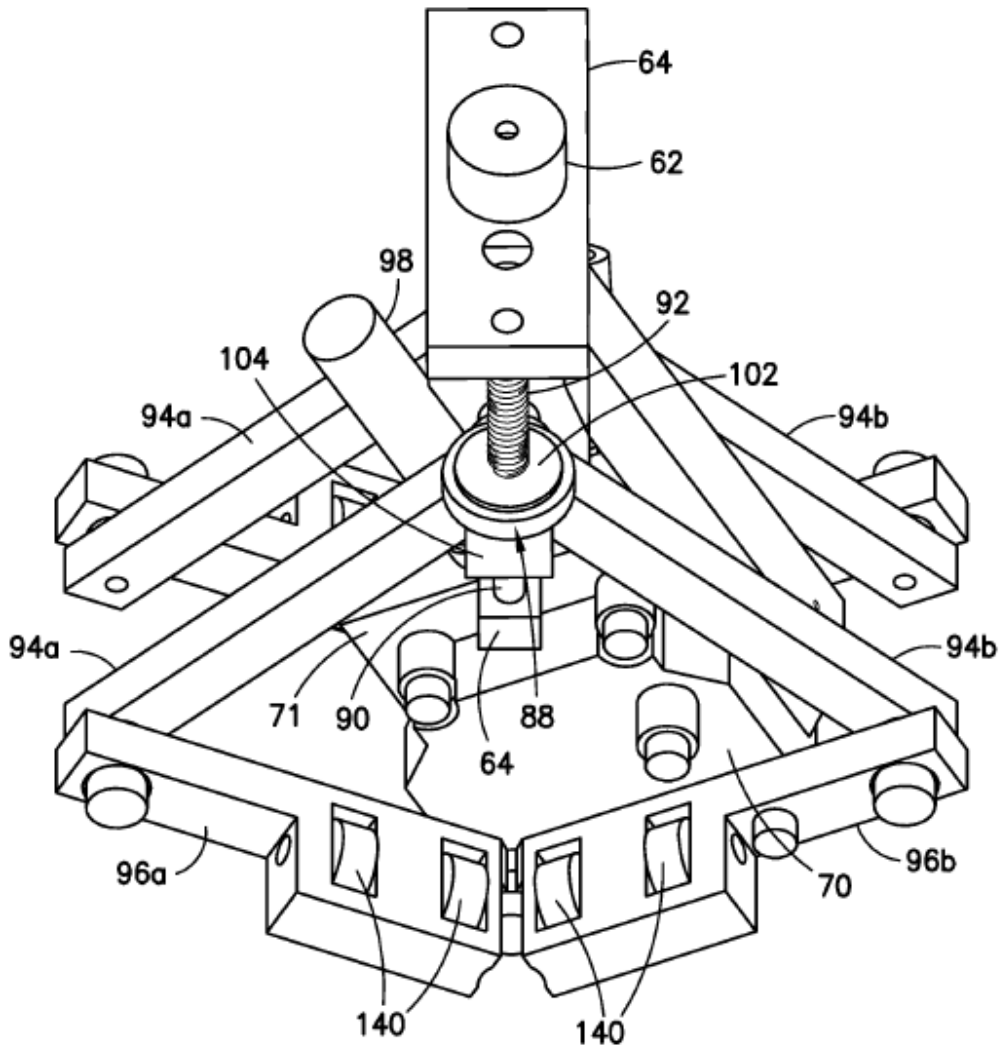


FIG.7A

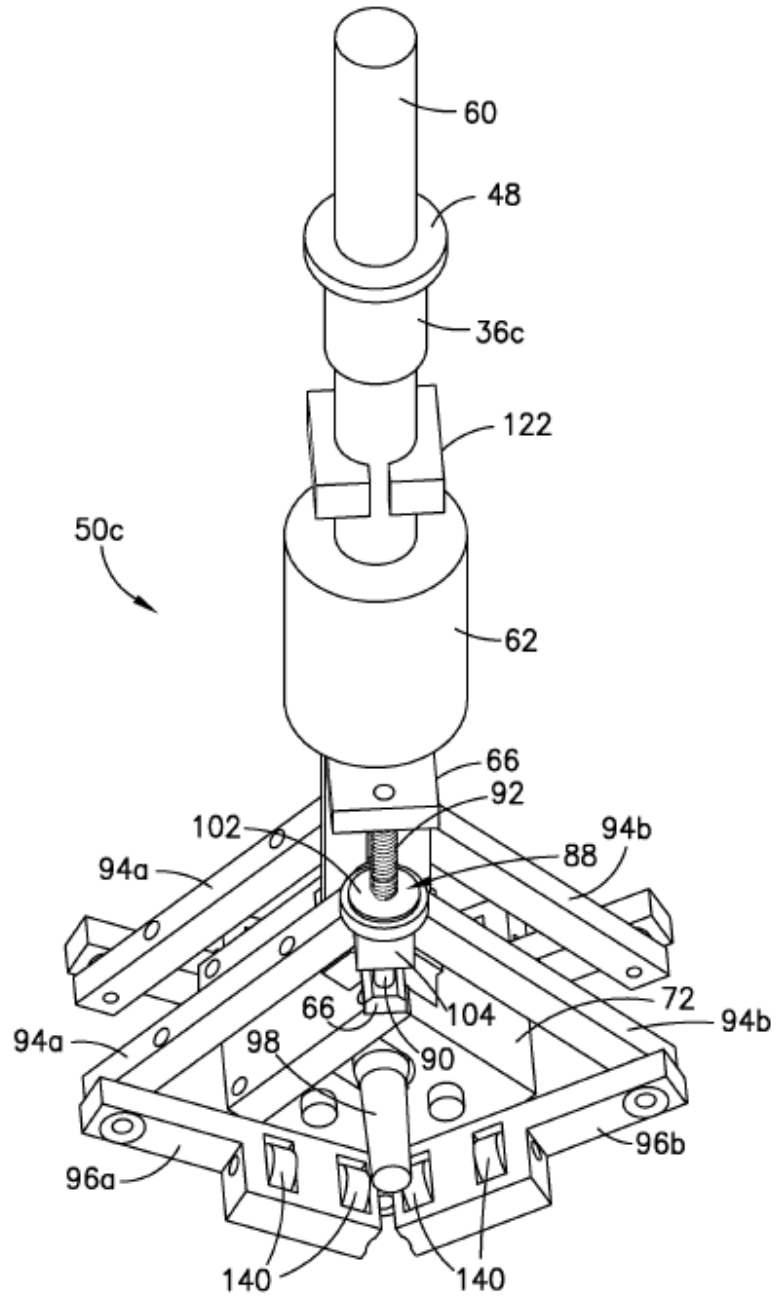


