

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 822**

51 Int. Cl.:

**A61B 34/30** (2006.01)

**A61B 34/37** (2006.01)

**A61B 34/00** (2006.01)

**A61B 17/29** (2006.01)

**B25J 9/10** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.10.2016** **PCT/EP2016/074812**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.04.2017** **WO17064306**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2016** **E 16788049 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024** **EP 3361982**

54 Título: **Herramienta quirúrgica**

30 Prioridad:

**16.10.2015 IT UB20154977**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**05.12.2024**

73 Titular/es:

**MEDICAL MICROINSTRUMENTS, INC. (100.0%)**  
**1209 Orange StreetThe Corporation Trust**  
**Company**  
**Wilmington, DE 19801, US**

72 Inventor/es:

**SIMI, MASSIMILIANO y**  
**PRISCO, GIUSEPPE MARIA**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 991 822 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

Herramienta quirúrgica

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un instrumento médico.

En particular, la presente invención se refiere a un instrumento médico específicamente adecuado para actuar como un efector de extremo robótico para microcirugía robótica.

Además, la presente invención se refiere a un conjunto quirúrgico robótico que comprende dicho instrumento médico.

## 15 Estado de la técnica

Se conocen en el campo conjuntos robóticos para cirugía o microcirugía que comprenden brazos robóticos de múltiples articulaciones que terminan con instrumentos quirúrgicos. Por ejemplo, el documento US-71553116-B2 da a conocer un conjunto robótico para realizar microcirugía cerebral guiada por MRI (formación de Imágenes por resonancia magnética) que comprende un sistema de adquisición de imágenes basado en MRI y dos brazos con múltiples articulaciones, cada uno con tres articulaciones rotativas con ejes verticales para evitar cargas de gravedad directas (tal como se muestra, por ejemplo, en la figura 7 de dicho documento US-7155316-B2), conectado cada uno a su efector de extremo respectivo dotado de un grado interno de libertad de movimiento para el agarre.

Las soluciones disponibles en el estado de la técnica, aunque ofrecen ventajas parciales, requieren una estrategia de movimiento que implica simultáneamente una pluralidad de movimientos independientes incluso para pequeños movimientos del instrumento quirúrgico en el campo de trabajo quirúrgico, lo que da como resultado tanto un control difícil de la precisión cinemática como un gran estorbo en el campo de trabajo quirúrgico, que en la práctica se vuelve inaccesible para el cirujano. De hecho, el campo de aplicación de la mayoría de los conjuntos robóticos para cirugía que se basan en el paradigma maestro-esclavo es el uso en cirugía mínimamente invasiva (o MIS), tal como cirugía laparoscópica o endoscópica. En ambas aplicaciones, la cinemática del conjunto robótico tiene como objetivo optimizar el acceso de los instrumentos quirúrgicos al campo quirúrgico a través de los puertos u orificios quirúrgicos, un objetivo que requiere la coordinación de una pluralidad de grados de libertad de movimiento. Por el contrario, las aplicaciones quirúrgicas y microquirúrgicas en cirugía abierta requieren un control cinemático preciso de movimientos de traslación, sobre un espacio de trabajo limitado por el campo de visión del microscopio de quirúrgico, sin las restricciones cinemáticas limitativas representadas por los puertos quirúrgicos u orificios naturales, y por tanto se benefician enormemente de la capacidad del cirujano para acceder directamente al campo quirúrgico.

También es destacable que la ejecución de las principales técnicas primitivas quirúrgicas, tales como el tensado de tejidos y la sutura anastomótica, requiere la capacidad de orientar la punta del instrumento quirúrgico en un gran cono espacial de direcciones y de hacer rotar el instrumento alrededor de su eje longitudinal (balanceo), por ejemplo para guiar la aguja a través del tejido con la punta del instrumento portaagujas, de manera similar a como se articula la mano humana en la muñeca y el codo.

Se conocen en general conjuntos robóticos para cirugía o microcirugía que comprenden un sistema maestro-esclavo teleoperado, tal como se describe, por ejemplo, en el documento US-6963792-A y, más específicamente, para la aplicación microquirúrgica por los documentos US-6385509-B2 y US-2014-0135794-A1, que describen soluciones cinemáticas para el movimiento de la punta del instrumento quirúrgico que requieren la coordinación de una pluralidad de articulaciones en una cadena cinemática en serie que entorpecen el campo quirúrgico. Tal efecto de estorbo es cada vez más pronunciado a medida que las articulaciones que articulan la punta del instrumento están más alejadas de la propia punta. Además, dichos sistemas microquirúrgicos no permiten el movimiento adecuado, y más específicamente la reorientación adecuada, de la punta del instrumento cuando está en un sitio quirúrgico dentro de una lesión de tan solo 10 centímetros desde la superficie de la piel.

La adopción de tecnologías robóticas puede aportar grandes beneficios, permitiendo tanto un alto grado de miniaturización de los instrumentos como el ajuste del tamaño de los movimientos en el campo quirúrgico, eliminando de ese modo el efecto del temblor fisiológico y facilitando la tarea manual. Por ejemplo, los procedimientos microquirúrgicos se llevan a cabo en varias fases de la reconstrucción de tejidos biológicos, tal como por ejemplo en la ejecución de anastomosis de vasos sanguíneos, que comprende vasos de pequeño diámetro y nervios. Tales procedimientos se llevan a cabo para reconstruir la anatomía después de la aparición de lesiones traumáticas o de lesiones producidas por extracción quirúrgica de tejido, para volver a unir extremidades y para revascularizar tejidos, realizados todos ellos en un procedimiento de cirugía abierta dada la existencia previa de una lesión superficial.

Otros ejemplos de aplicación de técnicas microquirúrgicas se encuentran en la cirugía de trasplante, neurocirugía o en la cirugía vascular, así como en cirugía alrededor y dentro del ojo, y en el oído interno, como en el caso de los implantes cocleares. Además, el procedimiento quirúrgico destacado de derivación cardíaca comprende la etapa crítica de anastomosis de las arterias coronarias. La necesidad de miniaturizar instrumentos también se siente en otras técnicas quirúrgicas, por ejemplo, en cirugía mínimamente invasiva, tal como laparoscopia y endoscopia, que tienen como objetivo limitar la invasividad de los instrumentos quirúrgicos en el tejido biológico. Con referencia a la laparoscopia, las soluciones técnicas conocidas en la técnica no permiten una miniaturización satisfactoria del diámetro de los instrumentos laparoscópicos empleados en la cirugía laparoscópica de incisión única o cirugía de puerto único. Además, vale la pena señalar que los endoscopios empleados normalmente en MIS tienen un canal para instrumentos con un diámetro de entre 1 mm y 3,2 mm. Tales dimensiones limitan la funcionalidad de los instrumentos quirúrgicos actuales disponibles a través del canal para instrumentos del endoscopio, que en la actualidad normalmente sólo puede realizar una acción de agarre.

En la técnica se conocen en general instrumentos médicos que comprenden un dispositivo articulado adecuado para trabajar en el paciente. Por ejemplo, el documento WO-2010-009221-A2 muestra un instrumento quirúrgico robótico que comprende un dispositivo articulado distalmente, que puede proporcionar tres grados de libertad de movimiento, respectivamente cabeceo, guiñada y agarre, empleando solo cuatro cables de activación. Tales cables se deslizan hacia el interior de canales de guiado, o vainas, presentes dentro del cuerpo del dispositivo de articulación.

Dicha solución técnica limita la miniaturización del dispositivo de articulación robótico, dado que la fricción entre las superficies de los canales de guiado y los cables que se deslizan en su interior limita la precisión de posicionamiento que puede conseguir el dispositivo de articulación. Tal como se conoce en la técnica, a medida que se reducen las dimensiones físicas de un instrumento médico, surgen dificultades que están relacionadas con el aumento de la relevancia de las fuerzas superficiales, tales como fricción, que se vuelven dominantes con respecto a fuerzas volumétricas. Tal fenómeno requiere recurrir a soluciones que minimicen las fuerzas de fricción, y al mismo tiempo reduzcan al mínimo los movimientos mecánicos perdidos. La pérdida de precisión de posicionamiento de un dispositivo de articulación es un obstáculo tecnológico fundamental para la posterior miniaturización del instrumento de articulación, ya que, con la miniaturización, también disminuye la rigidez de los elementos de accionamiento (tendones) con la segunda potencia de su diámetro, lo que hace incluso más difícil superar la fricción para el posicionamiento preciso de la punta del instrumento. Además, tal solución requiere un sistema de guiado de tendones que comprenda canales y superficies de guiado que rodeen los cables que hacen que los elementos de conexión de cabeceo y guiñada, así como el árbol del instrumento, sean muy difíciles de miniaturizar usando métodos de fabricación conocidos, tales como, por ejemplo, moldeo por inyección y mecanizado, y serían propensos a tener varias ubicaciones de debilidad mecánica.

Para simplificar la miniaturización de un instrumento quirúrgico, dicho documento WO-2010-009221-A2 indica la oportunidad ventajosa de reducir el número de terminaciones de tendón de activación, asociadas a tres grados de libertad, de seis a cuatro, aprovechando para la activación el par de torsión que aplican los cables terminados en el elemento de conexión de guiñada en el elemento de conexión de cabeceo (véase la figura 4-A del documento citado) y requiere para tal propósito tirar de y liberar selectivamente tales cables, gracias a un mecanismo cinemático que comprende varios engranajes. Además, el sistema de accionamiento descrito requiere que cada extremo de un tendón de activación esté unido a un cabrestante, que enrolla selectivamente el tendón induciendo el tirón. La presencia de aspectos mecánicos tales como dicho cabrestante y dichos dientes, que están notoriamente sujetos a pérdida de movimiento, crea una dificultad para accionar una articulación en miniatura, porque el movimiento perdido en el sistema de accionamiento se traduce en un juego angular en la articulación, que aumenta a medida que el dispositivo de articulación se hace más pequeño. Dicho sistema de accionamiento tampoco es adecuado para mantener una baja precarga en los cables de accionamiento para limitar aún más la fricción y el desgaste.

Además, las soluciones descritas para la terminación del tendón comprenden trayectorias sinuosas destinadas a atrapar el tendón en algunas secciones. Tales soluciones requieren el uso de cables que sean suficientemente resistentes para sobrevivir a tal atrapamiento, tales como cables de acero o cables con un diámetro mayor que el requerido de otro modo.

Ejemplos adicionales de cables de activación para instrumentos quirúrgicos adecuados para deslizarse, cuando se tira de ellos o se empujan, dentro de vainas o canales de guiado, por ejemplo obtenidos en las superficies laterales de poleas, se dan a conocer en los documentos US-6371952-B1, US6394998-B1 y WO-2010-005657-A2. Específicamente, el último documento da a conocer una solución en la que los cables de activación siguen trayectorias que se cruzan a medida que discurren alrededor de poleas que comprenden canales de guiado para evitar que tales cables interfieran entre sí, una condición que limita su eficacia en la transmisión del movimiento al dispositivo de articulación, tal como, por ejemplo, en caso de agrupar o deslizar un tendón sobre otro. La provisión de poleas locas, necesariamente con un diámetro cercano a la mitad del diámetro del instrumento (tal como se muestra en la figura 4 del documento citado WO-2010-005657-A2) y unido a los elementos de conexión, por ejemplo a elementos de conexión solidarios con el árbol del instrumento, o al elemento de conexión de cabeceo, para guiar el tendón para que se cruce, es un obstáculo considerable para la miniaturización. Además, la provisión

de ranuras y paredes para realizar los canales para los cables de activación es un obstáculo adicional para la miniaturización del diámetro del árbol o la cánula de un instrumento médico o quirúrgico. Otros ejemplos conocidos de efectores de extremo quirúrgicos con mordazas activadas por tendón se muestran en los documentos DE-102013224753-A1, US-2016-302876-A1 y US-2015-127045-A1, donde los tendones se guían por medio de la provisión de una serie de poleas ranuradas y acoplamientos engranados entre sí. Estas soluciones no resuelven el problema en su totalidad y no son adecuadas para la miniaturización de los dispositivos, porque esos componentes son difíciles de mecanizar y montar a medida que disminuye la escala.

El documento US-2003-0034748-A da a conocer una solución adecuada para reducir el diámetro del instrumento quirúrgico a 5,1 mm. Este instrumento prevé el uso de una serie de discos que funcionan como vértebras, proporcionando cierta flexibilidad.

No obstante, esta solución no es apropiada para lograr una articulación compacta que pueda extenderse aproximadamente en un diámetro de instrumento, o dicho de otro modo, que tenga un radio de curvatura similar a su diámetro. En cambio, esto puede lograrse en aquellas articulaciones descritas en los documentos citados anteriormente que se basan en una articulación de tipo pivote, compuesta por un eje de rotación puro.

Un obstáculo adicional para la miniaturización de dispositivos con juntas o articulados es el reto de fabricar y montar partes micromecánicas tridimensionales con suficiente precisión a un coste de proceso razonable. La necesidad de desarrollar fuerzas relativamente altas en la punta en dispositivos con un tamaño submilimétrico sugiere el uso de metales extremadamente rígidos para tales componentes, tales como por ejemplo acero para herramientas.

Por tanto, se percibe la necesidad de proporcionar un instrumento médico con juntas o articulado, o un conjunto que comprenda un dispositivo con juntas o articulado, que sea estructural y funcionalmente adecuado para una miniaturización extrema sin comprometer su fiabilidad y seguridad. También se percibe la necesidad de proporcionar un instrumento médico con juntas o articulado, o un conjunto que comprenda un dispositivo articulado, adecuado para llevar a cabo una amplia variedad de terapias médicas-quirúrgicas. Finalmente, se percibe la necesidad de proporcionar un instrumento médico con juntas o articulado, o un conjunto que comprenda un dispositivo con juntas o articulado, que sea duradero y que pueda someterse a mantenimiento periódico sin comprometer su esterilidad o fiabilidad.

Se percibe la necesidad de proporcionar un instrumento médico con juntas o articulado, o un conjunto que comprenda un dispositivo articulado, que requiera una fabricación simplificada en comparación con las soluciones conocidas.

Se percibe la necesidad de proporcionar un método de fabricación de dicho instrumento médico que sea más eficiente con respecto a las soluciones conocidas y que garantice el nivel requerido de precisión para el conjunto.

Por tanto, se percibe la necesidad de proporcionar un dispositivo de accionamiento basado en tendones o cables de activación, para un instrumento médico adecuado para someterse a miniaturización extrema, sin comprometer su precisión o fiabilidad en el uso.

Por tanto, se percibe la necesidad de proporcionar un tendón, o cable de activación, para un instrumento médico con características que lo hagan adecuado para miniaturización extrema sin comprometer su resistencia o fiabilidad en uso. Además, se percibe la necesidad de proporcionar un tendón para un instrumento médico que sea adecuado para deslizarse sobre al menos una porción de dicho instrumento con rendimiento mejorado en lo que se refiere a la fricción con respecto a las soluciones conocidas. Además, se percibe la necesidad de proporcionar un tendón para un instrumento médico destinado exclusivamente a trabajar bajo una carga de tracción aplicada en sus puntos de extremo, sin comprender soluciones que puedan dar como resultado desviar la trayectoria del tendón, lo que disminuiría su resistencia. Además, se percibe la necesidad de proporcionar un tendón para un instrumento médico, así como un método para reemplazar el tendón, que sea adecuado para aumentar la vida útil del instrumento médico, con respecto a las soluciones conocidas, sin comprometer su rendimiento en lo que se refiere a la esterilidad y fiabilidad.

Se percibe la necesidad de miniaturizar instrumentos médicos.

Se percibe la necesidad de reducir las dimensiones conocidas de los instrumentos médicos.

Por ejemplo, el documento WO-2014-151952-A1 muestra un instrumento médico que comprende una pluralidad de elementos de conexión que forman un dispositivo articulado, teniendo dicho instrumento médico cables de activación que se enrollan alrededor de una pluralidad de poleas soportadas de manera rotatoria en un árbol proporcionado en voladizo en los elementos de conexión del instrumento médico. Esta solución se caracteriza por un alto número de partes, y la disposición de dichas poleas proporcionadas en dichos árboles fuerza a mecanizar dicho árbol para resistir las tensiones que surgen a partir del uso del instrumento médico, por tanto, esta solución resulta inadecuada para la miniaturización, de hecho, este dispositivo no podría medir menos de 10 milímetros de diámetro. Soluciones similares se muestran, por ejemplo, en los documentos US-6676684-A, US-2009-0112230-

A y US-2003-135204-A1.

Por tanto, se percibe la necesidad de reducir el número de partes que forman el instrumento médico.

5 Por ejemplo, el documento WO-03-001986-A1 muestra un instrumento médico que comprende una pluralidad de elementos de conexión en forma de disco que forman un dispositivo articulado, en el que cada uno de dichos elementos de conexión comprende una pluralidad de orificios para guiar los cables de activación. Por tanto, esta solución no es adecuada para la miniaturización, ya que es altamente insatisfactoria al realizar orificios micrométricos en tales elementos de conexión, y al mismo tiempo, no es satisfactorio proporcionar cables de  
10 activación que se deslicen dentro de tales orificios sin dañarlos.

Por tanto, se percibe la necesidad de obtener un guiado preciso de los cables de activación sin proporcionar orificios micrométricos en los elementos de conexión y al mismo tiempo reducir el número de partes que forman el instrumento médico.

15 Por ejemplo, el documento US-2008-177285-A1 da a conocer un instrumento médico que comprende una pluralidad de elementos de conexión, en el que algunos elementos de conexión comprenden dos pasadores que sobresalen adecuados para guiar la desviación de los cables de activación. Aunque satisfactoria desde algunos puntos de vista, tal solución también es inadecuada para la miniaturización, ya que la dimensión de los pasadores  
20 que sobresalen no puede reducirse sin comprometer la integridad de los elementos de conexión que componen el instrumento médico. Por tanto, se percibe la necesidad de proporcionar un instrumento médico miniaturizado, que tenga una pluralidad de elementos de conexión que actúen por medio de cables de activación, sin comprometer la resistencia estructural y, por tanto, la seguridad cuando está en uso, del instrumento médico.

## 25 Solución

Uno de los objetivos de la invención descrita en el presente documento es superar las limitaciones de las soluciones conocidas descritas anteriormente y proporcionar una solución a las necesidades mencionadas con referencia al estado de la técnica.

30 Este y otros objetivos se lograrán mediante un instrumento médico según la reivindicación **1**, así como mediante un conjunto quirúrgico robótico según la reivindicación **18**.

Algunas formas de realizaciones preferidas son el objeto de reivindicaciones dependientes.

## 35 Figuras

Características y ventajas adicionales de la invención aparecerán a partir de la descripción divulgada a continuación de realizaciones preferidas, que se facilitan como ejemplos y no pretenden ser limitativas, que hace  
40 referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- La figura 1A es una vista en perspectiva, que muestra el conjunto robótico quirúrgico según una realización;
- la figura 1B es una vista en perspectiva, que muestra el conjunto robótico quirúrgico según una realización;
- 45 - la figura 1C es una vista en perspectiva, que muestra un conjunto robótico quirúrgico según una realización;
- la figura 2A es una vista en perspectiva, que muestra un conjunto robótico quirúrgico asociado con otros elementos del quirófano;
- 50 - la figura 2B es una vista frontal, que muestra un conjunto robótico quirúrgico según una realización asociado con otros elementos del quirófano;
- la figura 3 es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un par de dispositivos articulados de un instrumento médico según una realización;
- 55 - la figura 4A es una vista desde arriba, que muestra una porción de un conjunto robótico quirúrgico según una realización asociada con otros elementos del quirófano y un paciente;
- 60 - la figura 4B es una vista desde arriba, que muestra una porción de un conjunto robótico quirúrgico según una realización asociada con otros elementos del quirófano y un paciente;
- la figura 5 es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico quirúrgico según una realización asociada con otros elementos del quirófano y un paciente;
- 65 - la figura 6 es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico quirúrgico asociado con

otros elementos del quirófano, el cirujano y un paciente;

- la figura 7 es una vista en perspectiva, que muestra un dispositivo de control;

5 - la figura 8 es una vista en perspectiva, que muestra un brazo de macroposicionamiento;

- la figura 9A es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico según una realización;

- la figura 9B es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico según una realización;

10 - la figura 9C es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico según una realización, asociado con un microscopio;

15 - la figura 9D es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico según una realización, asociado con un endoscopio;

- la figura 9E es una vista ampliada del detalle indicado por la flecha E-E de la figura 9C;

20 - la figura 10 es una vista en perspectiva, que muestra una porción de un conjunto robótico que comprende un instrumento médico, según una realización;

- la figura 11 es una vista en perspectiva, que muestra un instrumento médico según una realización;

25 - la figura 12 es una vista en perspectiva, y una representación de partes independientes, que muestra un instrumento médico según una realización;

- las figuras 13A y 13B muestran, en una vista en perspectiva, porciones de un sistema de accionamiento;

- la figura 14A es una vista en sección esquemática de una porción de un sistema de accionamiento;

30 - la figura 14B es una vista en sección esquemática de una porción de un sistema de accionamiento;

- la figura 15A es una vista en perspectiva que muestra una porción de un instrumento médico según una realización que comprende un dispositivo articulado;

35 - la figura 15B es una vista en perspectiva que muestra una porción de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según una realización;

40 - la figura 15C es un esquema en vista en perspectiva que muestra una porción de un instrumento médico según una realización;

- la figura 15D es un esquema en vista en perspectiva que muestra una porción de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según una realización;

45 - la figura 16 es un dibujo esquemático, visto desde arriba y con partes parcialmente transparentes, que muestra una trayectoria de tendón de dos tendones en una porción de un instrumento médico según una realización;

- la figura 17 es una vista en perspectiva de una porción de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según una realización;

50 - las figuras 18 a 20 son vistas en perspectiva con partes aisladas de algunas realizaciones de una porción de un dispositivo articulado de un instrumento médico;

55 - la figura 21 muestra una porción de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según una realización;

- las figuras 22 a 24 muestran varias posiciones de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según algunas realizaciones;

60 - las figuras 25 a 27 muestran varias realizaciones de una herramienta terminal de un instrumento médico;

- las figuras 28 a 30 muestran vistas en perspectiva de detalles de un tendón de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según algunas realizaciones;

65 - las figuras 31 a 36 son esquemas, que muestran una trayectoria del tendón en un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado según algunas realizaciones;

- la figura 37 es un esquema en vista en perspectiva, que muestra un accesorio de mecanizado;

- la figura 38 es un esquema, que muestra el perfil de un corte de mecanizado;

- la figura 39 es un esquema en perspectiva, que muestra una fase de un método de fabricación de un instrumento médico según una realización;

- la figura 40A es una vista en planta, que muestra un detalle de un accesorio de mecanizado;

- la figura 40B es una vista en perspectiva, que muestra un detalle de un accesorio de mecanizado;

- la figura 41 es un esquema en vista en perspectiva, que muestra una fase de un método de fabricación de un instrumento médico según una realización;

- la figura 42 es una vista frontal de un accesorio de mecanizado.