FIG.8

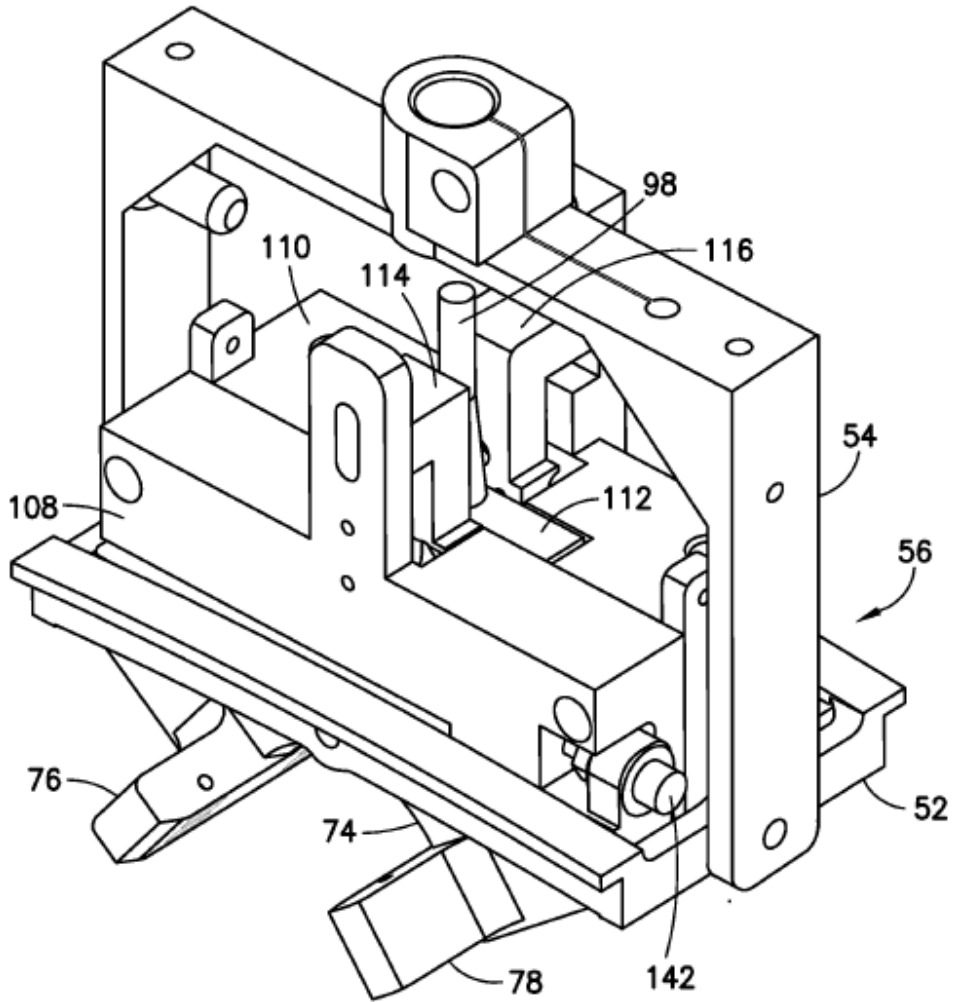


FIG.9

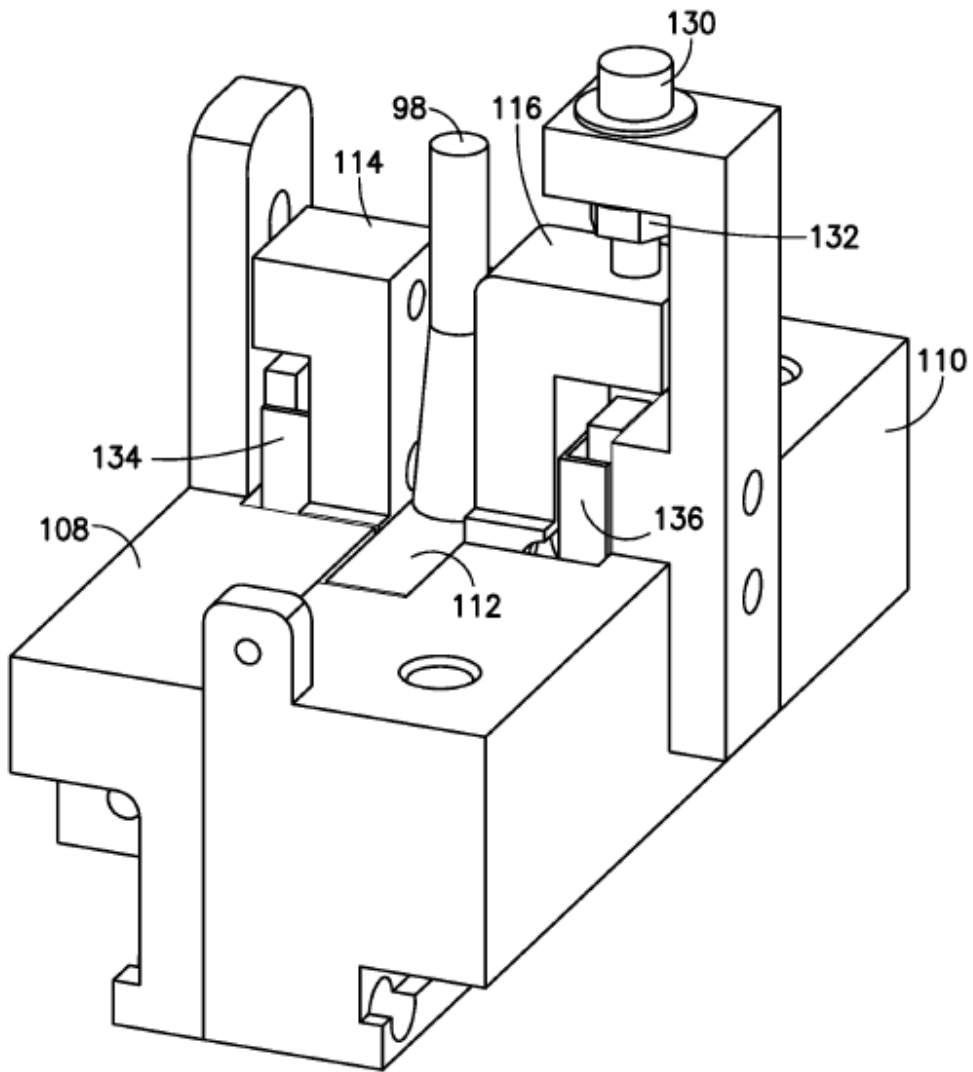