### Descripción de realizaciones preferidas

Según una realización, el término "tendón", o "cable de activación", se refiere a un elemento que presenta una extensión predominantemente longitudinal y es adecuado para trabajar bajo cargas de tracción aplicadas en sus puntos de extremo. Según una realización, la expresión "tendón opuesto" o "cable de activación opuesto" se refiere a un tendón adicional adecuado para trabajar de manera antagonista con respecto a dicho tendón. Según una realización, en las figuras adjuntas, dicho tendón se indicará generalmente con la referencia numérica "90" y dicho tendón opuesto se indicará con la referencia numérica aumentada en cien, es decir, "190". No obstante, en las figuras en las que la distinción entre dicho tendón y dicho tendón opuesto es irrelevante, dicho tendón y dicho tendón opuesto se indicarán ambos con la referencia numérica 90. Según una realización, el concepto de "opuesto" se extiende a múltiples elementos y/o partes de elementos, tal como se ha mencionado para dicho "tendón" anterior. Según una realización, los tendones comprendidos en un primer par de tendones se indicarán con las referencias "90, 190", y los tendones que pertenecen a un segundo par de tendones se indicarán con las referencias "191, 192".

Según una realización, los términos "maestro-esclavo", "maestro" y "esclavo" se refieren al sistema conocido de teleoperación.

Según una realización, la expresión "herramienta terminal" se refiere a una porción adecuada para realizar una tarea asignada, tal como, por ejemplo, formar la interfaz con al menos una parte del paciente. Por ejemplo, en un sistema de teleoperación del tipo maestro-esclavo, dicha herramienta terminal, o porción terminal, o elemento terminal, es al menos una porción de un "efector de extremo".

Según una realización, la expresión "dispositivo con juntas o articulado" se refiere a una articulación de muñeca, una articulación de codo o una articulación de hombro de una estructura robótica o mecatrónica, dicho de otro modo, un conjunto interconectado de elementos y articulaciones adecuados para soportar y/u orientar y/o posicionar y/o influir en la posición de dicha herramienta terminal.

Según una realización, los elementos de un dispositivo con juntas o articulado se indicarán mediante la anotación progresiva "primer elemento", "segundo elemento", y así sucesivamente, para indicar su posición dentro de la cadena cinemática, en la que el "primer elemento" indica el elemento más proximal; dicho de otro modo, "primer elemento" indica el elemento más alejado del órgano terminal. Según una realización, los elementos del dispositivo articulado se indicarán con los términos "elemento de muñeca", "elemento de codo" o "elemento terminal" para indicar la función ejercida por dichos elementos. Por ejemplo, el mismo elemento podría ser simultáneamente un "segundo elemento" y un "elemento de muñeca".

Según una realización, la expresión "volumen de trabajo", o "espacio de trabajo", o "campo de trabajo", o "volumen de espacio de trabajo" se refiere al conjunto de posiciones cartesianas accesibles a la porción terminal de un dispositivo con juntas o articulado. Según una realización, dicho volumen es de una forma sustancialmente de paralelepípedo. Según una realización, dicho volumen de trabajo es de una forma sustancialmente cilíndrica.

Según una realización, el término "macroposicionamiento" se refiere a una operación inicial de posicionamiento de al menos una porción del instrumento médico desde cualquier posición a una posición de trabajo dentro de o adyacente al campo quirúrgico; dicho de otro modo, "macroposicionamiento" se refiere a la operación de hacer que el volumen de trabajo coincida con el campo quirúrgico.

Según una realización, el término "microposicionamiento" se refiere a una operación de posicionamiento de al menos una porción de un instrumento médico de una manera más fina que el "macroposicionamiento". Según una realización, el microposicionamiento tiene lugar en un espacio más limitado, en tiempo real y bajo el control directo

del dispositivo de control (maestro).

Según una realización, el prefijo "micro-", antes de un determinado objeto, indica que dicho objeto está destinado principalmente, pero no exclusivamente, a operar en una escala submilimétrica.

5 Según una realización, la expresión "articulación rotatoria" se refiere a una unión entre dos elementos adecuada para permitir un momento de rotación relativo entre dichos dos elementos alrededor de un eje de movimiento de articulación.

10 Según una realización, la expresión "instrumento médico" se refiere a un instrumento adecuado para utilizarse durante al menos una fase de una terapia médica quirúrgica y/o cosmética. Según una realización, la expresión "instrumento quirúrgico" se refiere a un instrumento médico específicamente adecuado para usarse generalmente en al menos una fase de una terapia quirúrgica. Según una realización, la expresión "instrumento microquirúrgico" o "microinstrumento quirúrgico" se refiere a un instrumento médico específicamente adecuado para usarse en al  
15 menos una fase de una terapia microquirúrgica.

Según una realización, el término "armazón" se refiere a una porción de un instrumento médico adecuado principalmente para tener una función de sujeción estructural. Según una realización, el "armazón" puede comprender al menos un árbol, que es un elemento largo rígido o flexible que presenta una extensión principalmente longitudinal. Según una realización, dicho árbol, por ejemplo, puede ser de forma hueca y/o tubular.  
20

Según una realización, la expresión "superficie reglada" se refiere a una superficie lograda por la unión de múltiples líneas rectas. Según una realización, si no se indica explícitamente lo contrario, la expresión "superficie reglada" se refiere a una superficie lograda por la unión de múltiples líneas rectas sustancialmente paralelas entre sí, o dicho de otro modo, una superficie reglada de generatrices sustancialmente paralelas.  
25

A continuación, cuando se hace referencia a un dispositivo, o un instrumento, o un conjunto, o un método, para microcirugía, se entiende un dispositivo, conjunto o método, adecuado para aplicarse en microcirugía, es decir, con el uso simultáneo de medios de ampliación óptica tales como lupas o microscopios, pero también adecuado para aplicaciones en otras terapias quirúrgicas, tales como cirugía general, cirugía laparoscópica o cirugía endoscópica.  
30

Según una realización, para no sobrecargar el texto o las figuras, cuando se hace referencia a un "primer" o "segundo" elemento (por ejemplo, un "primer dispositivo de microposicionamiento" y un "segundo dispositivo de microposicionamiento"), se indicarán con la misma referencia numérica, siempre que sean funcionalmente indistinguibles (por ejemplo, "41" anteriormente); a veces, debido a la necesidad de claridad, la referencia numérica se especificará incrementada en cien (por ejemplo, "141" anteriormente y "241"); por tanto, por ejemplo, la referencia numérica "41" indicará tanto dicho "primer dispositivo de microposicionamiento" como dicho "segundo dispositivo de microposicionamiento", así como un "tercer" dispositivo de microposicionamiento. Mientras que cuando se usa la referencia específica, por ejemplo "141", se referirá al elemento específico, en este caso el "primer dispositivo de microposicionamiento". De manera análoga, para no sobrecargar el texto excesivamente, se omitirá la referencia numérica relativa a un elemento "opuesto", si un elemento es funcionalmente indistinguible de su opuesto.  
35  
40

45 Según una realización general, un instrumento médico 60, 160, 260, 360 comprende al menos un armazón 57 y al menos un dispositivo articulado 70, 170, 270. Por ejemplo, dicho dispositivo articulado es un efector de extremo quirúrgico.

Dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 comprende al menos un primer elemento de articulación 71, o primer elemento de conexión 71, adaptado para conectarse al menos a una porción de dicho armazón 57, al menos un segundo elemento de articulación 72, o segundo elemento de conexión 72, en el que dicho primer elemento de articulación 71 está conectado por medio de una articulación rotatoria 171 a dicho segundo elemento de articulación 72, y al menos un tercer elemento de articulación 73, adaptado para conectarse por medio de una junta rotatoria 171 al menos a dicho segundo elemento de articulación 72.  
50  
55

Dicho instrumento médico 60, 160, 260, 360 comprende además al menos dos pares de tendones 90, 190, 191, 192, en el que ambos tendones de un par de tendones están conectados con el mismo elemento de articulación, en el que al menos un par de tendones 90, 190 está adaptado para mover dicho tercer elemento 73 con respecto a dicho segundo elemento 72, tirando de él. Dichos tendones actúan como cables de activación adecuados para trabajar solo en tracción.  
60

Cada uno de dicho primer elemento de articulación 71, dicho segundo elemento de articulación 72 y dicho tercer elemento de articulación 73 comprende un cuerpo estructural principal, en el que dicho cuerpo estructural principal comprende en una única pieza una o más superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180. De esta manera, dicha una o más superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180 forman parte de un cuerpo único que tiene resistencia estructural. De esta manera, se evita proporcionar poleas montadas de manera rotatoria en árboles, lo  
65

que permite miniaturizar los elementos de articulación.

- La totalidad de dichas superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180 de dicho cuerpo estructural principal definen con sus prolongaciones al menos parcialmente un solo volumen convexo para cada elemento de articulación. Dicho de otro modo, las prolongaciones de dichas superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180 de un solo cuerpo estructural principal definen, junto con dichas superficies de contacto 40, 80, 86, 140, 180, un volumen convexo. Según una realización, la expresión "volumen convexo" significa que dado un par de puntos elegidos dentro de dicho volumen convexo, la conjunción recta más corta entre ellos está dentro del volumen convexo en su totalidad. Esto evita proporcionar ranuras o canales en poleas para guiar los tendones, permitiendo miniaturizar las dimensiones de los cuerpos estructurales principales y del dispositivo articulado. Según una realización, la totalidad de dichas superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180 de dicho cuerpo estructural principal definen con sus prolongaciones la cubierta convexa de dicho cuerpo estructural principal.
- Cada una de dichas superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180 es una superficie reglada formada por una pluralidad de porciones de línea recta todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un eje de movimiento de articulación P-P, Y-Y. de este modo, cada superficie convexa es sustancialmente paralela a un eje de movimiento de articulación.
- Cada tendón de dichos dos pares de tendones 90, 190, 191, 192 comprende un primer punto de extremo de tendón 91, asociada a dicho armazón 57, un segundo punto de extremo de tendón 92, sujeto a dicho segundo elemento 72 o a dicho tercer elemento 73, y una porción principal, que se extiende entre dicho primer punto de extremo 91 y dicho segundo punto de extremo 92 de tendón.
- Dicha porción principal de cada tendón de dichos al menos dos pares de tendones 90, 190, 191, 192 está en contacto con dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 solo en dichas superficies de contacto convexas 40, 80, 86, 140, 180. De este modo, los tendones están en contacto solo con superficies sustancialmente paralelas al eje de movimiento de articulación. Eso evita la provisión de canales o ranuras para guiar los tendones, permitiendo miniaturizar el dispositivo articulado y los tendones.
- Ventajosamente, al menos dos tendones de dichos al menos dos pares de tendones 90, 190, 191, 192 están en contacto con una misma superficie de contacto convexa 40, 80, 86, 140, 180.
- Según una realización, al menos dos tendones de dichos al menos dos pares de tendones 90, 190, 191, 192 están en contacto con una misma superficie de contacto convexa 40, 80, 86, 140, 180 y son paralelos entre sí. Según una realización, los dos tendones de dicho par de tendones son paralelos entre sí a lo largo de una longitud de su trayectoria de tendón en la que ambos están en contacto con dicha misma superficie de contacto convexa 40, 80, 140, 180 de dicho primer elemento de articulación 71 y dicho segundo elemento de articulación 72.
- Según una realización, dicho par de tendones conectados con un mismo elemento de articulación está en contacto con una misma superficie de contacto convexa 40, 80, 86, 140, 180.
- Según una realización, dicho cuerpo estructural principal es un cuerpo rígido.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60, 160, 260, 360 comprende un par adicional de tendones para comprender al menos un tercer par de tendones.
- Según una realización, dicha superficie de contacto convexa 40, 80, 86, 140, 180 es una superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 sobre la que se desliza sustancialmente dicho tendón. Alternativamente, dicha superficie de contacto convexa 40, 80, 86, 140, 180 es la superficie de enrollamiento 86 sobre la que se enrolla sustancialmente dicho tendón sin deslizamiento.
- Según una realización, la proyección de la trayectoria de tendón T-T de un primer tendón de dichos dos pares de tendones 90, 190, 191, 192 y la proyección de la trayectoria de tendón T-T de un segundo tendón de los mismos dichos pares de tendones 90, 190 en un plano ortogonal a la dirección de dicho eje de movimiento de articulación 171 se cruzan entre sí.
- Según una realización general, un conjunto de cirugía robótica 100 comprende al menos un instrumento médico 60, 160, 260, 360 según una cualquiera de las realizaciones tal como se han descrito anteriormente.
- Según una realización, un conjunto robótico quirúrgico 100 comprende:
- al menos un dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241, 341 que tiene múltiples grados de libertad al menos de traslación.
  - al menos un instrumento médico 60, que comprende un dispositivo con juntas o articulado 70, que tiene múltiples grados de libertad de rotación.

Dicho instrumento médico 60 está conectado en serie, a dicho dispositivo de microposicionamiento 41 de manera que dicho dispositivo articulado 70 alcanza una posición predefinida en un volumen de trabajo 7 con su porción terminal 77.

5

Según una realización, dicho conjunto robótico 100 comprende un soporte 104 y al menos un brazo de macroposicionamiento 30, conectado a dicho soporte 104, con respecto al cual dicho brazo de macroposicionamiento 30 proporciona múltiples grados de libertad de macroposicionamiento.

10 Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 y 341 está conectado en cascada, es decir en serie, a dicho brazo de macroposicionamiento 30.

La provisión de una cadena cinemática que comprende un brazo de macroposicionamiento 30 conectado en serie al menos a un dispositivo de microposicionamiento 41 que comprende múltiples grados de libertad al menos en traslación, conectado en serie con un instrumento médico 60, permite desacoplar los movimientos de posicionamiento en traslación de la porción terminal 77 de dicho instrumento médico 60 dentro de dicho volumen de trabajo 7, y los movimientos de posicionamiento en orientación de la porción terminal 77 de dicho instrumento médico 60 dentro de dicho volumen de trabajo 7.

15

20 Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 comprende grados de libertad exclusivamente de traslación.

Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 es un mecanismo cinemático cartesiano, adecuado para determinar movimientos de traslación a lo largo de al menos dos direcciones mutuamente ortogonales. Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 es un mecanismo cinemático cartesiano, adecuado para determinar movimientos de traslación a lo largo de al menos tres direcciones mutuamente ortogonales.

25

Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 comprende un mecanismo cinemático cartesiano X-Y-Z y un grado de libertad de rotación adicional, alrededor de un eje de rotación que coincide sustancialmente con la dirección longitudinal en la que se desarrolla el instrumento médico.

30

Según una realización, dicho al menos un instrumento médico 60 que comprende un dispositivo articulado 70, tiene múltiples grados de libertad que son exclusivamente de rotación.

35

Según una realización, un conjunto quirúrgico robótico 100 comprende un dispositivo de microposicionamiento 41 adicional, de manera que comprende al menos un primer dispositivo de microposicionamiento 141 y un segundo dispositivo de microposicionamiento 241.

40 Según una realización, dichos al menos dos dispositivos de microposicionamiento 141, 241 están colocados paralelos entre sí. Según una realización, dichos al menos dos dispositivos de microposicionamiento están colocados uno al lado del otro para mover un instrumento médico a la derecha y un instrumento médico a la izquierda.

45 Según una realización, un conjunto robótico quirúrgico 100 comprende un instrumento médico 60 adicional tal como para comprender al menos un primer instrumento médico 160, conectado en cascada, o en serie, a dicho primer dispositivo de microposicionamiento 141 y al menos un segundo instrumento médico 260, conectado en cascada, o en serie, a dicho segundo dispositivo de microposicionamiento 241.

50 Según una realización, dicho primer instrumento médico 160 comprende un dispositivo articulado 170 y dicho segundo instrumento médico comprende un segundo dispositivo articulado 270.

Según una realización, dicho primer dispositivo de microposicionamiento 141 y dicho segundo dispositivo de microposicionamiento 241 están colocados de tal manera que las porciones terminales 77 respectivas de cada dispositivo articulado 70 alcanzan volúmenes de trabajo 7 respectivos que deben superponerse al menos parcialmente.

55

La provisión de volúmenes de trabajo 7 que se superponen al menos parcialmente permite una operación en contexto usando al menos dos instrumentos médicos en una sola porción del paciente.

60

Según una realización, dichos al menos dos instrumentos médicos 160, 260 están colocados paralelos entre sí.

Según una realización, dichos volúmenes de trabajo 7 respectivos coinciden sustancialmente.

65 Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende al menos un elemento de soporte 38, que comprende al menos una característica de unión 39, adecuada para sostener al menos una porción de al

menos un dispositivo de microposicionamiento 41.

Según una realización, dicho elemento de soporte 38 es adecuado para portar/recibir simultáneamente al menos una porción de dicho primer dispositivo de microposicionamiento 141 y al menos una porción de dicho segundo dispositivo de microposicionamiento 241.

Según una realización, dicho elemento de soporte 38 comprende al menos otra característica de unión 39, de manera que comprende al menos tres características de unión 39, siendo dicha característica de unión 39 adicional adecuada para sostener al menos una porción de un dispositivo de microposicionamiento 41 adicional.

Según una realización, dicho conjunto robótico 100 comprende al menos tres dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241, 341.

Según una realización, dicho conjunto robótico 100 comprende al menos tres instrumentos médicos 60, 160, 260, 360.

Según una realización, dichos tres instrumentos médicos 60, 160, 260, 360 están posicionados en cascada, o en serie, con un dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241, 341 respectivo, de dichos al menos tres dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241, 341.

Según una realización, dicho primer dispositivo de microposicionamiento 141, dicho segundo dispositivo de microposicionamiento 241 y dicho tercer dispositivo de microposicionamiento 341 están ubicados de manera que las posiciones terminales 77 de cada dispositivo articulado 70 alcancen volúmenes de trabajo respectivos que se superponen al menos parcialmente.

Según una realización, dicho elemento de soporte 38 comprende al menos tres características de unión 39, cada una adecuada para sostener al menos una porción de un dispositivo de microposicionamiento 41.

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 tiene tres grados de libertad.

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 tiene cinco grados de libertad, y en el que dichos cinco grados de libertad son tanto de rotación como de traslación.

Según una realización, dichos cinco grados de libertad de dicho brazo de macroposicionamiento 30 son un movimiento de traslación que es sustancialmente vertical, tres movimientos que son sustancialmente de rotación alrededor de dichos ejes de movimiento primero, segundo y tercero del brazo a-a, b-b, c-c y al menos un movimiento de rotación alrededor de dicho cuarto eje de movimiento del brazo d-d.

Según una realización, dichos ejes de movimiento del brazo pueden ser fijos o móviles con respecto a un sistema de referencia común.

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 es un mecanismo pasivo. Dicho de otro modo, según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 está destinado a moverse manualmente por un cirujano.

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 tiene seis grados de libertad, de los cuales al menos uno de rotación. La provisión de esta característica permite la formación de un robot antropomórfico activo, tal como se muestra en un ejemplo no limitativo en la figura 1C. Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 es un robot antropomórfico activo. Dicho de otro modo, según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento se mueve mediante un sistema motorizado que comprende un motor paso a paso o un servomotor.

Según una realización alternativa, dicho brazo de macroposicionamiento 30 es un robot antropomórfico pasivo.

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 tiene un radio de extensión de movimiento de 650 mm.

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende:

- un primer elemento de brazo 31, conectado a dicho soporte 104 y móvil con respecto a dicho soporte 104 a lo largo de una guía de deslizamiento lineal 36,

- un segundo elemento de brazo 32, conectado a dicho primer elemento de brazo 31 alrededor de un primer eje de movimiento a-a.

La provisión de que dicho primer elemento del brazo 31 es móvil con respecto a dicho soporte 104 a lo largo de

una guía de deslizamiento lineal 36, permite que un movimiento hacia arriba y hacia abajo se acerque o se aleje del campo quirúrgico.

5 Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende además un tercer elemento de brazo 33 conectado a un segundo elemento de brazo 32 y móvil con respecto a dicho segundo elemento de brazo 32 alrededor de un segundo eje de movimiento del brazo b-b.

10 Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende además un cuarto elemento de brazo 34 conectado a dicho tercer elemento de brazo 33 y móvil con respecto a dicho tercer elemento de brazo 33 alrededor de un tercer eje de movimiento del brazo c-c.

15 Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende además al menos una tuerca de disco rotatoria 43, que es móvil alrededor de un cuarto eje de movimiento del brazo d-d, y es adecuado para manipularse para mover dicho elemento de soporte 38 alrededor de dicho cuarto eje de movimiento del brazo d-d.

20 Según una realización, dichos cinco grados de libertad de dicho brazo de macroposicionamiento 30 son un movimiento de traslación que es sustancialmente vertical, tres movimientos sustancialmente rotatorios alrededor de dichos ejes de movimiento primero, segundo y tercero del brazo a-a, b-b, c-c y al menos un movimiento de rotación alrededor de dicho cuarto eje de movimiento del brazo d-d.

Según una realización, dicha tuerca de disco rotatoria 43 comprende un mecanismo de movimiento discontinuo o de clic que define desplazamientos preestablecidos.

25 Según una realización, hay una reducción en la transmisión del movimiento de rotación entre dicha tuerca de disco rotatoria 43 y dicho elemento de soporte 38. Dicho de otro modo, los grandes movimientos angulares de dicha tuerca de disco rotatoria corresponden a pequeños movimientos angulares de dicho elemento de soporte 38, de manera similar a un objetivo de una cámara.

30 La provisión de dicho elemento de soporte 38 para que sea móvil mediante un movimiento de rotación alrededor de dicho cuarto eje de movimiento del brazo d-d permite el posicionamiento de dicha porción terminal 77 de dicho al menos un instrumento médico 60, asociado a dicho brazo de macroposicionamiento 30, en la proximidad de una porción predeterminada del paciente 201 con un ángulo favorable entre el árbol del instrumento y el plano anatómico, más pronunciado o menos profundo para facilitar la sutura en diferentes planos anatómicos.

35 Según una realización, dicha tuerca de disco rotatoria 43 comprende al menos un asidero fresado. Esto proporciona un control más fino.

40 Según una realización, dicho primer eje de movimiento del brazo a-a, dicho segundo eje de movimiento del brazo b-b y dicho tercer eje de movimiento del brazo c-c son sustancialmente paralelos entre sí.

Según una realización, dicho cuarto eje de movimiento del brazo d-d es sustancialmente ortogonal a dicho tercer eje de movimiento del brazo c-c.

45 Según una realización, un pomo manual 37 que mueve un mecanismo de cremallera y piñón controla el movimiento de dicho primer elemento del brazo 31 en dicha guía de deslizamiento lineal 36 mediante su movimiento de rotación.

50 Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende al menos un sistema de frenado, adecuado para bloquear el movimiento relativo de al menos dos de dicho soporte 104, dicho primer elemento del brazo 31, dicho segundo elemento del brazo 32, dicho tercer elemento del brazo 33, dicho cuarto elemento del brazo 34.

Según una realización, dicho sistema de frenado comprende al menos un dispositivo de freno electromagnético.

55 Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende al menos un botón de liberación 35, o botón de desbloqueo, que puede conmutarse entre una posición de freno (o bloqueo) y una posición de liberación (o desbloqueo).

Según una realización, dicho sistema de frenado puede liberarse mediante un botón de liberación 35.

60 Según una realización, dicho botón de liberación 35 puede conmutarse entre una posición de freno y una posición de liberación.

65 Según una realización, dicho botón de liberación 35, cuando está en la posición de liberación, permite que el cirujano mueva, llevándolo alrededor, al menos uno de los grados de libertad de dicho brazo de macroposicionamiento 30.

- Según una realización, cuando está en su posición de liberación, dicho botón de liberación 35 puede liberar el sistema de frenado, permitiendo el movimiento relativo simultáneo de al menos dos de dicho soporte 104 y dicho primer elemento del brazo 31, dicho segundo elemento del brazo 32, dicho tercer elemento del brazo 33 y dicho cuarto elemento del brazo 34.
- Según una realización, cuando está en la posición de liberación, dicho botón de liberación 35 es adecuado para inactivar dicho sistema de parada, permitiendo el movimiento relativo simultáneo de dicho primer elemento del brazo 31, dicho segundo elemento del brazo 32, dicho tercer elemento del brazo 33 y dicho cuarto elemento del brazo 34.
- Según una realización, dicho botón de liberación 35 es adecuado para trabajar por presión, cuando se presiona está en dicha posición de liberación, y cuando está levantado o no presionado está en dicha posición de parada.
- Según una realización, dicho conjunto robótico 100 comprende:
- dicho brazo de macroposicionamiento 30, móvil pasivamente liberando dicho sistema de liberación,
  - dicho al menos un dispositivo de microposicionamiento 41 y dicho al menos un dispositivo articulado 70, controlados activamente por teleoperación de tipo maestro-esclavo, a partir del movimiento de dicho instrumento de control 21 realizado por el cirujano 200.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 tiene tres grados de libertad de traslación.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 tiene cuatro grados de libertad, de los cuales tres son de traslación.
- Según una realización, cada dispositivo de microposicionamiento 41 comprende una articulación de rótula 173, estando dicha articulación de rótula 173 posicionada en cascada, o en serie, aguas arriba de cada dispositivo de microposicionamiento 41.
- Según una realización, mostrada por ejemplo en la figura 2B, cada dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 comprende una articulación de rótula 173, adecuada para cambiar la orientación del instrumento médico 60, 160, 260 moviendo el dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241, desde su base, es decir la porción más proximal. Según una realización, dicha articulación de rótula 173 es una junta universal que puede bloquearse.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 comprende una primera corredera motorizada 51, móvil a lo largo de un primer carril de deslizamiento 54 a lo largo de una primera dirección de deslizamiento f-f.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 comprende una segunda corredera motorizada 52, móvil a lo largo de un segundo carril de deslizamiento 55 a lo largo de una segunda dirección de deslizamiento g-g.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 comprende una tercera corredera motorizada 53, móvil a lo largo de un tercer carril de deslizamiento 56 a lo largo de una tercera dirección de deslizamiento h-h.
- Según una realización, dicha primera dirección de deslizamiento f-f es sustancialmente rectilínea.
- Según una realización, dicha segunda dirección de deslizamiento g-g es sustancialmente rectilínea.
- Según una realización, dicha segunda dirección de deslizamiento g-g es sustancialmente ortogonal con respecto a dicha primera dirección de deslizamiento f-f.
- Según una realización, dicha tercera dirección de deslizamiento h-h es sustancialmente rectilínea.
- Según una realización, dicha tercera dirección de deslizamiento h-h es sustancialmente ortogonal con respecto tanto a dicha primera dirección de deslizamiento f-f como a dicha segunda dirección de deslizamiento g-g. Según una realización, la tercera dirección de deslizamiento h-h está alineada con el árbol 65.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 es adecuado para trabajar con un motor paso a paso o un servomotor. Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 es adecuado para trabajar con un motor piezoeléctrico o un motor ultrasónico.

- Según una realización, al menos una corredera motorizada 51, 52, 53 de dichas correderas motorizadas primera, segunda y tercera, está conectada a un motor a través de un mecanismo de transmisión que comprende un tornillo de avance que rota con respecto al carril de deslizamiento 54, 55, 56 respectivo y se sostiene mediante una tuerca. Según una realización, dicha tuerca es solidaria con al menos una corredera motorizada 51, 52, 53 de dichas correderas motorizadas primera, segunda y tercera.
- La provisión de un mecanismo de transmisión que comprende un acoplamiento de un tipo de tuerca-tornillo de avance o de bolas precargado confiere un control de movimiento mejorado a la corredera motorizada, así como una holgura disminuida.
- Según una realización, al menos una corredera motorizada 51, 52, 53 de dichas correderas motorizadas primera, segunda, tercera, está conectada a un motor mediante un mecanismo de transmisión que comprende una correa dentada.
- Según una realización, dichas correderas motorizadas 51, 52, 53 son microcorrederas de precisión que tienen una carrera de entre 1 cm y 10 cm, y que tienen precisión en el intervalo de 0,1 micrómetros y 25 micrómetros.
- Según una realización, dicho motor es un servomotor. Según una realización, dicho motor es un motor paso a paso.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende una articulación rotativa motorizada 46, adecuada para mover dicho instrumento médico 60 alrededor de un eje de rotación longitudinal r-r.
- Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 también comprende una articulación rotativa motorizada 46, adecuada para mover dicho instrumento médico 60 alrededor de un eje de rotación longitudinal r-r.
- Según una realización, dicho eje de rotación longitudinal r-r coincide sustancialmente con su eje longitudinal de desarrollo, o eje del instrumento X-X, o eje longitudinal del árbol X-X, de dicho instrumento médico 60.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende un dispositivo articulado 70 con dos grados de libertad de rotación. Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende un dispositivo articulado 70 con dos grados de libertad de rotación ortogonales entre sí para formar una muñeca articulada.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende un dispositivo articulado 70 con al menos tres grados de libertad. Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 tiene tres grados de libertad de rotación, de los cuales dos grados de libertad de rotación alrededor de ejes paralelos entre sí y un tercer grado de libertad de rotación alrededor de dicho eje de rotación longitudinal r-r.
- Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 tiene tres grados de libertad de rotación, siendo un primer grado de libertad de rotación, alrededor de un primer eje de rotación ortogonal al eje del instrumento X-X, un segundo grado de libertad de rotación paralelo al primer eje de rotación y un tercer grado de libertad de rotación ortogonal al segundo eje de rotación, de manera que dichos grados de libertad de rotación segundo y tercero están próximos entre sí y forman una subarticulación de la muñeca.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende un dispositivo articulado 70, que tiene un grado de libertad adicional en su porción terminal 77, permitiendo dicho grado de libertad adicional un movimiento de apertura y/o cierre de dicha porción terminal 77. Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 comprende un dispositivo terminal 77 en dicha porción distal, en que dicho dispositivo terminal 77 comprende dicho grado de libertad adicional de apertura y/o cierre. Por ejemplo, dicho grado de libertad adicional determina la apertura y/o el cierre de pinzas o de un instrumento de corte, tal como tijeras.
- Según una realización, dicho al menos un instrumento médico 60 está conectado de manera desmontable a dicho conjunto robótico 100.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende al menos un árbol 65, adecuado para conectar dicho almacén 57 con dicho dispositivo articulado 70.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende al menos un árbol 65 tal como para posicionar su dispositivo articulado 70 a una distancia predefinida de dicho dispositivo de microposicionamiento 41. Según una realización, dicho árbol 65 es adecuado para distanciar dicho dispositivo articulado 70 de dicho dispositivo de microposicionamiento 41 una distancia predefinida.
- Según una realización, dicha distancia predefinida es un múltiplo de la extensión longitudinal de dicho dispositivo articulado 70. Según una realización, dicha distancia predefinida es igual al menos a cinco veces la extensión longitudinal de dicho dispositivo articulado 70. Según una realización, dicha distancia predefinida es igual al menos

a veinticinco veces la extensión longitudinal de dicho dispositivo articulado 70. Según una realización, dicha distancia predefinida es igual a sustancialmente veinte veces la extensión longitudinal de dicho dispositivo articulado 70. Según una realización, dicha distancia predefinida se mide a lo largo de la dirección longitudinal del árbol X-X. Según una realización, dicha distancia predefinida es igual a sustancialmente cincuenta veces la extensión longitudinal de dicho dispositivo articulado 70.

La provisión de dicho árbol 65 que distancia dicho dispositivo de microposicionamiento 41 y dicho dispositivo articulado 70 permite la fabricación de dicho dispositivo de microposicionamiento 41, así como que dicho dispositivo articulado 70 sea de dimensiones que sean apropiadas para que cumpla sus funciones cuando está en condiciones de funcionamiento. Cuando dicho conjunto robótico 100 comprende una pluralidad de instrumentos médicos 60, 160, 260, 360, la provisión de dicho árbol 65 en cada instrumento médico 60, 160, 260, 360 que distancia los dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241, 341 respectivos de los dispositivos articulados asociados, permite que las porciones terminales 77 de cada dispositivo médico alcancen sus propios volúmenes de trabajo, al tiempo que mantiene su capacidad para moverse independientemente.

Según una realización, dicho árbol 65 es adecuado para conectarse a dicho armazón con dicho dispositivo terminal 77 a una distancia predefinida de dicho armazón 57.

Según una realización, dicho árbol 65 es rígido.

Según una realización, dicho árbol 65 tiene una extensión longitudinal de entre 30 mm y 250 mm, y preferiblemente entre 60 mm y 150 mm.

Según una realización, dicho árbol 65 tiene un orificio interno longitudinal. Según una realización, dicho árbol 65 tiene una forma tubular hueca.

Según una realización, dicho instrumento médico 60 está conectado directamente a una caja de motor 61 adecuada para alojar al menos un sistema de accionamiento de al menos dicho dispositivo articulado 70, de dicho instrumento médico 60. De este modo, la activación de dicho dispositivo articulado 70 se produce justo al lado de dicho instrumento médico 60.

Según una realización, un conjunto robótico 100 comprende al menos un dispositivo de control 20, adecuado para determinar el movimiento de al menos una porción de dicho instrumento médico 60, 160, 260, mediante un sistema de comunicación de tipo maestro-esclavo.

Según una realización, dicho conjunto comprende un dispositivo de control 20 adicional, de manera que comprende al menos dos dispositivos de entrada 20. Según una realización, dicho dispositivo de control 20 es adecuado para determinar el movimiento de dicho dispositivo articulado 70 de dicho instrumento médico 60. Según una realización, dicho dispositivo de control 20 es adecuado para determinar el movimiento de dicho dispositivo de microposicionamiento 41. La provisión de dicha característica permite que un movimiento de traslación de dicho instrumento de control 21 registrado por dicho dispositivo de detección 22 se asocie a un movimiento de traslación de dicho dispositivo terminal 77 dentro de su espacio de trabajo 7, 17.

Según una realización, dicho dispositivo de control 20 es adecuado para determinar el movimiento de dicho dispositivo de microposicionamiento 41 y dicho instrumento médico 60.

La provisión de esta característica permite mover al menos una porción de dicho dispositivo de microposicionamiento 41 y al menos una porción de dicho instrumento médico 60 por medio de dicho instrumento de control 21, tal como para determinar movimientos tanto de rotación como de traslación de dicho dispositivo terminal 77 en dicho volumen de trabajo 7.

Según una realización alternativa, dicho dispositivo de microposicionamiento 41 comprende una pluralidad de grados de libertad pasivos que pueden frenarse o bloquearse de otro modo. Según una realización, dicha pluralidad de grados de libertad se coloca inmediatamente aguas arriba y en serie con respecto a dicho dispositivo de microposicionamiento 41.

Según una realización, dicho conjunto robótico 100 es adecuado para actuar conjuntamente con un sistema de visión 103 que puede asociarse a dicho conjunto robótico 100.

Según una realización, dicho sistema de visión 103 es un microscopio 103.

La provisión de un microscopio 103 que puede asociarse a dicho conjunto robótico permite la readaptación con microscopios preexistentes, haciendo que dicho conjunto robótico 100 sea más versátil. Por ejemplo, dicho conjunto robótico 100 puede usarse de manera conjunta con microscopios que tienen una distancia de enfoque de entre 100 mm y 500 mm, dependiendo de la longitud focal de la lente objetivo usada. Además, permite reducir el volumen de barrido del conjunto robótico 100, durante la operación quirúrgica, dado que carece de tantas partes

como sea posible que requieran movimientos relativamente grandes durante el movimiento de la porción terminal del instrumento.

Según una realización, dicho microscopio 103 es un microscopio óptico 103.

5

Según una realización, dicho microscopio 103 es adecuado para enmarcar en su campo de visión dicha porción terminal 77 de dicho primer instrumento médico 160 y /o dicha porción terminal 77 de dicho segundo instrumento médico 260 y/o dicha porción terminal de dicho tercer instrumento médico 360.

10 Según una realización, dicho microscopio 103 es adecuado para enmarcar el volumen de trabajo 7.

Según una realización, al menos una cámara de vídeo 45 está conectada a dicho elemento de soporte 38.

15 Según una realización, dicha cámara de vídeo 45 es adecuada para enmarcar dicha porción terminal 77 de dicho primer instrumento médico 160 y dicha porción terminal 77 de dicho segundo instrumento médico 260.

Según una realización, dicho soporte 104 comprende al menos un elemento de visualización 111, adecuado para formar una interfaz de entrada de máquina.

20 Según una realización, dicho elemento de visualización 111 es adecuado para visualizar las imágenes adquiridas por dicha cámara de vídeo 45. Según una realización, dicho elemento de visualización 111 es adecuado para visualizar las imágenes adquiridas por una cámara estereoscópica.

25 Según una realización, dicha cámara de vídeo 45 es adecuada para actuar conjuntamente con dicho brazo de macroposicionamiento 30 para permitir el posicionamiento correcto de dicho al menos un instrumento médico 60. La provisión de esta característica facilita el proceso de posicionamiento de al menos una porción de dicho al menos un instrumento médico 60 dentro del volumen de trabajo 7.

30 Según una realización, dicho primer instrumento médico 160, dicho segundo instrumento médico 260 y dicho elemento de soporte 38 están dispuestos de tal manera que forman sustancialmente un triángulo. Tal provisión permite reproducir la misma triangulación existente entre los ojos y los brazos del cirujano por medio de dicho conjunto robótico 100.

35 Según una realización, dicho soporte 104 es al menos uno de: un carro móvil, una estructura de soporte de un microscopio, una capa de operaciones, una mesa de operaciones.

40 Según un aspecto de la invención, un dispositivo de control 20 para microcirugía para un conjunto robótico para microcirugía 100, en el que dicho dispositivo de control 20 es adecuado para formar al menos parcialmente la interfaz maestra de un par maestro-esclavo para un conjunto robótico para microcirugía 100, comprende:

al menos un instrumento de control 21, móvil en el espacio, de una forma y de un tamaño que le permite sostenerse y manejarse como un instrumento quirúrgico tradicional, es decir, un instrumento quirúrgico adecuado para operar directamente en al menos una porción de la anatomía del paciente 201,

45 al menos un dispositivo de detección 22, adecuado para detectar la posición de dicho instrumento de control 21 en al menos una porción del espacio.

Dicho instrumento de control 21 comprende al menos un sensor de posición 28, que actúa conjuntamente con dicho dispositivo de detección 22, para detectar al menos la posición de dicho instrumento de control 21.

50

Según una realización, dicho dispositivo de detección 22 genera un campo electromagnético tal como para detectar al menos la posición de dicho instrumento de control 21 detectando la posición de dicho al menos un sensor de posición 28. Según una realización, dicho dispositivo de detección 22 detecta al menos la posición de dicho instrumento de control 21 detectando la posición de dicho sensor de posición 28 midiendo al menos componentes de aceleraciones inerciales. Según una realización, dicho sensor de posición 28 comprende acelerómetros.

55

Según una realización, dicho dispositivo de detección 22 está posicionado en una estructura de base 67 de dicho dispositivo de control 20.

60 Según una realización, dicho instrumento de control 21 está conectado a dicho dispositivo de detección 22 mediante al menos un sistema de comunicación electromagnética.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 comprende al menos una articulación de pinzas 69, efectiva en una porción de punta 68 de dicho instrumento de control 21, tal como para permitir a dicha porción de punta 68 un movimiento de asimiento o de corte.

65

Según una realización, al menos un sensor de punta 29 mide un ángulo de apertura de dicha articulación de pinzas 69.

5 Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene una forma que reproduce sustancialmente la forma de un instrumento quirúrgico tradicional.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene la forma de pinzas quirúrgicas.

10 Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene la forma de un bisturí quirúrgico.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene la forma de un portaagujas quirúrgico.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene la forma de tijeras quirúrgicas.

15 Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene la forma de una cuchilla quirúrgica.

20 Según una realización, dicho dispositivo de control 20 comprende al menos un elemento de soporte 27 ergonómico para el cirujano, que comprende al menos una superficie de soporte 25 para el cirujano, adecuada para soportar al menos una porción del antebrazo del microcirujano 200, al menos cuando está condiciones de funcionamiento, tal como para proporcionar soporte ergonómico para el microcirujano 200. La provisión de una característica de este tipo permite una mayor comodidad del microcirujano, determinado una eficiencia de operación mejorada.