FIG.10

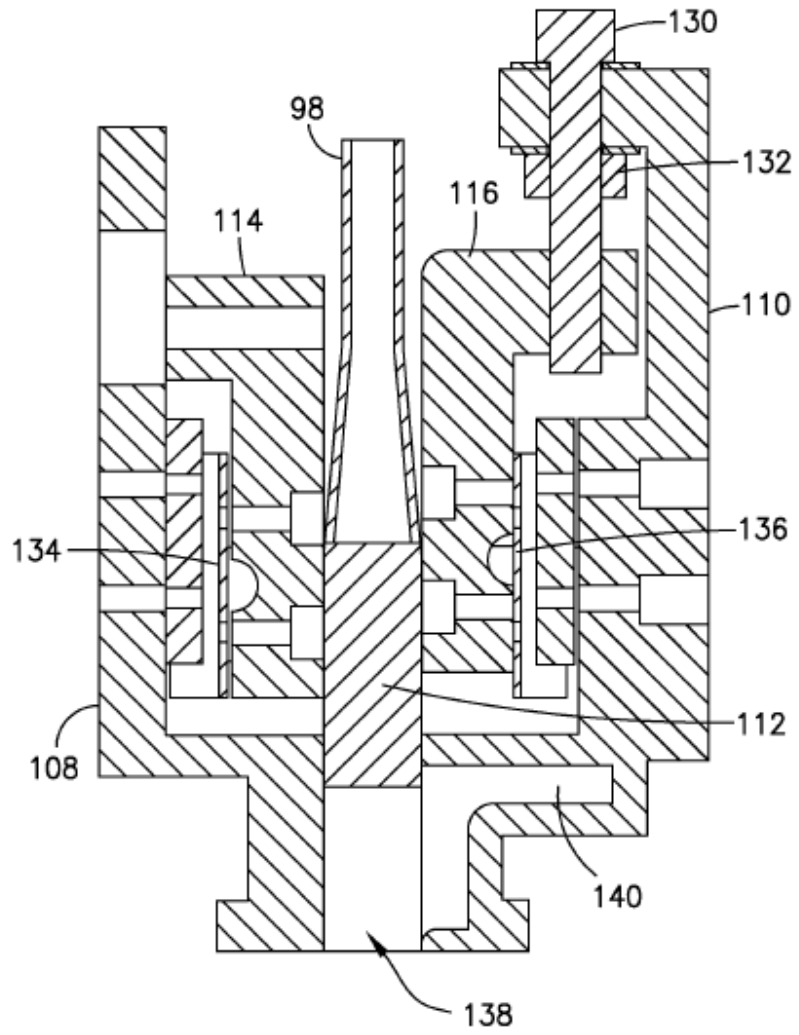


FIG. 11