25 Según una realización, dicho elemento de soporte ergonómico 27 comprende al menos una porción realizada de material blando o espuma.

30 Según una realización, dicho instrumento de control 21 está conectado a dicho dispositivo de detección 22 mediante al menos un sistema de comunicación electromagnética. Según una realización, dicho sensor de posición es un sensor de posición electromagnético con microbobinas y dicho dispositivo sensor comprende un generador de un campo magnético y un circuito eléctrico que lee el circuito inducido en dichas microbobinas por dicho campo magnético. La provisión de esta característica permite que el instrumento de control 21 conserve su funcionamiento como un instrumento quirúrgico tradicional, sin afectar a un tiempo de respuesta para dicho dispositivo de detección 22.

35 Según una realización, dicho instrumento de control 21 está conectado a dicho dispositivo de detección 22 mediante una conexión por hilo, o cable.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 está conectado a dicho dispositivo de detección 22 mediante una conexión inalámbrica.

40 Según una realización, dicho dispositivo de detección 22 es adecuado para medir la posición en el espacio, siendo esta medida de posición o bien mediante corriente inducida, o bien es una medida óptica, o bien una medida por ultrasonidos, o bien una medida por radiación ionizante.

45 Según una realización, dicho dispositivo de control 20 comprende un conmutador de tipo encendido-apagado, implementado o bien como un pedal o bien como un botón, adecuado selectivamente para activar o desactivar la entrada desde dicho dispositivo de control 20.

Según una realización, un conjunto robótico 100, comprende:

- 50 - al menos un dispositivo de control 20, tal como se describe en una de las realizaciones descritas anteriormente,
- al menos un microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260, 360 que comprende al menos una porción terminal 77.

55 Según una realización, dicha porción terminal 77 es adecuada para operar en al menos una porción del paciente 201.

Según una realización, dicha porción terminal 77 es adecuada para manejar una aguja quirúrgica 202, tal como se muestra por ejemplo en la figura 3A-3B.

60 Según una realización, dicho instrumento de control 21 tiene las mismas dimensiones y ofrece la misma experiencia de manejo de un instrumento quirúrgico tradicional, es decir un instrumento quirúrgico que puede usarse para operar directamente en al menos una porción de un paciente 201, y dicho microinstrumento quirúrgico 60 es adecuado para reproducir la misma capacidad de movimiento completo de dicho instrumento de control 21.

65 Según una realización, dicho conjunto robótico 100 es adecuado para desacoplar los movimientos de dicho instrumento de control 21 y dicho microinstrumento quirúrgico 60 de tal manera que cuando los movimientos de

dicho instrumento de control 21 son grandes y comprenden vibraciones, entonces los movimientos de dicho microinstrumento quirúrgico 60 se filtran de vibraciones y reducen el movimiento a una escala milimétrica o micrométrica. Según una realización, la razón de ajuste a escala para el movimiento de traslación está en el intervalo de 1:5 a 1:50. La provisión de un ajuste a escala extremo de movimiento introducido entre la interfaz maestra y la interfaz esclava permite la reducción del temblor, así como una mejora de la precisión de dicho microinstrumento quirúrgico sin disminuir la facilidad de operación del cirujano 200.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho microinstrumento quirúrgico 60 de tal manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, en un primer movimiento 3D de dicho instrumento de control 21 con respecto a dicho dispositivo de detección, corresponde a un segundo movimiento 3D de dicho microinstrumento quirúrgico 60.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260, de tal manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento de traslación de dicho instrumento de control 21 corresponde a un segundo movimiento de traslación de dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 igual a una fracción de la amplitud de dicho primer movimiento de dicho instrumento de control 21. De este modo, es posible limitar la transmisión de temblor o vibración del instrumento de control 21 al microinstrumento quirúrgico 60.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 de tal manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento de traslación de dicho instrumento de control 21 corresponde a un segundo movimiento de traslación de dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 de una amplitud que es sustancialmente igual a una décima de la amplitud de dicho primer movimiento de dicho instrumento de control 21.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 de manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento de traslación de dicho instrumento de control 21 corresponde a un segundo movimiento de traslación de dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 de una amplitud sustancialmente igual a una trigésima parte de la amplitud de dicho primer movimiento de dicho instrumento de control 21.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 de tal manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento angular de dicho instrumento de control 21 corresponde a un segundo movimiento angular de dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260, siendo dicho segundo movimiento angular del microinstrumento de una amplitud que es sustancialmente igual a la amplitud de dicho primer movimiento del instrumento de control 21. La provisión de tal característica hace que el uso de dicho instrumento de control 21 le resulte familiar a un cirujano 200.

Según una realización, dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho microinstrumento quirúrgico 60, de manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento angular de dicha articulación de pinzas 69 de dicho instrumento de control 21 corresponde a un segundo movimiento angular de una articulación, situada en dicha porción terminal 77 de dicho microinstrumento quirúrgico 60, siendo la amplitud de dicho segundo movimiento sustancialmente igual a dicho primer movimiento angular de dicha articulación de pinzas de dicho instrumento de control 21.

Según una realización, dicha porción de instrumento de control 21 es de una forma que reproduce sustancialmente la forma de dicha porción terminal 77 de dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260.

Según una realización, dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 comprende al menos un dispositivo articulado 70 y dicho instrumento de control 21 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de modo que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento de dicho instrumento de control 21 con respecto a dicho dispositivo de detección 22, corresponde a un segundo movimiento de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270.

Según una realización, un conjunto robótico 100 también comprende

un soporte 104,

al menos un brazo de macroposicionamiento 30, conectado a dicho soporte 104, teniendo brazo de macroposicionamiento una pluralidad de grados de libertad,

al menos un dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 que tiene una pluralidad de grados de libertad de traslación.

Según una realización, dicho al menos un dispositivo de control 20 está conectado al menos a una porción de

dicho conjunto robótico microquirúrgico 100.

Según una realización, dicho al menos un dispositivo de control 20 puede posicionarse libremente con respecto a dicho soporte 104.

5

Según una realización, dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 comprende al menos un sensor de microinstrumento, adecuado para actuar conjuntamente con dicho dispositivo de detección 22, de manera que puede detectarse la posición en el espacio de al menos una porción del microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 con respecto a dicho dispositivo de detección 22.

10

Según una realización, dicho dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 comprende al menos un sensor de micromanipulador, adecuado para actuar conjuntamente con un dispositivo de detección 22, tal como para detectar la posición en el espacio de al menos una porción de dicho dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 con respecto a dicho dispositivo de detección 22.

15

Según una realización, dicho brazo de macroposicionamiento 30 comprende al menos un sensor de brazo de macroposicionamiento, adecuado para actuar conjuntamente con dicho dispositivo de detección 22, tal como para detectar la posición en el espacio de al menos una porción de dicho brazo de macroposicionamiento 30 con respecto a dicho dispositivo de detección 22.

20

Según una realización, dicho conjunto robótico microquirúrgico 100 es adecuado para actuar conjuntamente con un sensor, adecuado para detectar la posición en el espacio con respecto a un único sistema de referencia de al menos uno de: dicho sensor de posición 28, dicho sensor de punta 29, dicho sensor de brazo de macroposicionamiento, dicho sensor de dispositivo de microposicionamiento, dicho sensor de microinstrumento.

25

Según una realización, dicho conjunto robótico microquirúrgico 100 es adecuado para actuar conjuntamente con un sensor, adecuado para detectar la posición en el espacio con respecto a un único sistema de referencia de al menos dos de: dicho sensor de posición 28, dicho sensor de punta 29, dicho sensor de brazo de macroposicionamiento, dicho sensor de dispositivo de microposicionamiento, dicho sensor de microinstrumento.

30

La provisión de esta característica permite que un sistema maestro-esclavo de teleoperación funcione de manera adecuada independientemente de la posición exacta de dicho dispositivo de detección 22, dicho soporte 104, dicho brazo de macroposicionamiento 30 y dicho dispositivo de microposicionamiento 41. Dicho de otro modo, dicho instrumento médico 60 puede seguir el movimiento del instrumento de control 21 con respecto a un mismo sistema de coordenadas de referencia común.

35

Según una realización, dicho al menos un microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 está conectado a dicho conjunto robótico 100 de manera desmontable.

Según una realización, un conjunto robótico microquirúrgico 100 también comprende:

40

- un instrumento de control 21 adicional, tal como para comprender un primer instrumento de control 121 y un segundo instrumento de control 221;

- un microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 adicional tal como para comprender un primer microinstrumento quirúrgico 160 y un segundo microinstrumento quirúrgico 260.

45

Según una realización, dicho primer instrumento de control 121 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho primer microinstrumento quirúrgico 160, de tal manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento de dicho primer instrumento de control 121 con respecto a dicho dispositivo de detección 22, corresponde a un segundo movimiento de dicho primer microinstrumento quirúrgico 160.

50

Según una realización, dicho segundo instrumento de control 221 es adecuado para actuar conjuntamente con dicho segundo microinstrumento quirúrgico 260, de manera que, cuando está en condiciones de funcionamiento, un primer movimiento de dicho segundo instrumento de control 221 con respecto a dicho dispositivo de detección 22, corresponde a un segundo movimiento de dicho microinstrumento quirúrgico 260.

55

Según una realización, dicho primer instrumento de control 121 es adecuado para formar la interfaz maestra de dicho conjunto robótico 100 para una primera mano del cirujano 200.

60

Según una realización, dicho segundo instrumento de control 221 es adecuado para la interfaz maestra de dicho conjunto robótico 100 para una segunda mano del cirujano 200, diferente de dicha primera mano.

Según una realización, dichos instrumentos de control primero y segundo 121, 221 son de formas y ubicación sustancialmente especulares, tal como para formar la interfaz maestra de dicho conjunto robótico 100 para ambas manos del cirujano. De este modo, la interfaz tiene una ergonomía mejorada y le resulta más familiar al cirujano.

65

Según una realización, dicho dispositivo de control 20 comprende al menos dos instrumentos de control 21, 121,

221.

Según una realización, dicho conjunto robótico microquirúrgico 100 comprende un dispositivo de detección 22 adicional tal como para comprender al menos dos dispositivos de detección.

5

Según una realización, dicho dispositivo de control 20 comprende al menos dos dispositivos de detección 22.

Según una realización, dicho conjunto robótico microquirúrgico 100 comprende al menos un dispositivo de control 20 adicional, tal como para comprender un primer dispositivo de control 120 y un segundo dispositivo de control 220.

10

Según una realización, dicho primer dispositivo de control 120 es adecuado para formar la interfaz maestra de dicho conjunto robótico 100 para la primera mano del cirujano 200.

15

Según una realización, dicho segundo dispositivo de control 220 es adecuado para formar la interfaz maestra de dicho conjunto robótico 100 para la segunda mano del cirujano 200, diferente de dicha primera mano.

Según una realización, dichos dispositivos de control primero y segundo 120, 220 son de formas sustancialmente especulares, tal como para formar la interfaz maestra de dicho conjunto robótico 100 para ambas manos del cirujano. De este modo, la interfaz tiene una ergonomía mejorada y le resulta más familiar al cirujano.

20

Según un aspecto de la invención, un instrumento médico 60, 160, 260, 360 comprende al menos un armazón 57 y un dispositivo articulado 70.

25

Dicho dispositivo articulado 70 comprende al menos un primer elemento de articulación 71, o primer elemento de conexión 71, adecuado para conectarse al menos a una porción de dicho armazón 57, y al menos un segundo elemento de articulación 72, o segundo elemento de conexión 72.

30

Dicho primer elemento de conexión 71 está conectado a través de una articulación rotatoria 171 a dicho segundo elemento de conexión 72.

Dicho instrumento médico 60 también comprende al menos un tendón 90, 190, adecuado para mover al menos dicho segundo elemento de conexión 72 con respecto a dicho primer elemento de conexión 71, tirando de él.

35

Al menos uno de dicho primer elemento de conexión 71, dicho segundo elemento de conexión 72 comprende al menos una superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180, adecuada para permitir el deslizamiento de al menos una porción de dicho tendón 90, 190 sobre ella.

40

Dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 es una superficie reglada 40, 80, 140, 180, específicamente una superficie reglada formada por una pluralidad de porciones de líneas rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un eje de movimiento de articulación P-P, Y-Y.

Según una realización, dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 es una superficie reglada 40, 80, 140, 180, específicamente una superficie reglada formada por una pluralidad de porciones de líneas rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un eje de movimiento de articulación P-P, Y-Y de la articulación rotatoria 171 más cercana a dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180. Según una realización, la articulación rotatoria 171 más cercana se define midiendo a lo largo de la dirección de la trayectoria de tendón T-T.

50

Según una realización, dichos ejes de movimiento de articulación pueden ser fijos o móviles con respecto a un sistema de referencia de base.

Según una realización, dicho al menos un segundo elemento de conexión 72 es un elemento de muñeca 78, y dicho elemento de muñeca 78 comprende al menos una superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180, formada por una pluralidad de porciones de líneas rectas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un primer eje de movimiento de articulación.

55

Según una realización, dicho elemento de muñeca 78 comprende al menos una porción de articulación 172, adecuada para formar al menos una porción de una segunda articulación rotatoria 171 que tiene un segundo eje de movimiento de articulación, no paralelo a dicho primer eje de movimiento de articulación.

60

Según una realización, dicho primer eje de movimiento de articulación y dicho segundo eje de movimiento de articulación son sustancialmente ortogonal entre sí.

65

Según una realización, dicho primer eje de movimiento de articulación es un eje de cabeceo P-P.

Según una realización, dicho segundo eje de articulación del movimiento de articulación es un eje de guiñada Y-Y.

5 Según una realización, dicho instrumento médico 60, 160, 260 tiene al menos un elemento terminal 77.

Según una realización, dicho elemento terminal 77 es adecuado para entrar en contacto con una porción de un paciente 201, cuando está en condiciones de funcionamiento.

10 Según una realización, dicho elemento terminal 77 es adecuado para manejar una aguja quirúrgica 202.

Según una realización, dicho elemento terminal 77 comprende una superficie de corte o cuchilla y puede actuar como un bisturí.

15 Según una realización, dicho elemento terminal 77 comprende al menos una superficie de enrollamiento 86, realizada de una pluralidad de porciones de líneas rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un eje de movimiento de articulación. Según una realización, dicha superficie de enrollamiento 86 es adecuada para permitir que al menos una porción de dicho tendón 90, 190 se enrolle alrededor de ella.

20 Según una realización, dicho segundo elemento de articulación 72 es un elemento terminal 77.

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 comprende un tercer elemento de articulación 73, adecuado para conectarse al menos a dicho segundo elemento de articulación 72 mediante una articulación rotatoria 171.

25 Según una realización, dicho tercer elemento de articulación 73 es un elemento terminal 77.

Según una realización, dicho elemento terminal 77 está conectado a dicho elemento de muñeca 78 mediante una articulación rotatoria 171.

30 Según una realización, dicho al menos un elemento de articulación 72 es un elemento de codo 75, y dicho elemento de codo 75 comprende una pluralidad de superficies de deslizamiento 40, 80, 140, 180 formadas por una pluralidad de porciones de líneas rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un solo eje de movimiento de articulación.

35 Según una realización, dicho elemento de codo 75 comprende al menos una porción de articulación 172, adecuada para formar al menos una porción de una articulación rotatoria 171.

40 Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 comprende un tercer elemento de articulación 73, adecuado para conectarse al menos a dicho segundo elemento de articulación 72 mediante una articulación rotatoria 171, en el que dicho segundo elemento de articulación 72 es un elemento de codo 75 y dicho tercer elemento de articulación 73 es un elemento de muñeca 78.

45 Según una realización, dicho elemento de codo 75 está conectado mediante una articulación rotatoria 171 a dicho primer elemento de articulación 71, y en el que dicho elemento de muñeca 78 está conectado a través de una articulación rotatoria 171 a dicho elemento de articulación de codo 75.

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 comprende un cuarto elemento de articulación 74, adecuado para conectarse al menos a dicho tercer elemento de articulación 73 a través de una articulación rotatoria 171.

50 Según una realización, dicho cuarto elemento de articulación 74 es un elemento terminal 77.

55 Según una realización, dicho elemento terminal 77 comprende al menos una superficie de enrollamiento 86, formada por una pluralidad de porciones de líneas rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un eje de movimiento de articulación, en el que dicha superficie de enrollamiento 86 es adecuada para permitir el enrollamiento de al menos una porción de dicho tendón 90, 190 alrededor de ella.

60 Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 comprende dicho primer elemento 71, conectado a dicho elemento de muñeca 78 a través de una articulación rotatoria 171, conectado a dicho elemento terminal 77 a través de una articulación rotatoria 171.

65 Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 comprende dicho primer elemento 71, conectado a dicho elemento de codo 75 mediante una articulación rotatoria 171, conectado a dicho elemento de muñeca 78 mediante una articulación rotatoria 171, conectado a su vez a dicho elemento terminal 77 mediante una articulación rotatoria 171. Debe ser evidente para los expertos en la técnica que haciendo uso de elementos de articulación similares a 71, 72, 73, puede montarse un dispositivo articulado 70 para incluir una secuencia en serie de elementos, desde cero hasta una pluralidad de elementos de articulación de codo 75, una pluralidad de pares de elementos de

articulación de muñeca 78, preferiblemente ortogonales, y al menos un elemento de articulación terminal 77.

Según una realización, dicha superficie de enrollamiento 86 es una superficie reglada.

- 5 Según una realización, dicha superficie de enrollamiento es sustancialmente inadecuada para que dicho tendón 90, 190 se deslice sobre ella. Esto se debe a que dicho tendón 90, 190 termina cerca de dicha superficie de enrollamiento 86, en el elemento de articulación que comprende dicha superficie de enrollamiento 86.

- 10 Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende al menos un par de tendones que comprenden un tendón 90 y un tendón opuesto 190, y dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para conectar sus segundos puntos de extremo de terminación 92, o segunda terminación de tendón 92, a puntos de sujeción de tendón 82 respectivos, o punto de terminación de tendón 82, de dicho segundo elemento de articulación 72, tal como para mover dicho segundo elemento de articulación 72 alrededor de su eje de articulación en sentidos opuestos.

- 15 Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende al menos un par de tendones que comprenden un tendón 90 y un tendón opuesto 190, y dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para conectarse en sus segundos puntos de extremo de terminación 92 a puntos de sujeción de tendón 82 respectivos, o características de terminación de tendón 82, de dicho elemento terminal 77, tal como para moverlo alrededor de su eje de articulación en sentidos opuestos.

- 20 La provisión de tal característica garantiza que dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 puedan funcionar de manera antagonista, por ejemplo tanto dicho tendón 90 como dicho tendón opuesto 190 mueven dicho elemento terminal alrededor del eje de guiñada Y-Y. Por tanto, no puede producirse ningún movimiento de articulación pasivo o libre, y en cambio solo se producen movimientos guiados y controlados positivamente.

- 25 Según una realización, dicho tendón 90 y el tendón opuesto 190 son adecuados para conectarse por medio de sus segundos puntos de extremo de terminación 92 a puntos de sujeción de tendón 82 respectivos, o características de terminación de tendón 82, de al menos uno de dichos elementos de articulación primero, segundo, tercero y cuarto 71, 72, 73, 74.

- 30 Según una realización, dicho tendón 90 y el tendón opuesto 190 son adecuados para conectarse por medio de sus segundos puntos de extremo de terminación 92 en puntos de sujeción de tendón 82 respectivos, o característica de terminación de tendón 82, de al menos uno de dicho elemento de codo 75, elemento de muñeca 78 y elemento terminal 77.

- 35 Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende al menos un árbol 65, adecuado para guiar dicho al menos un tendón 90, 190. Dicho árbol 65 es un árbol según una cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente.

- 40 Según una realización, dicho árbol 65 tiene una sección sustancialmente circular y tiene un diámetro menor de 4 milímetros. Esto permite una miniaturización extrema del instrumento médico.

- 45 Según una realización, dicho árbol 65 comprende un orificio longitudinal tal como para permitir el paso de dicho al menos un tendón 90, 190 dentro de él.

Según una realización, dicho árbol 65 es solidario con dicho armazón 57.

- 50 Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 tiene una extensión longitudinal menor de 10 milímetros.

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 tiene un volumen inferior a 10 milímetros cúbicos.

- 55 Según una realización, dicho elemento terminal 77 comprende al menos una primera porción de elemento terminal 177 y al menos una segunda porción de elemento terminal 277. Según una realización, dicha primera porción de elemento terminal 177 y dicha segunda porción de elemento terminal 277, son móviles una con respecto a la otra alrededor de un eje de movimiento de articulación tal como para determinar un movimiento de asimiento o de corte. Según una realización, dicho eje de movimiento de articulación es dicho eje de guiñada Y-Y.

- 60 Según una realización, dicho instrumento médico 60, que comprende al menos un par de tendones, comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190, en el que uno de dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 es adecuado para conectarse por medio de su segundo punto de extremo 92 a un punto de sujeción de tendón 82 respectivo, o característica de terminación de tendón 82, en dicho primer elemento terminal 177, y en el que el otro de dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 es adecuado para conectarse por medio de su segundo punto de extremo 92 a un punto de sujeción de tendón 82 respectivo, o característica de terminación de tendón 82, en dicho segundo elemento terminal 277, tal como para mover dicha primera porción de elemento terminal 177 y dicha segunda porción de elemento terminal 277 con movimientos en sentidos opuestos.

Según una realización, cada una de dicha primera porción de elemento terminal 177 y dicha segunda porción de elemento terminal 277 comprende al menos una superficie de enrollamiento 86.

- 5 Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende al menos un par de tendones que comprenden un tendón 90 y un tendón opuesto 190, en el que dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para conectarse por medio de sus segundos puntos de extremo 92 en puntos de sujeción de tendón 82 respectivos, o característica de terminación de tendón 82, de dicho elemento terminal 77, tal como para mover dicho tercer elemento de articulación 73 con respecto a dicho cuarto elemento de articulación 74 tal como para determinar un movimiento de asimiento o de corte.

Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 enrollan sus porciones distales alrededor de al menos una porción de dicha al menos una superficie de enrollamiento 86 del elemento terminal 77.

- 15 Según una realización, dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 es una superficie de deslizamiento lateral 40, 140 adecuada para extenderse alejándose del volumen central de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 tal como para determinar que al menos una porción de tendón se desvía y no discurre en contacto con dicho dispositivo articulado 70.

- 20 Según una realización, dicha superficie de deslizamiento lateral 40, 140 se une a una superficie del elemento sobre el que se construye, compartiendo al menos una superficie de continuidad 64, un plano tangente local. Según una realización, dicha superficie de deslizamiento lateral 40, 140 forma al menos un borde afilado 63 con el elemento sobre el que se construye.

- 25 Según una realización, dicha superficie de deslizamiento lateral 40, 140 une una superficie del elemento sobre el que se construye con una superficie de continuidad 64 en un lado y en el otro lado forma un borde afilado 63 con el elemento sobre el que se construye.

- 30 Según una realización, dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 es una superficie de deslizamiento de articulación 80, 180 que rodea al menos parcialmente un eje de movimiento de articulación. Según una realización, dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 es una superficie de deslizamiento de articulación 80, 180 que rodea al menos parcialmente al menos uno de dicho eje de cabeceo P-P y dicho eje de guiñada Y-Y, y en la que dicha superficie de deslizamiento de articulación 80, 180 está orientada opuesta con respecto al menos a uno de dicho eje de cabeceo P-P y dicho eje de guiñada Y-Y, tal como para permitir al menos una intersección entre la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 y la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón opuesto 190. Dicho de otro modo, dicha superficie de deslizamiento de articulación 80, 180 no es adecuada para orientarse hacia dicho eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana cuando está en condiciones de funcionamiento.

- 40 Según una realización, dicha superficie de deslizamiento de articulación es convexa y rodea parcialmente al menos uno de dicho eje de cabeceo P-P o eje de guiñada Y-Y, tal como para permitir al menos una intersección de dos tendones opuestos sobre sí mismos.

- 45 Según una realización, la expresión "articulación más cercana" se refiere a la articulación rotatoria 141 que está más cerca en distancia de la superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 a lo largo de la trayectoria de tendón T-T.

- 50 Según una realización, en dicha superficie de deslizamiento de articulación 80, 180, la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 y la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón opuesto 190, aunque no intersecan, se superponen al menos parcialmente en un plano de proyección ortogonal a la dirección de dicho eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana.

- 55 Según una realización, en dicha superficie de deslizamiento de articulación 80, 180, la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 y la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón opuesto 190 son distintas entre sí y paralelas en un plano de proyección paralelo al eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana.

- 60 Según una realización, la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 se superpone con la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón opuesto 190 al menos en un plano de proyección ortogonal a la dirección de dicho eje de movimiento de articulación de la articulación más cercana. Según una realización, la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 es sustancialmente paralela a la trayectoria de tendón T-T de dicho tendón opuesto 190 en un plano de proyección paralelo a dicho eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria más cercana.

- 65 Según una realización, la trayectoria de tendón T-T de cada tendón 90 son sustancialmente paralelas entre sí, en un plano de proyección paralelo a dicho eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana.

- Según una realización, cada trayectoria de tendón T-T es sustancialmente estacionaria sobre el elemento de articulación con el que entra en contacto. Dicho de otro modo, incluso cuando el tendón 90 está deslizando, la trayectoria general de tendón T-T está sustancialmente siempre en la misma posición con respecto al elemento de articulación de dicho instrumento médico 60, con el que entra en contacto.
- Tal característica se realiza de manera única previendo que dicha superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 de dichas superficies de enrollamiento 86 tiene una relación geométrica cooperativa con dicha característica de terminación de tendón 82, que a su vez se posiciona de manera ajustada en una porción de dicho instrumento médico.
- Según una realización, dicha trayectoria de tendón T-T permanece sustancialmente estacionaria sobre el elemento de articulación con el que entra en contacto tanto para el tendón 90 como para el tendón opuesto 190 que determina movimientos de articulación opuestos.
- Según una realización, la trayectoria de tendón T-T de cada tendón 90 es sustancialmente estacionaria en su sección sobre dicho armazón 57, excepto por dicha porción desviable 93. Dicha porción desviable 93 es de hecho adecuada para desviarse por el conjunto empujador 94, no muy diferente de la cuerda de una guitarra.
- Según una realización, dicho al menos un tendón 90, 190, cuando está en condiciones de funcionamiento, sigue una trayectoria de tendón T-T que está compuesta completamente por secciones rectas en vuelo sucesivas 9, que no están en contacto con ninguna superficie de deslizamiento 40, 80 o superficies de enrollamiento 86, y secciones curvas que están en contacto con superficies de deslizamiento 40, 80 o superficies de enrollamiento 86 de los elementos de articulación 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78.
- Según una realización, dicho al menos un tendón 90, 190 describe una trayectoria alrededor de dicho primer elemento de articulación 71, tal como para enrollarse al menos parcialmente sobre dicha superficie de deslizamiento de articulación 40, 140 de dicho primer elemento de articulación 71.
- Según una realización, dicho al menos un tendón 90, 190 describe una trayectoria alrededor de dicho segundo elemento de articulación distal 72, tal como para enrollarse al menos parcialmente sobre dicha superficie de deslizamiento de articulación 80, 180 de dicho segundo elemento de articulación 72.
- Según una realización, dicho instrumento médico 60 comprende una pluralidad de tendones.
- Según una realización, las proyecciones de dicha trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 y de dicha trayectoria de tendón T-T de dicho tendón opuesto 190 en un plano ortogonal a dicho eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana se superponen al menos en un punto de intersección 16.
- Según una realización, dicho segmento en vuelo 9 de dicha trayectoria de tendón T-T de dicho tendón 90 es sustancialmente paralelo al menos a uno de dicho segmento en vuelo 9 de dicho tendón opuesto 190.
- Según una realización, las trayectorias de tendón T-T de cada tendón 90 son sustancialmente paralelas entre sí, en un plano de proyección paralelo a la dirección de dicho eje de articulación del movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana.
- Según una realización, cada una de dichas características de terminación de tendón 82 está posicionada tal como para soportar cada tendón 90, 190 para mantener su trayectoria de tendón T-T sustancialmente ortogonal al eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana, tal como para permitir dicho que tendón 90 se deslice sobre dicha al menos una superficie de deslizamiento 40, 80 siguiendo una trayectoria de tendón T-T sustancialmente paralela a la trayectoria de tendón T-T de cualquier otro tendón.
- Según una realización, cada característica de terminación de tendón 82 está posicionada tal como para soportar cada tendón 90, 190 de manera que su trayectoria de tendón T-T sea estacionaria con respecto al elemento de articulación más cercano a él.
- Según una realización, dicha característica de terminación de tendón 82 está posicionada tal como para mantener su trayectoria de tendón T-T de cada tendón 90 sustancialmente siempre en contacto con dicha superficie de enrollamiento 86, cuando está en condiciones de funcionamiento.
- Según una realización, dicha característica de terminación de tendón 82 está posicionada de manera que la trayectoria de tendón T-T de cada tendón 90, 190 no entra en contacto con la trayectoria de tendón T-T de ningún otro tendón 90, 190, cuando está en condiciones de funcionamiento.
- Según una realización, dicha característica de terminación de tendón 82 está posicionada de manera que cada tendón 90, cuando está en condiciones de funcionamiento, se desliza sobre al menos una superficie de

deslizamiento 40, 80, que describe una sección curva de la trayectoria de tendón T-T sustancialmente paralela a la sección curva de la trayectoria de tendón T-T descrita por cualquier otro tendón 90, 190 cuando se desliza sobre la misma superficie de deslizamiento 40, 80.

- 5 Según una realización, dicho instrumento médico 60 es un instrumento quirúrgico, adecuado para aplicarse en al menos uno de los siguientes campos: microcirugía, cirugía mínimamente invasiva y cirugía laparoscópica.

Según una realización, dicho instrumento médico 60 es adecuado para usarse para una biopsia. Según una realización, dicho instrumento médico 60 es adecuado para usarse para un procedimiento endoscópico.

10

Según una realización, dicho tendón 90, 190 tiene una sección transversal sustancialmente circular. Según una realización, el diámetro de dicho tendón 90, 190 es variable en diferentes porciones de dicho tendón 90, 190. Según una realización, las propiedades mecánicas de dicho tendón 90, 190 son variables en diferentes porciones de dicho tendón 90, 190. Según una realización, dicho tendón 90, 190 se obtiene uniendo porciones de tendones con diferentes características. Según una realización, la composición de dicho tendón 90, 190 es variable en diferentes porciones de dicho tendón 90, 190.

15

Según una realización, dicha trayectoria de tendón T-T en al menos una porción del tendón es de manera sustancial localmente ortogonal a las generatrices de la superficie de deslizamiento 40, 80, 140, 180 sobre la que se desliza el tendón, en cada estado de funcionamiento, es decir, para cualquier ángulo de rotación de las articulaciones rotatorias 171. Estas características contribuyen a evitar que dicha trayectoria de tendón T-T de cada uno de dichos tendones se desvíe nunca, es decir, que nunca se doble en una dirección paralela al eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria 171 más cercana.

20

Según una realización, dicha trayectoria de tendón T-T es de manera sustancial localmente ortogonal a las generatrices de las superficies de deslizamiento 40, 80, 140, 180 sobre las que se desliza.

25

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 está fabricado principalmente a partir de materiales metálicos.

30

Según una realización, dichos elementos de articulación son adecuados para pulirse con el objetivo de reducir adicionalmente la fricción generada por el deslizamiento de dicho al menos un tendón, cuando dicho tendón se desliza sobre ellos.

35

Según un aspecto de la invención, un sistema de accionamiento de tendón 50 para un instrumento médico 60, 160, 260 comprende al menos un conjunto empujador 94.

40

Dicho instrumento médico 60, 160, 260 comprende un armazón 57 y al menos un tendón 90, 190, exclusivamente adecuado para trabajar bajo cargas de tracción aplicadas en sus puntos de extremo, en que se define una dirección de tendón T-T, o una trayectoria de tendón T-T, que coincide sustancialmente con la dirección de desarrollo longitudinal de dicho tendón 90, y en que dicho tendón 90 está sujeto en su primer punto de extremo 91, o punto de extremo de tendón proximal 91, o primera terminación de tendón 91, a dicho armazón 57.

45

Dicho conjunto empujador 94 es adecuado para aplicar una fuerza sobre al menos una porción de dicha porción desviable 93 de dicho tendón 90 a lo largo de una dirección de empuje transversal a la trayectoria de tendón T-T tal como para desviar la trayectoria de tendón T-T e inducir una carga de tracción aumentada en dicho tendón 90.

50

Cuando dicho conjunto empujador empuja en dicha dirección de empuje, transversal a la trayectoria de tendón T-T, tiende a alargarse localmente, sólo localmente, dicha trayectoria de tendón. Tal alargamiento localizado de la trayectoria, que crea un bucle de tendón local más grande, está relacionado directamente con la cantidad de avance del conjunto empujador. La creación de tal bucle de tendón local más grande da como resultado en el extremo opuesto del tendón, un movimiento proporcional hacia atrás del punto de extremo distal del tendón 92 que está sujeto a la característica de terminación de tendón 82 en el elemento de articulación y, por tanto, da como resultado un movimiento del elemento de articulación.

55

Según una realización, dicho conjunto empujador 94 actúa como una restricción unilateral para dicho tendón 90.

Según una realización, dicho conjunto empujador 94 alarga o acorta dicha trayectoria de tendón T-T en al menos una sección de dicha trayectoria de tendón T-T, que es sustancialmente recta.

60

Según una realización, dicho conjunto empujador 94 es adecuado para recuperar una longitud determinada de dicho tendón 90. Según una realización, dicho conjunto empujador 94 es adecuado para liberar una longitud determinada de dicho tendón 90.

65

Según una realización, dicho conjunto empujador 94 es adecuado para retroceder sobre dicha porción desviable de tendón 93 de dicho tendón 90, en una dirección transversal a la trayectoria de tendón T-T, de manera que

disminuya la desviación de dicha trayectoria de tendón T-T y disminuya la tensión en dicho tendón 90. De este modo, se permite un movimiento controlado de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70 de dicho instrumento médico 60.

- 5 Los términos “retroceder” y “recuperar” significan que el conjunto empujador, cuando empuja en dicha dirección de empuje, que es transversal a la trayectoria de tendón T-T, acorta localmente, y sólo localmente, la trayectoria de tendón. Tal acortamiento local crea un bucle local cada vez más pequeño, que está relacionado directamente con la cantidad de retirada del conjunto empujador, y en el extremo opuesto del tendón, donde está sujeto en su punto de extremo distal 92 al elemento de articulación sobre el que actúa, permite un alejamiento de dicho punto de extremo distal, y por tanto permite el movimiento de dicho elemento de articulación.

Según una realización, dicho tendón 90 y el tendón opuesto 190 tienen longitudes que dan como resultado que dicho dispositivo articulado 70 de dicho instrumento médico 60 se mantenga en una posición de referencia cuando dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 90 se tensan por los elementos de tensado 99, 199 respectivos.

15 Según una realización, dicho almacén 57 comprende al menos un árbol 65, en el que se define una dirección de árbol longitudinal X-X, coincidiendo dicha dirección o siendo paralela al eje de desarrollo longitudinal de dicho árbol 65.

20 Según una realización, dicho tendón 90 comprende al menos una porción longitudinal 19 del tendón, en la que la trayectoria de tendón T-T es sustancialmente paralela a la dirección longitudinal del árbol X-X, determinando un movimiento de al menos dicha porción longitudinal 19 del tendón con respecto a dicho árbol 65, al menos a lo largo de la dirección de árbol X-X.

25 Según una realización, dicha dirección de empuje es paralela a la dirección longitudinal del árbol X-X.

Según una realización, dicha dirección de empuje es ortogonal a la dirección longitudinal del árbol X-X.

30 Según una realización, dicho tendón 90 está pretensado. De este modo, cuando dicho conjunto empujador 90 deja de ejercer su acción de empuje sobre dicha porción desviable de tendón 93, dicho tendón 90 permanece sustancialmente bajo tensión. La provisión de un tendón pretensado permite una calibración sencilla de dicho sistema de accionamiento de tendón 50, lo que hace posible decidir arbitrariamente en qué posición del dispositivo articulado colocar una posición de acción de empuje cero.

35 Según una realización, dicho conjunto empujador 94 siempre aplica una tensión positiva mínima sobre el tendón 90. De este modo, cuando dicho conjunto empujador entra en contacto con dicha porción desviable de tendón 93, dicho tendón 90 permanece sustancialmente siempre bajo tensión. Proporcionar un tendón pretensado permite el control eficiente de la trayectoria de tendón dentro del instrumento médico 60, en cualquier estado de funcionamiento.

40 Según una realización, dicho tendón 90 también comprende un segundo punto de extremo de tendón 92, o punto de extremo de tendón distal 92, adecuado para tirar de un elemento móvil, que puede conectarse a dicho segundo punto de extremo de tendón distal 92.

45 Según una realización, después de dicho tendón a lo largo de su trayectoria de tendón T-T, primero se encuentra dicho primer punto de extremo de tendón 91, luego dicha al menos porción desviable de tendón 93, y luego dicho segundo punto de extremo de tendón 92.

50 Según una realización, dicho elemento móvil es al menos una porción de dicho instrumento médico 60, 160, 260, que es móvil con respecto a dicho almacén 57.

Según una realización, cuando dicha porción desviable de tendón 93 se desvía por dicho conjunto empujador 94, dicho tendón 90 determina el movimiento de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70 con respecto a dicho almacén 57.

55 Según una realización, dicho conjunto empujador 94 comprende al menos un elemento de empuje 95, móvil con respecto a dicho almacén 57 y adecuado para empujar un émbolo 96, de manera que dicho émbolo 96 empuja al menos una porción desviable de tendón 93 de dicho tendón 90.

60 Según una realización, al menos un cuerpo está colocado entre dicho elemento de empuje 95 y dicho émbolo 96. Según una realización, dicho elemento de empuje 95 está en contacto con dicho émbolo. Dicho de otro modo, dicho al menos un elemento de empuje 95 es adecuado para empujar directa o indirectamente sobre dicho émbolo 96.

65 Según una realización, dicho elemento de empuje 95 es móvil con respecto a dicho émbolo 96 dentro de una posición de contacto, en la que dicho elemento de empuje 95 es adecuado para ejercer una acción de empuje

- sobre dicho émbolo 96, y una posición sin contacto, en la que dicho elemento de empuje 95 está desconectado de dicho émbolo 96, y no es adecuado para ejercer ninguna acción de empuje sobre dicho émbolo 96. Según una realización, en dicha posición de contacto dicho elemento de empuje 95 no está necesariamente en contacto con dicho émbolo 96. Dicho de otro modo, según una realización, dicho elemento de empuje 95 ejerce una acción de empuje a través de al menos un cuerpo intermedio colocado entre dicho elemento de empuje 95 y dicho émbolo 96.
- Según una realización, dicho conjunto empujador 94 también comprende al menos una barrera estéril 87, adecuada para impedir sustancialmente la contaminación bacteriana mutua de los dos entornos que separa.
- Según una realización, dicha barrera estéril 87 está colocada entre dicho elemento de empuje 95 y dicho émbolo 96.
- Según una realización, dicha barrera estéril es de una forma y un material adecuados para transmitir el empuje de dicho elemento de empuje 95 a dicho émbolo 96.
- Según una realización, dicho elemento de empuje 95 es móvil con respecto a dicho armazón 57 a lo largo de una trayectoria sustancialmente lineal.
- Según una realización, dicho elemento de empuje 95 es un pistón.
- Según una realización, dicho sistema de accionamiento 50 comprende al menos dos elementos de guiado de tendón 97, o poleas de guiado, posicionados a lo largo de dicha dirección de tendón T-T de manera que cuando dicho conjunto empujador determina una desviación de dicha trayectoria de tendón T-T, dichos al menos dos elementos de guiado de tendón 97 actúan conjuntamente para confinar la desviación de dicha trayectoria de tendón T-T a la sección de trayectoria de tendón entre dichos dos elementos de guiado 97.
- Según una realización, dicho émbolo 96 comprende al menos una polea loca de émbolo 98, adecuada para empujar dicha porción desviable de tendón 93, y en la que dicha polea loca de émbolo 98 es adecuada para girar libremente alrededor de su eje, y de este modo reducir la fricción por deslizamiento sobre dicha porción desviable de tendón 93 al menos cuando se empuja por dicho émbolo 96.
- Según una realización, dicha polea loca de émbolo 98 es un cojinete de bolas.
- Según una realización, dicho segundo punto de extremo de tendón 92 es un resalte o un bucle o un nudo.
- Según una realización, dicho tendón 90 es adecuado para pretensarse.
- Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende al menos un elemento de pretensado 99, adecuado para mantener dicho tendón 90 pretensado.
- Según una realización, dicho elemento de pretensado 99 es un resorte, adecuado para aplicar una fuerza entre el armazón 57 y el émbolo 96, para imponer una precarga sobre dicho tendón 90 que es sustancialmente proporcional al movimiento de compresión de dicho resorte 99.
- Según una realización, dicho conjunto empujador 94 comprende un motor eléctrico, adecuado para mover dicho elemento de empuje 95.
- Según una realización, dicho conjunto empujador 94 comprende un actuador de tipo tornillo de avance y tuerca.
- Según una realización, dicho actuador comprende un tornillo de bolas.
- Según una realización, dicho tendón 90 está realizado al menos parcialmente de un material que es más blando que los materiales de las superficies sobre las que se desliza. Dicho de otro modo, dicho tendón 90 está realizado al menos parcialmente de material que es menos duro que la superficie sobre la que se desliza.
- Según una realización, dicho tendón 90 está realizado al menos parcialmente de material polimérico. La provisión de un tendón realizado al menos parcialmente de material polimérico permite una reducción en el desgaste de las superficies sobre las que se desliza, con respecto a un tendón realizado de metal, por ejemplo.
- Según una variante de una realización, dicho primer punto de extremo de tendón 91, está sujeto a dicho émbolo 96, en lugar de a dicho armazón 57.
- Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende al menos un tendón 190 adicional, o tendón opuesto 190, opuesto a dicho tendón 90 y sujeto o restringido en su primer punto de extremo 91, o punto de extremo proximal, a dicho armazón 57, extendiéndose dicho tendón 190 a lo largo de la dirección de tendón T-T, o la trayectoria de tendón T-T.

- Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende al menos un conjunto empujador 94 adicional, o conjunto empujador opuesto 194, opuesto a dicho conjunto empujador 94 y adecuado para empujar sobre al menos una porción de la porción desviable de tendón 93 de dicho tendón opuesto 190, a lo largo de una
- 5 dirección de empuje transversal del tendón T-T tal como para desviar la trayectoria de tendón T-T e inducir una carga de tracción aumentada en dicho tendón opuesto 190 y dicho tendón 90. Dicho de otro modo, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto son adecuados para trabajar opuestos entre sí como músculos antagonistas del cuerpo humano que actúan conjuntamente para determinar los movimientos de aducción y abducción de una articulación.
- 10 Según una realización, dicho conjunto empujador opuesto 194 empuja dicha porción desviable de tendón 93 de dicho tendón opuesto 190 a lo largo de una dirección de empuje transversal a dicha trayectoria de tendón T-T, desviando dicha trayectoria de tendón T-T, induciendo carga de tracción en dicho tendón opuesto 190, desde su porción proximal 18 e induciendo carga de tracción en dicho tendón 90, desde su porción distal 19.
- 15 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón 190 están conectados estructuralmente de manera distal mediante una unión entre dicho tendón y dicho tendón opuesto. Según una realización, dicho tendón y dicho tendón opuesto están ambos conectados estructuralmente de manera distal a un elemento de unión común, de manera que se garantiza la transmisión de la fuerza por dicho tendón a dicho tendón opuesto.
- 20 Según una realización, dicho tendón opuesto 190 comprende un segundo punto de extremo 92, o punto de extremo distal 92, adecuado para tirar de un elemento móvil que puede asociarse a dicho segundo punto de extremo de tendón 92 de dicho tendón opuesto 190.
- Según una realización, dicho tendón opuesto 190 comprende un segundo punto de extremo 92, o punto de extremo distal adecuado para tirar de un único elemento móvil común, que puede asociarse tanto a dicho segundo punto de extremo de tendón 92 de dicho tendón 90 como a dicho segundo punto de extremo de tendón 92 de dicho
- 25 tendón opuesto 190. Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 tienen longitudes de manera que dicho único elemento móvil común está en una posición de referencia cuando dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 están pretensados por sus respectivos elementos de tensado.
- 30 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son dos porciones de un único tendón 90.
- Según una realización, dicho segundo punto de extremo de tendón 92 de dicho tendón 90 y dicho segundo punto de extremo 92 de dicho tendón opuesto 190 coinciden y son adecuados para tirar de un elemento móvil común, que puede asociarse tanto a dicho segundo punto de extremo 92 de dicho tendón 90 como a dicho segundo punto de extremo de tendón 92 de dicho tendón opuesto 190.
- 35 Según una realización, dicho tendón opuesto 190 comprende al menos una porción longitudinal 19, en la que la trayectoria de tendón T-T es sustancialmente paralela a la dirección longitudinal del árbol X-X, tal como para mover al menos dicha porción longitudinal 19 de dicho tendón opuesto 190 con respecto a dicho árbol 65, al menos a lo largo de la dirección longitudinal del árbol X-X.
- 40 Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende al menos un par de tendones 90, 190 para cada grado de libertad, en el que dicho par de tendones comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190.
- 45 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para que se tire de ellos simultáneamente, de manera que la fuerza transmitida al elemento móvil común tanto por dicho tendón 90 como por dicho tendón opuesto 190 es la suma de la fuerza transmitida por dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190.
- 50 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para que se tire simultáneamente de ellos sustancialmente con la misma cantidad de fuerza.
- Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para que se tire de ellos con una fuerza sobre uno de ellos mayor que sobre el otro.
- 55 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para que se tire de ellos simultáneamente, recuperando sustancialmente la misma longitud de tendón de su porción proximal.
- Según una realización, dicho tendón 90 es adecuado para que se tire de él, recuperando una primera longitud de tendón de su sección proximal y simultáneamente dicho tendón opuesto 190 es adecuado para liberarse por su porción proximal, liberando una segunda longitud de tendón del tendón opuesto, sustancialmente igual a dicha primera longitud de tendón.
- 60 Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende un elemento de pretensado opuesto 199, adecuado para mantener dicho tendón opuesto 190 pretensado.
- 65

Según una realización, dicho elemento de pretensado opuesto 199 es un resorte 99.

5 Según una realización, dicho elemento de pretensado 99 y dicho elemento de pretensado opuesto 199 son adecuados para actuar conjuntamente para mantener pretensados simultáneamente dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190, de modo que el conjunto empujador 94 y dicho conjunto empujador opuesto 194 pueden funcionar al mismo tiempo.

10 La provisión de dicho elemento de pretensado 99 y dicho elemento de pretensado opuesto 199 permite que dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 se mantengan en su estado pretensado, con un valor de tensión previa adecuado para contrarrestar el peso de dicho elemento móvil común unido a ellos. De este modo, la fuerza gravitacional no desempeña ningún papel en el sistema de accionamiento.

15 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para conectar sus segundos puntos de extremo 92 a sus puntos de sujeción de tendón 82 respectivos, o características de terminación de tendón 82, a uno de: dicho segundo elemento de articulación 72 y dicho elemento terminal 77, tal como para moverlo en sentidos opuestos. La acción conjunta entre dicha característica y la provisión de dicho elemento de pretensado 99 y dicho elemento de pretensado opuesto 199 permite que todos los movimientos se guíen y se controlen positivamente, evitando cualquier movimiento de articulación pasivo o libre, tal como de resortes de  
20 retorno.

Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende una pluralidad de tendones 90 y una pluralidad de tendones opuestos 190.

25 Según una realización, dicho sistema de accionamiento de tendón 50 comprende una pluralidad de conjuntos empujadores 94 y una pluralidad de conjuntos empujadores opuestos 194.

30 Según una realización, dicha pluralidad de tendones 90 y dicha pluralidad de tendones opuestos 190 están posicionados en una porción de un tambor 59, o tambor 59, de dicho armazón 57 de manera que la trayectoria de tendón T-T de cada tendón 90, 190 discurre independiente con respecto a la trayectoria de todos los demás tendones 90, 190.

35 Según una realización, dicha pluralidad de tendones 90 y dicha pluralidad de tendones 190 están posicionados de manera sustancialmente radial, o como rayos, en dicho tambor 59. Según una realización, dicha pluralidad de tendones 90 y dicha pluralidad de tendones opuestos 190 están configurados en dicho tambor 59 como un cilindro de un motor radial, y en el que las trayectorias de dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 no se cruzan entre sí en dicho tambor 59.

40 Según una realización, cada tendón 90 de dicha pluralidad de tendones 90 es adecuado para engancharse por su conjunto empujador 94 respectivo independientemente de otros tendones 90.

Según una realización, dicho tendón 90 de dicha pluralidad de tendones 90 es adecuado para engancharse por su conjunto empujador 94 respectivo independientemente de un tendón opuesto 190 asociado.

45 Según una realización, un conjunto de sistema de accionamiento para un instrumento médico 60, 160, 260 comprende:

50 al menos un sistema de accionamiento de tendón 50 según una de cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente,

al menos un instrumento médico 60, 160, 260 que comprende al menos un dispositivo articulado 70, 170, 270 en el que dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 comprende al menos una articulación rotatoria.

55 Según una realización, dicho tendón 90, 190 está sujeto o restringido en su segundo punto de extremo 92 al menos a una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 móvil con respecto a dicho armazón 57, de manera que dicho tendón 90, 190 es adecuado tirar de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270, moviéndola con respecto a dicho armazón 57.

60 Según una realización, dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 están ambos sujetos a una misma porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270, móvil con respecto a dicho armazón 57, en sus segundos puntos de extremo 92 respectivos, de manera que dicho tendón opuesto 190 es adecuado para tirar de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270, moviéndolo con respecto a dicho armazón 57 mediante un movimiento que es opuesto al movimiento determinado por dicho tendón 90.

65 Según una realización, dicho conjunto de sistema de accionamiento comprende un par de tendones 90, 190, y dicho par de tendones comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190, para cada grado de libertad de

movimiento de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270.

Según una realización, cuando se tira de dicho tendón 90 y de dicho tendón opuesto 190 de manera simultánea y sustancialmente la misma cantidad de fuerza, se impide el movimiento de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de dicho instrumento médico 60, 160, 260.

Según una realización, cuando se tira dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 de manera simultánea con diferentes cantidades de fuerza, donde una cantidad de fuerza es mayor que la otra, se produce un movimiento controlado de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de dicho instrumento médico 60, 160, 260.

Según una realización, dicho instrumento médico 60, 160, 260 es al menos uno de: un instrumento quirúrgico, un instrumento microquirúrgico, un instrumento para cirugía laparoscópica, un instrumento endoscópico, un instrumento para biopsias.

Según un aspecto de la invención, un tendón 90, 190 para un instrumento médico 60, comprendiendo dicho instrumento médico 60 al menos un dispositivo articulado 70 y un armazón 57, es adecuado para mover al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70 con respecto a dicho armazón 57.

Dicho dispositivo articulado 70 tiene al menos un grado de libertad de movimiento con respecto a dicho armazón 57.

Dicho tendón 90 es exclusivamente adecuado para trabajar bajo una carga de tracción.

Dicho tendón 90 está fabricado de un material que es menos duro que el material de dicho dispositivo articulado 70.

La provisión de esta característica permite la fabricación de un instrumento médico 60 que comprende un dispositivo articulado 70 con mayor resistencia al desgaste, provocado por el deslizamiento del tendón 90 sobre al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70. Además, esta característica evita cualquier desgaste y pérdida de material de la superficie del dispositivo articulado 70 sobre la que se desliza el tendón. Dicho de otro modo, la provisión de esta característica evita que dicho dispositivo articulado 70 se raye debido a los efectos del tendón 90 que se desliza sobre ella, cuando está en condiciones de funcionamiento.

Según una realización, dicho tendón 90 se desliza sobre al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, cuando está en condiciones de funcionamiento.

Según una realización, dicho tendón 90 está realizado de una construcción que no es adecuada para transmitir empuje.

Según una realización, dicho tendón 90 está fabricado de un material más blando que el material de dicho dispositivo articulado 70.

Según una realización, dicho tendón 90 está fabricado de un material polimérico. La provisión de un tendón que está fabricado al menos parcialmente de un material polimérico permite reducir el desgaste de la superficie sobre la que se desliza, con respecto a un tendón realizado de metal por ejemplo, y ayuda a preservar las tolerancias geométricas establecidas durante la fase de diseño y prolonga posteriormente la vida útil de dicho tendón 90, 190 así como la vida útil de dicho instrumento médico 60, 160, 260.

Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de polietileno. Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de polietileno de alto peso molecular, o UHMWPE. Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de Kevlar. Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de Vectran. Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de Zylon, o PBO. Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de una combinación de los materiales anteriores.

Según una realización, dicho tendón 90, 190 está realizado de fibras de polímero.

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 está realizado de un material metálico.

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 está realizado de al menos uno de: acero INOX o acero inoxidable; acero superrápido; widia; acero templado; acero revenido; titanio.

Según una realización, dicho dispositivo articulado 70 está realizado de un material conductor cerámico.

Según una realización, dicho tendón 90 comprende al menos un punto de extremo de tendón 91, adecuado para pegarse a dicho armazón 57.

Según una realización, dicho tendón 90 se desenreda dando lugar a hebras alrededor de su primer punto de extremo de tendón 91 tal como para maximizar la superficie pegada.

- 5 Según una realización, dicho tendón 90 comprende al menos un segundo punto de extremo de tendón 92, adecuado para conectarse a al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70.

Según una realización, dicho segundo punto de extremo 92 es un resalte. Según una realización, dicho segundo punto de extremo de tendón es un bucle. Según una realización, dicho segundo punto de extremo de tendón 92 es un nudo.

Según una realización, dicho segundo punto de extremo de tendón 92 está pegado al menos a una porción de dicho dispositivo articulado 70.

- 15 Según una realización, dicho primer punto de extremo de tendón 91 se termina enrollando dicho tendón alrededor de una porción de dicho instrumento médico 60 múltiples veces. Según una realización, dicho segundo punto de extremo 92 se termina enrollando dicho tendón alrededor de una porción de dicho instrumento médico 60 múltiples veces. Según una realización, dicho tendón se enrolla con un radio de curvatura que es sustancialmente igual a su diámetro.

20 Según una realización, dicho tendón 90, 190 tiene un diámetro de entre 0,05 mm y 0,3 mm.

Según una realización, dicho tendón 90, 190 tiene un módulo elástico de entre 50 GPa y 100 GPa.

- 25 Según una realización, dicho tendón 90, 190 está fabricado tal como para tener un radio de curvatura inferior o sustancialmente igual a un milímetro.

Según una realización, dicho tendón 90 es exclusivamente adecuado para trabajar bajo una carga de tracción aplicada en los puntos de extremo, evitando que dicho tendón se pellizque, se guíe lateralmente en un canal o comprenda una vaina.

Según una realización, dicho tendón 90, 190 es adecuado para alargarse previamente con un ciclo de carga que comprende al menos dos cargas de una entidad igual al menos a la mitad de la resistencia a la rotura por tracción de dicho tendón 90, 190.

- 35 Según una realización, dicho tendón 90 tiene una dimensión transversal, que es una dimensión que es sustancialmente ortogonal con respecto a dicha trayectoria de tendón T-T, variable en diferentes porciones de tendón.

40 Según una realización, dicho tendón 90, 190 tiene una sección transversal sustancialmente circular.

Según una realización, el diámetro de dicho tendón 90 es variable en diferentes porciones de dicho tendón 90.

- 45 Según una realización, dicho tendón 90 es más delgado en dicho segundo punto de extremo de tendón 92. Según una realización, dicho tendón 90 es más grueso en dicha porción longitudinal 19. De este modo, el tendón 90, 190 es adecuado para ser más flexible cerca de o en el punto de sujeción de tendón 82, así como para ser más rígido cerca de o en el interior de dicho árbol 65.

Según una realización, las propiedades mecánicas de dicho tendón 90 son variables en diferentes porciones de dicho tendón 90.

Según una realización, dicho tendón 90, 190 se obtiene uniendo o yuxtaponiendo porciones de tendón con diferentes características.

- 55 Según una realización, la composición de dicho tendón 90, 190 es variable en diferentes porciones de dicho tendón 90, 190.

Según una realización, dicho tendón 90, 190 tiene un diámetro de entre 0,1 mm y 0,3 mm.

- 60 Según una realización, dicho tendón 90 es adecuado para actuar conjuntamente con un tendón opuesto 190 para mover al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270.

Según una realización, cuando dicho tendón 90 y dicho tendón opuesto 190 son adecuados para que se tire de ellos simultáneamente con una fuerza que es mayor que la otra, se produce un movimiento controlado de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 o dicho instrumento médico 60, 160, 260.

Según una realización, cuando se tira de dicho tendón 90 y de dicho tendón opuesto 190 simultáneamente con la misma fuerza, se impide el movimiento de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70 de dicho instrumento médico 60.

- 5 Según una realización, se prevé un par de tendones 90, 190, en el que cada par comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190 para cada grado de libertad de movimiento para dicho dispositivo articulado 70.

A continuación se describe un método de accionamiento no reivindicado para un conjunto robótico 100.

- 10 Un método de accionamiento de un conjunto robótico quirúrgico comprende las siguientes fases:
- proporcionar un conjunto robótico 100 según una de cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente.
  - emplear al menos un sistema de visión que puede asociarse al conjunto robótico 100 para la visualización de al menos una porción del paciente 201.
  - posicionar dicho brazo de macroposicionamiento 30, de manera que el volumen de trabajo 7, alcanzado por al menos una porción de dicha porción terminal 77 esté dentro del campo de visión de dicho al menos un sistema de visión 103 que puede asociarse a dicho conjunto robótico 100;
  - accionar al menos un dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241, 341;
  - accionar al menos un dispositivo articulado 70, 170, 270 de un instrumento médico 60, 160, 260, 360.
- 25 Según un posible modo de funcionamiento, un método de accionamiento de un conjunto robótico quirúrgico comprende al menos una de las siguientes fases adicionales, enumeradas en un orden preferido, pero no necesario:
- liberar dicho brazo de macroposicionamiento 30 para poder arrastrarlo;
  - posicionar dicho brazo de macroposicionamiento 30, de modo que el volumen de trabajo 7 alcanzado por dicha al menos una porción terminal 77 esté dentro del campo de visión de dicho al menos un sistema de visión 103, que puede asociarse a dicho conjunto robótico 100;
  - bloquear dicho brazo de macroposicionamiento 30;
  - accionar dicho al menos un dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 por medio de dicho al menos un dispositivo de control 20;
  - accionar dicho al menos un dispositivo articulado 70, 170, 270 de los instrumentos médicos 60, 160, 260 por medio de dicho dispositivo de control 20.
- A continuación se describe un método de control para un dispositivo de control para microcirugía para un conjunto robótico microquirúrgico.
- 45 Un método de control para un dispositivo de control para microcirugía para un conjunto robótico microquirúrgico comprende las siguientes fases, enumeradas en un orden preferido, pero no necesario.
- proporcionar al menos un dispositivo de control microquirúrgico 20 según una de cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente;
  - manipular dicho instrumento de control 21;
  - mover al menos una porción de dicho instrumento de control 21 con respecto a dicho dispositivo de detección 22.
- 55 Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende al menos una de las siguientes fases adicionales:
- proporcionar un conjunto robótico microquirúrgico 100 según una de las realizaciones descritas anteriormente;
  - mover dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 por medio de dicho instrumento de control 21;
  - mover dicho dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 por medio de dicho instrumento de control 21;
  - usar un microscopio 103 que puede asociarse a dicho conjunto robótico 100 para visualizar al menos una porción de un paciente 201;

- activar un estado o modo de teleoperación, según el cual un movimiento del instrumento de control 21 en una primera dirección, con respecto a un sistema de coordenadas asociado con al menos uno de dicho dispositivo de detección 22 y dicho microscopio 103, corresponde a un movimiento de dicho microinstrumento quirúrgico 60, 160, 260 en la misma dirección con respecto a dicho sistema de coordenadas.

Según una realización, dicha porción del paciente 201 está comprendida en dicho volumen de trabajo 7.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las siguientes fases adicionales:

- proporcionar un dispositivo de control 20 adicional tal como para comprender un primer dispositivo de control 120 y un segundo dispositivo de control 220;

- manipular dicho primer dispositivo de control 120 con una primera mano;

- manipular dicho segundo dispositivo de control 220 con una segunda mano.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las siguientes fases adicionales:

- proporcionar un instrumento de control 21 adicional, tal como para comprender un primer instrumento de control 121 y un segundo instrumento de control 221;

- manipular dicho primer instrumento de control 121 con una mano;

- manipular dicho segundo instrumento de control 221 con la otra mano.

A continuación se describe un método para la fabricación de dicho instrumento médico 60, 160, 260.

Según un posible modo de funcionamiento, un método de fabricación para el instrumento médico 60, 160, 260 comprende una fase de fabricación de un instrumento médico 60, 160, 260 según una de cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, mediante al menos una técnica de fabricación aditiva.

Según un posible modo de funcionamiento, un método de fabricación de un instrumento médico 60, 160, 260 comprende una fase de fabricación de un instrumento médico mediante moldeo por microinyección. Dicho de otro modo, un método de fabricación para el instrumento médico 60, 160, 260 comprende una fase de fabricación de un instrumento médico por medio de micromoldeo.

A continuación se describe un método de accionamiento de un tendón 90, 190 para un instrumento médico 60, 160, 260.

Un método de accionamiento de un tendón 90 para un instrumento médico 60, 160, 260 comprende las siguientes fases, enumeradas en un orden de ejecución preferido, pero no necesario:

- A') proporcionar un sistema de accionamiento de tendón 50 según una de cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente;

- B') empujar al menos sobre una porción de dicho tendón 90, 190 tal como para desviar su trayectoria de tendón T-T;

- C') generar una carga de tracción en dicho tendón 90, 190.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende la fase adicional de proporcionar un conjunto de sistema de accionamiento según una de cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende al menos una de las siguientes fases adicionales:

-D') pretensar dicho tendón 90 antes de la fase B;

- E') accionar dicho conjunto empujador 94 antes de la fase B y después de la fase D;

-F') después de la fase C, mover al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de dicho instrumento médico 60, 160, 260;

-G') después de la fase F'), accionar dicho conjunto empujador opuesto 194;

- H') después de la fase G'), mover dicha al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 170 de dicho instrumento médico 60, 160, 260 de la fase F') en un sentido opuesto.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las fases adicionales de:

- I') accionar simultáneamente dicho conjunto empujador 94 y dicho conjunto empujador opuesto 194.