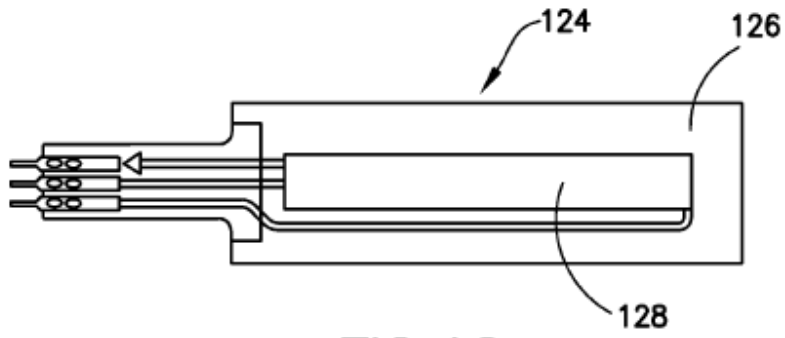


FIG. 12

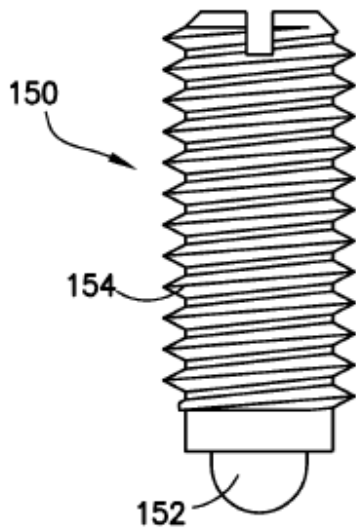


FIG. 13A