-J') tirar de dicho tendón 90 y de dicho tendón opuesto 190 con diferentes cantidades de fuerzas, siendo la fuerza sobre uno mayor que sobre el otro;

-K') mover al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de dicho instrumento médico 60, 160, 260 mediante un movimiento controlado.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las fases adicionales de:

-L') en lugar de la fase J'), tirar de dicho tendón 90 y de dicho tendón 190 sustancialmente con la misma cantidad de fuerza;

-M') en lugar de la fase K'), impedir el movimiento de al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de dicho instrumento médico 60, 160, 260.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las siguientes fases en lugar de las fases I'), J'), K'):

- N') accionar simultáneamente dicho conjunto empujador 94 y dicho conjunto empujador opuesto 194;

-O') tirar simultáneamente de dicho tendón (90) para recuperar una primera longitud de tendón de su porción proximal y liberar dicho tendón opuesto (190) liberando su porción proximal una segunda longitud del tendón opuesto, sustancialmente igual a la primera longitud de tendón,

-P') mover al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270 de dicho instrumento médico (60, 160, 260) mediante un movimiento controlado en relación con dicha longitud de tendón y longitud de tendón opuesto.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las fases adicionales de:

- accionar dicho tendón opuesto 190 por medio de dicho conjunto empujador opuesto 194;

- mover al menos una porción de dicho instrumento médico 60, 160, 260 por medio de dicho conjunto empujador 94.

A continuación se describe un método para reemplazar un tendón 90, 190 para un instrumento médico.

Según un posible modo de funcionamiento, un método para reemplazar un tendón 90, 190 comprende las siguientes fases:

- proporcionar un tendón 90, 190 adicional según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente;

- A") desmontar dicho tendón 90, 190 de dicho instrumento médico 60;

- B") montar dicho tendón 90, 190 adicional en dicho instrumento médico 60.

Según un posible modo de funcionamiento, el tendón 90 se une primero en dicho segundo punto de extremo de tendón 92 y luego en dicho primer punto de extremo de tendón 91.

Según un modo de funcionamiento, un método comprende las siguientes fases adicionales:

- C") antes de la fase A"), bloquear dicho émbolo (96), en una posición adecuada para eliminar cualquier tensión previa en el tendón 90 asociado.

Según una realización, dicho émbolo (96) se bloquea mediante el uso de un pasador insertado en el orificio de bloqueo de émbolo 48.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las siguientes fases adicionales:

- D") entre la fase A") y la fase B"), limpiar dicho instrumento médico 60.

Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase D") comprende una subfase adicional, que implica la inmersión de dicho instrumento médico 60 en un baño de disolventes orgánicos.

- 5 Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase A") comprende una subfase adicional de disolver dicho resto cualquiera del tendón 90.

Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase A") comprende una subfase adicional de introducir dicho instrumento médico 60 en un autoclave u otro sistema de esterilización.

- 10 Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase A") comprende una subfase adicional de introducir dicho instrumento médico 60 en un horno a una temperatura de entre 25 °C y 150 °C.

- 15 Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase A") comprende una subfase de sumergir dicho instrumento médico 60 en un baño de disolvente orgánico químico.

Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase B") comprende las siguientes subfases, de manera preferible, pero no necesaria, en el siguiente orden:

- 20 - bloquear dicho dispositivo articulado 70 en una posición de referencia y/o bloquear dicho émbolo 96 en su posición bloqueada;

- conectar dicho segundo punto de extremo 92 a dicho dispositivo articulado 70;

- 25 - enhebrar dicho tendón 90, 190 adicional dentro de dicho árbol 65,

- conectar dicho primer punto de extremo de tendón 91 a dicho armazón 57.

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende la siguiente fase adicional:

- 30 - E") después de la fase B"), calibrar dicho instrumento médico 60, 160, 260 identificando una nueva posición cero para los émbolos.

A continuación se describe un método de fabricación del dispositivo articulado 70, 170, 270.

- 35 Según un aspecto de la invención, un método de fabricación de un dispositivo articulado 70, 170, 270 comprende al menos las siguientes fases, en el orden preferido indicado a continuación:

- 40 - (A") proporcionar un accesorio de mecanizado 112 en una máquina de EDM y disponer una pluralidad de piezas de trabajo 117 en dicho accesorio de mecanizado 112.

- (B") cortar la geometría deseada en dichas piezas de trabajo 117 con cortar líneas paralelas entre sí.

- 45 La provisión de una sola etapa de corte en dichas piezas de trabajo con líneas de corte paralelas entre sí, permite el mecanizado de superficies que son paralelas entre sí en dichas piezas de trabajo, con una precisión extrema de paralelismo.

Según un posible modo de funcionamiento, el método de mecanizado descrito anteriormente permite el mecanizado de superficie regladas caracterizadas por generatrices paralelas en dichas piezas de trabajo 117.

- 50 Según un posible modo de funcionamiento, un método de mecanizado tal como se describió anteriormente permite el corte de piezas de trabajo de una dimensión muy pequeña, por ejemplo de dimensiones milimétricas o submilimétricas.

- 55 Según una realización, dicho método de mecanizado es adecuado para fabricar al menos un dispositivo articulado 70 que comprende una pluralidad de elementos de articulación 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78.

Según un posible modo de funcionamiento, dicho método de mecanizado es adecuado para mecanizar cortes paralelos en dichas piezas de trabajo 117 tal como para formar elementos de articulación que comprenden superficies paralelas entre sí.

- 60 Según un posible modo de funcionamiento, dicho método de mecanizado es adecuado para mecanizar cortes paralelos en dichas piezas de trabajo 117 tal como para formar elementos de articulación adecuados para ensamblarse de manera complementaria porque comprenden superficies que son paralelas entre sí.

- 65 Según un posible modo de funcionamiento, dicha máquina de EDM es adecuada para realizar EDM por hilo y

comprende un hilo de corte 115.

Según una realización, dicho hilo de corte 115, o hilo de EDM 115, o hilo de máquina de descarga eléctrica 115 es de un diámetro de entre 30 micrómetros y 100 micrómetros, y es preferiblemente de 50 micrómetros.

5

La provisión de un método de mecanizado tal como se describió anteriormente permite que se transfiera energía exclusivamente térmica a la pieza que está mecanizándose 117, evitando que se transfiera cualquier energía mecánica a la pieza que está mecanizándose 117, por ejemplo induciendo flexión, como es el caso cuando se llevan a cabo cortes con una máquina fresadora.

10

Según una realización, dicho método de mecanizado es adecuado para fabricar al menos un dispositivo articulado para aplicaciones en el sector médico-quirúrgico.

15

Según una realización, dicho método de mecanizado es adecuado para fabricar al menos un dispositivo articulado, adecuado para aplicaciones en mecánica de precisión, por ejemplo adecuado para su uso en relojería. Según una realización, dicho método de mecanizado es adecuado para fabricar al menos un dispositivo articulado, adecuado para aplicaciones en el sector de la joyería y/o la bisutería. Según una realización, dicho método de mecanizado es adecuado para la fabricación de al menos un dispositivo articulado, adecuado para aplicaciones en el montaje de productos electromecánicos.

20

Según un posible modo de funcionamiento, la fase (A'') comprende las siguientes subfases:

- montar una pluralidad de piezas de trabajo en dicho accesorio de mecanizado 112 en sus asientos de elemento 116 respectivos.

25

Según un posible modo de funcionamiento, se lleva a cabo en primer lugar una subfase durante dicha fase (A''):

- (A1'') proporcionar un accesorio de mecanizado 112 en una máquina de EDM;

30

y después la subfase:

- (A2'') disponer una pluralidad de piezas de trabajo 117 en dicho accesorio de mecanizado 112.

35

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende la siguiente fase adicional entre la subfase (A1'') y la subfase (A2''):

- (C'') llevar a cabo una calibración.

40

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende la siguiente fase adicional entre la fase (A'') y la fase (B''):

- (C'') llevar a cabo una calibración.

45

Según un posible modo de funcionamiento, un método comprende las siguientes fases adicionales después de la fase (B'').

- (D'') hacer rotar dicho accesorio de mecanizado 112.

50

- repetir dicha fase (B'').

Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase de hacer rotar dicho accesorio de mecanizado 112 comprende una fase adicional de usar una mesa rotativa para hacer rotar dicho accesorio de mecanizado 112, evitando desmontar dicho accesorio de mecanizado 112 de la máquina de corte para llevar a cabo las siguientes fases:

55

- hacer rotar dicho accesorio de mecanizado 112;

- llevar a cabo una segunda calibración, o calibración de corte, exclusivamente en dicha varilla de referencia 118,

60

- repetir dicha fase (B'').

Según un posible modo de funcionamiento, dicha fase (C''), llevar a cabo una calibración, comprende las siguientes subfases:

65

- conectar la máquina de EDM;

- proporcionar una varilla de referencia 118 con su eje paralelo a dichos asientos de elemento 116 de las piezas de trabajo 117;
- 5    - poner dicho hilo de corte 115 en contacto con una primera porción 122 de dicha varilla de referencia 118, o porción orientada hacia el lado aproximación de hilo 122;
- medir, o registrar, la posición de dicho hilo;
- 10    y/o
- medir, o registrar, la posición de dicho hilo de corte 115, cuando está en contacto con una primera porción de una primera pieza de trabajo que va a mecanizarse, o la porción orientada hacia el lado de aproximación de hilo; ejecutar la fase anterior para cada pieza de trabajo 117;
- 15    y/o
- poner el hilo de corte 115 en contacto con una segunda porción de varilla 123 de dicha varilla de referencia 118, o porción orientada hacia el lado de salida de hilo 123, opuesta con respecto a dicha primera porción de varilla 122;
- 20    - medir, o registrar, la posición de dicho hilo de corte 115;
- calcular la posición del eje de dicha varilla de referencia 118 como un punto medio entre la posición de dicho hilo cuando está en contacto con dicha primera porción de varilla y la posición de dicho hilo cuando está en contacto con dicha segunda porción de varilla.
- 25    y/o
- 30    - medir, o registrar, la posición de dicho hilo de corte 115 cuando está en contacto con una segunda porción de dicha primera pieza de trabajo, o la porción orientada hacia el lado de salida de hilo;
- calcular la posición de dicha primera pieza de trabajo como un punto medio entre la posición de dicho hilo cuando está en contacto con dicha primera porción de la pieza de trabajo y la posición de dicho hilo cuando está en contacto con dicha segunda porción de la pieza de trabajo;
- 35    y /o
- ejecutar la fase anterior para cada pieza de trabajo 117;
- 40    y/o
- repetir el procedimiento para todos los planos de corte X-Y, Y-Z, X-Z.
- 45    Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 de un dispositivo articulado 70, 170, 270 es adecuado para montarse en una máquina para EDM.
- 50    Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 es adecuado para realizar al menos dos cortes en diferentes planos de corte en piezas de trabajo 117 mediante el uso de un solo perfil de corte 110 por plano de corte.
- 55    Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 comprende un primer par de superficies de fijación 113, 114, que están rectificadas, opuestas y sustancialmente paralelas entre sí y sustancialmente ortogonales a un primer plano de corte X-Y.
- 60    Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 comprende un segundo par de superficies de fijación 134, 135, que están rectificadas, opuestas y sustancialmente paralelas entre sí y sustancialmente ortogonales a un segundo plano de corte Y-Z.
- Según una realización, dicho primer par de superficies de fijación 113, 114 y dicho segundo par de superficies de fijación 134, 135 están rectificadas.
- Según una realización, cada par de superficies de ubicación comprende al menos una superficie de fijación de base 113, 135 y al menos una superficie de fijación de accesorio 114, 134.
- 65    Según una realización, dicha pluralidad de asientos de elemento 116 están dispuestos secuencialmente de manera que una línea recta de traslación, sustancialmente ortogonal a dicho primer plano de corte X-Y, o sustancialmente

ortogonal a dicho segundo plano de corte Y-Z, intersecaría como máximo solo una de dichas piezas de trabajo 117 a la vez, cuando dichas piezas de trabajo se montan en asientos de elemento 116 respectivos.

Según una realización, dichos asientos de elemento 116 son sustancialmente paralelos entre sí.

5

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 también comprende un par de superficies de ubicación, opuestas y sustancialmente paralelas entre sí y sustancialmente ortogonales a un tercer plano de corte X-Z.

Según una realización, dicho tercer par de superficies de ubicación comprende al menos un orificio de guía 125, y el hilo de EDM 115 de dicha máquina de EDM se inserta al menos en dicho orificio de guía 125, para evitar que el hilo de EDM entre en contacto con al menos un accesorio de mecanizado 112, durante el corte.

10

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 también comprende:

una pluralidad de asientos de elemento 116, cada uno adecuado para recibir al menos una pieza de trabajo 117, siendo adecuada dicha pieza de trabajo 117 para realizar al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70, 170, 270.

15

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 también comprende al menos una varilla de referencia 118, adecuada para permitir la calibración del corte.

20

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 comprende al menos un elemento de fijación, o elemento de sujeción, adecuado para conectar firmemente dicha al menos una pieza de trabajo 117 en su asiento de elemento 116 respectivo.

25

Según una realización, dicho al menos un elemento de sujeción es pegamento conductor.

Según una realización, dicho al menos un elemento de sujeción es un tornillo prisionero.

Según una realización, dicho tornillo prisionero es adecuado para montarse en un orificio roscado suministrado en dicha al menos una superficie de sujeción.

30

Según una realización, dicho tornillo prisionero de sujeción, es adecuado para penetrar en dicho orificio roscado e de dicha superficie de sujeción.

35

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 comprende cuatro asientos de elemento 116 y una varilla de referencia 118.

Según una realización, cada asiento de elemento 116 está posicionado sustancialmente a la misma distancia de su superficie de sujeción respectiva.

40

Según una realización, dichas superficies de sujeción están posicionadas de manera escalonada, tal como para formar un perfil con forma de escalera. Dicho de otro modo, dichas superficies de sujeción están posicionadas de manera escalonada, tal como para formar un perfil con forma de escalera con respecto a al menos un plano de corte X-Y, Y-Z, X-Z.

45

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 tiene una superficie orientada hacia cualquier plano de corte X-Y, Y-Z, X-Z inferior a 10000 milímetros cuadrados.

Según una realización, dicho accesorio de mecanizado 112 tiene una superficie orientada hacia cualquier plano de corte X-Y, Y-Z, X-Z inferior a 5000 milímetros cuadrados.

50

Los procedimientos microquirúrgicos conocidos se llevan a cabo manualmente por el cirujano 200, o microcirujano 200, mediante el uso de instrumentos manuales, tales como pinzas, tijeras y portaagujas, usados para manipular tejidos y conductos muy frágiles con un diámetro de 1 mm o menos. La etapa del procedimiento microquirúrgico realizada más comúnmente es la anastomosis, en la que dos vasos pequeños cortados se suturan de nuevo entre sí para restablecer el flujo sanguíneo. Este procedimiento se lleva a cabo sosteniendo los dos salientes de vaso adyacentes con abrazaderas específicas y usando agujas de pequeño calibre para realizar la sutura. El microcirujano 200 debe realizar por tanto movimientos muy pequeños, tratando de limitar el temblor natural de la mano y mantener un alto nivel tanto de concentración como de sensibilidad con el fin de manipular delicadamente los tejidos frágiles con los que interactúa a través de los instrumentos. Es evidente que la robótica puede aportar una mejora significativa al rendimiento de procedimientos microquirúrgicos complejos.

55

Según una realización, dicho conjunto robótico 100 tiene la función de dar soporte al cirujano 200 en la ejecución de un procedimiento microquirúrgico mediante el uso de dispositivos articulados y dispositivos robóticos que garantizan movimientos extremadamente precisos, que reducen a escala el movimiento real de la mano del

65

cirujano 200 eliminando cualquier temblor al tiempo que se reproduce la cinemática de la muñeca humana a pequeña escala.

5 Según una realización, dicho conjunto robótico quirúrgico 100 comprende un soporte 104, un brazo de macroposicionamiento articulado 30, y un par de dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241. Un instrumento médico 60, 160, 260, que comprende una caja de motor 61 y un dispositivo articulado estéril 70, 170, 270 está unido a cada dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241.

10 Dos dispositivos de control 20, adecuados para el control robótico de los dos instrumentos médicos 60, 160, 260 y de los dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241, están conectados al soporte 104 mediante cables de comunicación 109. Todas las placas de circuito de control electrónico y las fuentes de alimentación del conjunto robótico 100 están integradas en el soporte 104, mientras que un panel de control 108, para encender y apagar y para la gestión de mensajes de usuario del conjunto robótico 100 por un cirujano, está situado en su superficie. Una entrada dedicada, externa, de vídeomicroscopio permite la integración de cualquier microscopio 103 externo  
15 tradicional para microcirugía. Un microscopio digital 103 está integrado en el sistema para visualizar el volumen de trabajo 7 sustancialmente superpuesto de los dos dispositivos articulados estériles 70, 170, 270.

Según una realización, una posible configuración del conjunto robótico quirúrgico 100 está dedicada específicamente a realizar procedimientos microquirúrgicos en las extremidades o en los colgajos libres. Está compuesto por una mesa de operaciones 102 sobre la que se coloca la extremidad que va a operarse, o el colgajo libre, y comprende el uso de un par de dispositivos articulados 70, 170, 270 conectados a dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241 y controlados de manera remota en tiempo real por el microcirujano 200 mediante sus dispositivos de control 20 respectivos. Obsérvese que el microscopio 103 no forma parte del conjunto robótico quirúrgico 100 sino que es un elemento independiente, fundamental para la visualización del volumen de  
20 trabajo 7 durante la realización del procedimiento.

Según una realización, una posible configuración del conjunto robótico quirúrgico 100, particularmente adecuada para procedimientos de reconstrucción de mama, pero también adecuada para llevar a cabo microcirugías en todas las demás partes del cuerpo, está compuesta por: un soporte 104 que permite el soporte del conjunto robótico quirúrgico 100 y para su transferencia al quirófano a una posición adyacente a la mesa de operaciones móvil 102 sobre la que está tumbado el paciente 201, un brazo de macroposicionamiento articulado pasivo 30 que se extiende desde el soporte 104 y permite que la parte activa del conjunto robótico quirúrgico 100 alcance el sitio anatómico implicado en el procedimiento. Un par de dispositivos de microposicionamiento de precisión 41, 141, 241 o dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241, cada uno con cuatro grados de libertad, a los que se unen los  
30 respectivos instrumentos médicos 60, 160, 260, y que utiliza el cirujano 200 para realizar el procedimiento microquirúrgico manipulando tanto el tejido como las agujas de sutura pequeñas, están colocados en el extremo del conjunto robótico quirúrgico 100. Todo el procedimiento se lleva a cabo bajo la guía de visión proporcionada por un microscopio quirúrgico 103 tradicional externo.

40 Según una realización, el soporte 104 tiene tanto una función estructural como de transporte para el conjunto robótico quirúrgico 100, mientras que el brazo de macroposicionamiento 30 conectado al mismo permite el posicionamiento simultáneo de un par de dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241 y los instrumentos médicos 60, 160, 260 en proximidad a la región anatómica sobre la que se hará funcionar. Los dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241 y los instrumentos médicos 60, 160, 260 se mueven activamente y se controlan  
45 en tiempo real por los dispositivos de control 20.

Según una realización, cada dispositivo de control 20 está equipado con una abrazadera o apoyo de soporte, que puede posicionarse de manera independiente, por ejemplo, conectándose a la mesa de operaciones 102. Dichos dispositivos de control 20 están conectados al conjunto robótico quirúrgico 100 mediante un cable de alimentación  
50 107, también adecuado para la transmisión de datos de control.

Según una realización, para simplificar el transporte del conjunto robótico quirúrgico 100, un asidero retráctil 106 y una plataforma para los pies 105 están posicionados en un lado posterior. El carro 104 tiene un panel de control 108 en una superficie posterior para la gestión de los parámetros del conjunto robótico quirúrgico 100 por parte del  
55 usuario y para la visualización de mensajes o advertencias de la propia máquina. En el mismo lado están presentes conmutadores de encendido/apagado (botones de alimentación) y un botón de parada de emergencia. Un cable de alimentación 107 suministra corriente eléctrica a todo el sistema, mientras que los datos de vídeo adquiridos por el microscopio digital se pasan al conjunto robótico quirúrgico 100 a través de un cable de comunicación 109, para poder integrar información derivada de la visión en los controles. Según una realización, dicho conjunto robótico quirúrgico 100 comprende una plataforma para los pies 105, adecuada para usarse junto o  
60 alternativamente a un asidero retráctil 106 para el transporte del conjunto robótico 100 durante su posicionamiento en el quirófano, colocado en la parte inferior del lado posterior del carro.