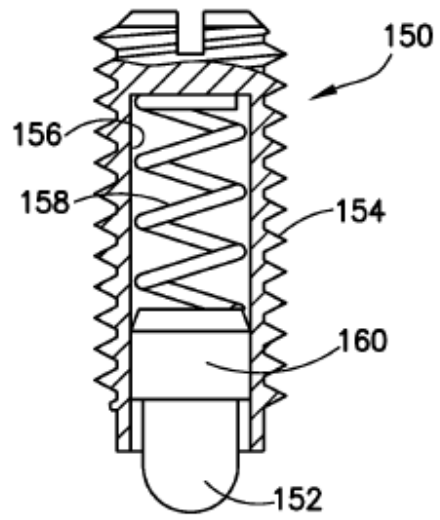
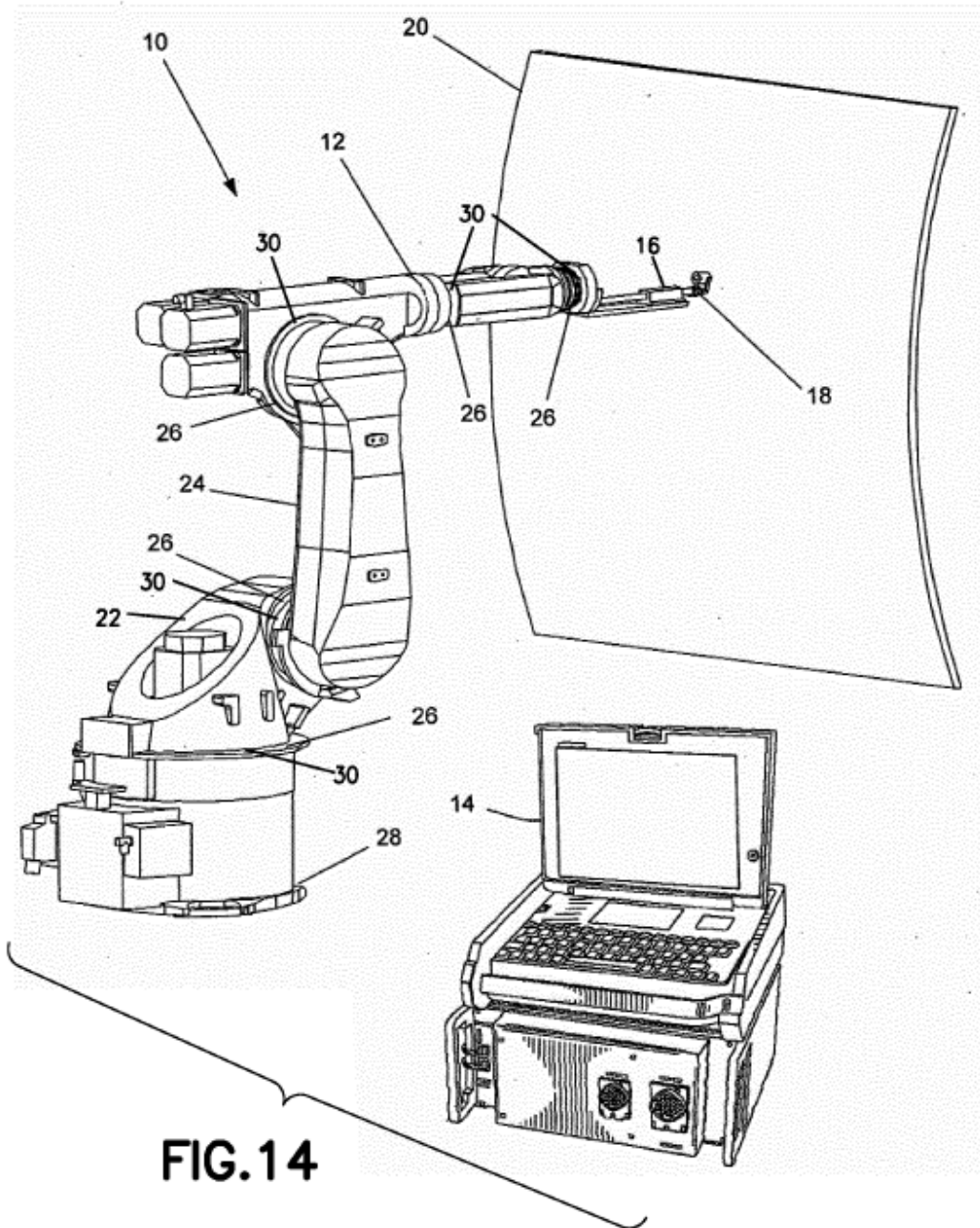


FIG. 13B



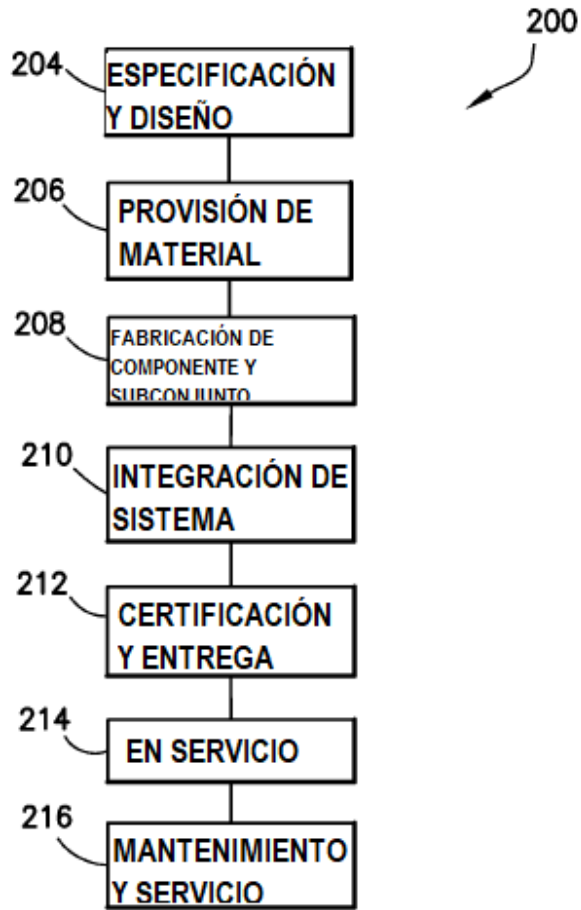


FIG.15

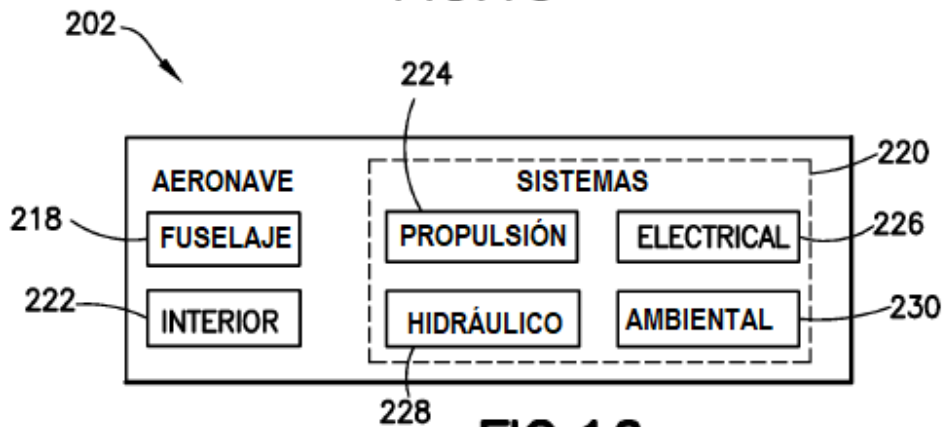


FIG.16