Dicha plataforma para los pies 105 permite que el pie de un cirujano responsable del movimiento de dicho conjunto robótico 100 descansen sobre ella, de manera que el conjunto robótico 100 también puede empujarse desde la base, eliminando el riesgo de que vuelque mientras se mueve.  
65

Según una realización, el dispositivo de control 20 tiene la función de controlar el movimiento robótico de los dispositivos de microposicionamiento y del instrumento médico 60, 160, 260. El dispositivo de control 20 comprende un instrumento de control 21, cuya posición en el espacio se detecta en tiempo real por un sensor de seguimiento magnético. El sensor de seguimiento magnético está realizado de un generador de campo magnético y de marcadores cableados que contienen microbobinas, tales como, por ejemplo, pero sin limitarse a, el producto "sistema de seguimiento NDI AURORA V3" que comprende un "generador de campo plano" y un sensor "Mini 6DOF" de la empresa "NDI - Northern Digital Inc., 103 Randall Drive Waterloo, Ontario, Canadá N2V1C5". El instrumento de control 21 integra todos los marcadores necesarios para la detección de las seis coordenadas espaciales del instrumento de control 21 con respecto a una estructura de base 67 y comprende un grado de libertad adicional de agarre ubicado en su porción de punta 68, cuyo ángulo de apertura se mide mediante un sensor de punta 29. Dicho sensor 29 de punta es un sensor de posición o un sensor de proximidad. Un tendón de conexión 23 conecta el instrumento de control 21 a una estructura base 67 que contiene un generador de campo magnético, adecuado tanto para alimentación como para transmisión de datos entre el instrumento de control 21 y dicha estructura base 67, de manera particular, pero no necesaria, cuando comprende un dispositivo de detección 22. Un tendón de alimentación y comunicación 24 conecta el generador de campo magnético a la fuente de alimentación externa en el carro 104 del conjunto robótico, transfiriendo los datos relativos a la posición y orientación del instrumento de control, así como al ángulo de apertura de las pinzas del instrumento de control 21. Un marcador adicional para la detección de las seis coordenadas espaciales del carro con respecto a la estructura de base 67 está presente en el soporte 104 y conectado mediante el tendón de alimentación y comunicación 24 a la estructura de base 67. Están integradas luces de señal de estado 26 en la estructura base 67 y comunican la actividad del dispositivo de control al usuario. Se ha realizado un soporte de cirujano ergonómico, dedicado, blando 27 para permitir un uso ergonómico del dispositivo de control 20, mientras que el instrumento de control 21 reproduce la geometría de microinstrumentos tradicionales tales como las pinzas y el portaagujas para hacer su manejo más intuitivo y familiar para el cirujano.

Según una realización, el brazo de macroposicionamiento 30 permite que las partes activas del conjunto robótico 100 alcancen las zonas anatómicas implicadas en el procedimiento quirúrgico, tales como, por ejemplo, los dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241 y los instrumentos médicos 60, 160, 260. Dicho brazo de macroposicionamiento 30 está compuesto por cuatro elementos 31, 32, 33, 34 conectados entre sí en serie por articulaciones rotatorias pasivas, teniendo cada una de ellas ejes de movimiento de brazo verticales y paralelos a-a, b-b, c-c. En el interior de cada articulación rotatoria, frenos electromagnéticos permiten bloquear la posición de cada elemento individual en el espacio. Un botón de liberación de freno dedicado 35, posicionado debajo en el lado inferior del cuarto elemento de brazo 34 para facilitar su asimiento y activación, permite que todos los frenos de articulación se liberen simultáneamente y, por tanto, vuelvan a colocar cada elemento de brazo en el espacio según requiera el usuario. La nueva posición puede quedar congelada entonces si no se presiona el botón de liberación 35.

Según una realización, el primer elemento 31 del brazo de macroposicionamiento 30 está conectado a un carro 104 mediante un mecanismo de cremallera y piñón que permite controlar manualmente el movimiento de dicho brazo de macroposicionamiento 30 dentro de una guía de deslizamiento lineal 36 dedicada a lo largo de un eje de desplazamiento lineal preferiblemente vertical, cuando se gira un pomo manual 37.

Según una realización, el cuarto elemento 34 del brazo de macroposicionamiento 30 tiene una articulación rotatoria en su punta, que se activa manualmente mediante una tuerca de disco rotatoria 43 dedicada que gira alrededor de un cuarto eje de movimiento de brazo d-d, perpendicular al tercer eje de movimiento de brazo c-c.

Según una realización, el brazo de macroposicionamiento 30 está conectado al elemento de soporte 38 a través de la articulación rotatoria, que se activa manualmente a través del movimiento de dicha tuerca de disco rotatoria 43. Un par de dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241 está conectado a las dos extremidades de dicho elemento de soporte 38 que también porta una cámara de vídeo 45 en su sección media, que puede visualizar imágenes ampliadas del volumen de trabajo 7 en el que se lleva a cabo la microcirugía. Los instrumentos médicos 60, 160, 260 están unidos rígidamente a una porción distal de los dispositivos de microposicionamiento 41, 141, 241.

Según una realización, el dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 comprende tres correderas motorizadas 51, 52, 53, conectadas ortogonalmente entre sí y que pueden moverse cada una independientemente a lo largo de tres ejes de desplazamiento lineal f-f, g-g, h-h respectivos, y una articulación rotativa motorizada 46.

Según una realización, dichas correderas motorizadas 51, 52, 53 son microcorrederas motorizadas. El instrumento médico 60, 160, 260 está unido rígidamente al dispositivo de microposicionamiento 41, 141, 241 mediante una articulación rotativa motorizada 46 que lo hace girar alrededor de su eje de rotación longitudinal r-r.

Según una realización, el instrumento médico 60 tiene una caja de motor 61 que contiene al menos un sistema de accionamiento de tendón 50 equipado para accionar el dispositivo articulado 70 de dicho instrumento médico 60 y su dispositivo terminal 77. Según una realización, el mecanismo de transmisión integrado dentro de la caja de

transmisión mecánica 62, conectada a la caja de motor 61, transmite el movimiento al instrumento médico 60 a través del árbol 65 al dispositivo articulado 70 y al dispositivo terminal 77.

- 5 Según una realización, el instrumento médico 60 está realizado de una caja de motor 61 que contiene los actuadores para accionar el instrumento médico 60, las placas de control electrónico asociados y las placas de accionamiento de motor. La caja de transmisión mecánica 62, que contiene los mecanismos dedicados para transmitir el movimiento del motor a través de dicho árbol 65 a lo largo de la dirección de árbol longitudinal X-X, al dispositivo articulado y al dispositivo terminal 77, está conectada a dicha caja de motor 61.
- 10 Según una realización, la caja de motor 61 contiene seis elementos de empuje 95 asociados a tres grados de libertad del instrumento médico 60. En particular, dichos elementos de empuje se mueven por al menos un conjunto empujador 94, que comprende micromotores eléctricos con tornillos de avance de un sistema de transmisión lineal. Unos pistones de activación 95 salen de la pared de la caja de motor 61 orientados hacia la caja de transmisión 62 y activan el mecanismo de transmisión integrado en la caja de transmisión mecánica 62.
- 15 Según una realización, la caja de motor 61 y la caja de transmisión mecánica 62 están separadas por una barrera estéril 87 y pueden conectarse de manera solidaria entre sí mediante características de conexión, por ejemplo a través de una conexión de bayoneta, tal como se muestra en la figura 12.
- 20 Según una realización, el árbol 65 es hueco, está fabricado de metal, se extiende a lo largo de la dirección del árbol longitudinal X-X y se inserta en la caja de transmisión mecánica 62. El dispositivo articulado 70, 170, 270 con el dispositivo terminal 77 en la punta se inserta en el otro extremo o punta de árbol.
- 25 Según una realización, los seis elementos de empuje 95, implementados como pistones de activación conectados a motores, se acoplan con los émbolos 96 respectivos de la caja de transmisión mecánica 62 conectando de ese modo la caja de motor 61 con la caja de transmisión mecánica 62.
- Según una realización, dicho elemento de empuje 95 y dichos émbolos 96 están separados por una barrera estéril 87.
- 30 Según una realización, los émbolos 96 pueden moverse linealmente a lo largo del eje de movimiento de pistón y se mantienen en una alineación apropiada por medio de casquillos lineales no representados insertados en la primera sección de armazón 58, o armazón superior 58, y por medio de superficies de saliente 88 respectivas.
- 35 Según una realización, la activación del dispositivo articulado 70 se asigna a seis tendones 90, o cables de activación 90, que son independientes y discurren desde una superficie de sujeción de tendón 84 en la caja de transmisión mecánica 62, hasta el dispositivo articulado 70 del instrumento médico 60, a través de la caja de transmisión mecánica 62, el orificio de paso de tendón y el árbol hueco 65.
- 40 Según una realización, en su sección que discurre dentro de la caja de transmisión mecánica 62, cada tendón 90 se enrolla alrededor de cada una de las cuatro poleas de guiado 97 respectivas, montadas en dicho armazón inferior 59, tal como para cambiar su dirección de trayectoria hasta alinearse con el eje de instrumento X-X. Tales poleas de guiado 97 puede ser poleas fijas o locas y en una configuración preferida son poleas locas, con la excepción de la primera polea de guiado 197, posicionada más cerca del primer punto de extremo de tendón 91,
- 45 que es una polea de guiado fija 197.
- Según una realización, una polea loca de émbolo 98 adicional, está posicionada en cada émbolo 96 y se mueve de manera solidaria con él a lo largo del eje de movimiento de la polea de pistón lineal. Cada tendón de activación 90 también se enrolla parcialmente alrededor de la polea loca de émbolo 98 respectiva, sujeta al émbolo 96 respectivo. Dicha polea loca de émbolo 98 está ubicada entre dicha primera polea de guiado 197 y una segunda polea de guiado 297.
- 50 Según una realización, el movimiento del émbolo 96 y, por tanto, de la polea loca de émbolo 98, inducido por el pistón de activación 95, empuja el tendón 90 y por tanto varía su longitud de trayectoria entre dicha primera polea de guiado 197 y dicha segunda polea de guiado 297. Este cambio en la longitud se transmite por medio de dicho mecanismo de transmisión a la articulación distal del instrumento médico 60, 160, 260, dando como resultado su activación.
- 55 Según una realización, un resorte 99, adecuado para trabajar por compresión, está insertado entre la polea loca de émbolo 98 y el armazón superior 58 alrededor del émbolo 96.
- 60 Según una realización, dicho resorte 99 genera una fuerza dirigida a lo largo del eje de dirección de movimiento del émbolo y establece una precarga variable en cada émbolo 96 suficiente para mantener siempre el tendón 90 bajo una tensión ligera y evitar su descarrilamiento de dichos elementos de guiado 97, 98, 197, 297 durante cambios en su carga de tracción.
- 65

Según una realización, un elemento de guía de tendón 89 mantiene cada tendón 90 en posición e impide su descarrilamiento, incluso en casos de anomalías tales como una pérdida de tensión en los tendones 90.

Según una realización, el dispositivo articulado 70 usa seis tendones poliméricos de baja fricción, bajo radio de curvatura mínimo y alta rigidez como medios de transmisión de movimiento para la activación de los tres grados de libertad de movimiento de los que es capaz el dispositivo articulado 70, 170, 270. Cada cable de activación, o tendón, 90, se pega con un pegamento acrílico de baja viscosidad a la superficie de sujeción de tendón 84 del armazón inferior 59 y cambia su dirección pasando a través de cuatro elementos de guía sucesivos 97, 197, 297, solidarios con el armazón inferior 59 hasta que alcanza el centro de la caja de transmisión 62 y entra a través de un orificio central en el árbol 65 del instrumento médico 60, 160, 260 que discurre en la dirección del instrumento X-X, hasta el dispositivo articulado 70, 170, 270.

Tal como se muestra en la figura 13, la primera polea de guiado 197 de cada cable de activación 90 es una polea fija 197 sobre la que se enrolla el tendón 90. Los elementos de guía sucesivos son poleas locas, alrededor de las cuales se enrolla parcialmente el tendón 90. Entre dicha primera polea de guiado 197 y dicha segunda polea de guiado 297 se proporciona un espacio que permite el movimiento lineal del émbolo 96 activado por el pistón de activación 95.

Según una realización, al menos un tendón 90 se enrolla alrededor de al menos cuatro poleas de guiado 197, 297, 397, 497, definiendo de ese modo un tercer elemento de guía 397 y un cuarto elemento de guía 497. Entre dicho tercer elemento de guía 397 y dicho cuarto elemento de guía 497, un elemento de guía de tendón 89 mantiene el tendón 90 en la posición correcta y evita el descarrilamiento del tendón 90, incluso en casos tales como una pérdida anómala de tensión.

Según una realización, los elementos de articulación que forman el dispositivo articulado 70, 170, 270 y su dispositivo terminal 77, reproducen la cinemática de la muñeca humana añadiendo un grado de libertad de movimiento de asimiento en la punta, para un total de tres grados de libertad de movimiento.

Según una realización, un primer elemento de articulación 71 y un segundo elemento de articulación 72 están conectados entre sí por una articulación rotatoria 171 alrededor de un primer eje de rotación P-P, seguidos por una primera porción del elemento terminal 177 y una segunda porción del elemento terminal 277, ambos conectados a dicho segundo elemento de articulación 72, que rotan libremente alrededor de un segundo eje de movimiento de articulación Y-Y, ortogonal al primer eje de movimiento de articulación P-P y proporcionando un dispositivo terminal 77 en la punta.

Según una realización, el primer elemento 71 se bloquea o se une de manera concéntrica con el árbol 65 del instrumento médico 60 y se une rígidamente a él a través de pasadores de sujeción 76.

Según una realización, seis cables de activación 90 discurren a través del árbol de instrumento médico dispuestos respectivamente dos grupos planos de tres dispuestos simétricamente con respecto a un plano de sección de árbol definido por el eje del instrumento X-X y por su primer eje de articulación de la articulación P-P.

Según una realización, el tendón y el tendón opuesto 90, 190 asociados al segundo elemento de articulación 72, que proporcionan su rotación en sentido horario y antihorario alrededor de dicho primer eje de movimiento de articulación P-P, se disponen opuestos entre sí con respecto a dicho plano de sección, se deslizan sobre dos superficies de deslizamiento laterales opuestas 40 del primer elemento 71, luego ambos atraviesan dicho plano de sección antes de dicho primer eje de movimiento de articulación P-P, luego se enrollan alrededor de al menos una superficie de deslizamiento de articulación 80 del segundo elemento 72 y finalmente se unen a dicho segundo elemento 72.

Según una realización, el tendón y el tendón opuesto 90 asociados a la primera porción del elemento terminal 177, como los dos tendones 90 asociados a la segunda porción del elemento terminal 277, discurren ambos en el mismo lado de dicho plano de sección de árbol, ambos se deslizan en la misma superficie de deslizamiento lateral 40, 140 del primer elemento 71, luego ambos atraviesan dicho plano de sección antes del primer eje de movimiento de articulación P-P, luego ambos se enrollan alrededor de al menos una misma superficie de deslizamiento 80 del segundo elemento 72 y continúan su trayectoria para terminar el enrollamiento en sentidos opuestos en la superficie de enrollamiento 86 del elemento terminal 77. Cuando sólo se activan las primeras porciones del elemento terminal 177 o sólo la segunda porción del elemento terminal 277, los tendones 90 asociados a dicha primera porción de elemento terminal 177 y asociados a dicha segunda porción de elemento terminal 277 se deslizan a lo largo de la superficie de deslizamiento 80 del segundo elemento 72.

Según una realización, el movimiento del dispositivo articulado 70 se realiza mediante cables de activación poliméricos 90, o tendones poliméricos 90. Estos tendones 90 discurren a través de la caja de transmisión mecánica 62, discurren a lo largo de todo el árbol hueco 65 y llegan al dispositivo articulado 70 y al dispositivo terminal 77.

Según una realización, la transmisión del movimiento a las articulaciones del dispositivo articulado 70 es una función de la trayectoria de los tendones 90 en el dispositivo articulado.

5 Aprovechando la baja fricción, el radio de curvatura muy pequeño de los tendones 90, los tendones se deslizan a través de los elementos de articulación que constituyen el dispositivo articulado y se enrollan alrededor de los diversos ejes de movimiento de articulación P-P, Y-Y.

10 Según una realización, los elementos que constituyen el dispositivo articulado 70 están conectados, de hecho, entre sí por una característica de soporte de eje de la articulación rotatoria 171. Cada elemento tiene superficies de deslizamiento de articulación 80, o superficies de enrollamiento de articulación 86 para los tendones 90, tanto alrededor del eje de movimiento de articulación P-P, Y-Y como a lo largo de su cuerpo.

15 Según una realización, puede incluirse un elemento de articulación de codo 75 adicional, posicionado antes de un elemento de articulación de muñeca 78, adecuado para reproducir la cinemática de la muñeca humana, proporcionando un elemento de articulación de codo 75 caracterizado por tener dos ejes de movimiento de articulación P-P, P-P paralelos distintos. Según una realización, el primer elemento 71 está acoplado a dicho elemento de codo 75 que tiene dos ejes de movimiento de articulación P-P, P-P distintos y paralelos, uno más proximal y uno más distal, que son la primera articulación y la segunda articulación, respectivamente. Dicho elemento de codo 75 tiene dos superficies de deslizamiento laterales 40, 140 dispuestas lateralmente opuestas entre sí con respecto a un segundo plano de sección, definido como el plano que contiene el primer eje P-P y el segundo eje de movimiento de articulación Y-Y.

20 Según una realización, hay ocho cables de activación 90, 190. Dichos ocho cables de activación, o tendones, discurren sobre las superficies de deslizamiento laterales 40, 140 del primer elemento, dispuestos en un grupo de cuatro opuestos a otro grupo de cuatro con respecto a dicho primer plano de sección, y atraviesan dicho plano de sección antes del primer eje de movimiento de articulación P-P, por lo que discurren sobre la primera superficie de deslizamiento de articulación 80 del elemento de codo 75.

30 Según una realización, dos cables de activación 90, 190, dedicados al movimiento de articulación rotatoria 171 del elemento de codo, terminan en dicho elemento de codo 75. Los seis cables 90, 190 restantes continúan a lo largo de las superficies de deslizamiento laterales 40, 140 de la articulación rotatoria 171 del codo, atravesando un segundo plano de sección antes de dicho segundo eje de articulación. La progresión siguiente de los tendones alrededor de los elementos segundo, tercero y cuarto 72, 73, 74, hacia la primera porción de elemento terminal 177 y la segunda porción de elemento terminal 277 es análoga a lo que se ha descrito anteriormente en la presentación de la configuración de muñeca.

Según una realización, todos los elementos que forman el dispositivo articulado 70 y el dispositivo terminal 77 se fabrican mediante un EDM por hilo realizado en dos planos de trabajo ortogonales X-Y, Y-Z.

40 Según una realización, en la fabricación del primer elemento 71 a partir de una pieza cilíndrica que va a mecanizarse 117, dicho primer elemento presenta dos superficies circulares que permiten su inserción concéntrica en el árbol 65.

45 Según una realización, dichas superficies circulares presentan características coincidentes en una porción inferior, tal como orificios pasantes, que permiten la unión rígida de dicho primer elemento del árbol 65 por medio de pasadores de sujeción 76. Dicho primer elemento 71 presenta en una porción distal dos características para soportar la articulación rotatoria 171, estando cada una caracterizada por un asiento cilíndrico centrado alrededor de dicho primer eje de movimiento de articulación P-P y una superficie de saliente lateral.

50 Según una realización, todos los orificios, que están mecanizándose mediante EDM por hilo, tal como los orificios de pasador 79, tienen ranuras de mecanizado 49 adicionales que resultan del paso del hilo de corte 115.

55 Según una realización, habiendo definido dicho plano de sección que contiene el eje del instrumento X-X y el primer eje de movimiento de articulación P-P, el primer elemento 71 presenta dos superficies de deslizamiento de tendón opuestas 40, 140 teniendo cada una, formas redondeadas que son simétricamente opuestas, es decir imágenes especulares con respecto a dicho plano de sección.

60 Según una realización, al mecanizarse mediante EDM por hilo, cada superficie de deslizamiento 80, 180, 40, 140 resulta del movimiento de barrido de generatrices rectas paralelas que se mueven directamente a lo largo de un perfil de corte 110.

65 Según una realización, los cables de activación 90 se deslizan en dos grupos de tres, respectivamente a lo largo de las dos superficies de deslizamiento laterales 40, 140, una opuesta a la otra en el primer elemento 71 y cruzan dicho plano de sección antes del primer eje de rotación para luego continuar sobre el segundo elemento 72.

Según una realización, dicho segundo elemento 72 tiene una superficie de deslizamiento de articulación 80

proximalmente dispuesta alrededor de dicho primer eje de movimiento de articulación P-P que tiene una porción cilíndrica.

5 Según una realización, dicha superficie de deslizamiento de articulación 80 está formada por generatrices rectas paralelas que siguen el perfil de corte de EDM por hilo.

10 Según una realización, una característica de sujeción de pasador 76 y una superficie de saliente lateral caracterizan la articulación del primer elemento 71 alrededor del primer eje de movimiento de articulación P-P. Dos características de terminación de tendón 82 se derivan lateralmente del segundo elemento 72 permitiendo la sujeción del segundo punto de extremo de tendón 92 del segundo elemento mediante nudo o pegado. Distalmente, dos características de soporte para la articulación rotatoria tercera y cuarta se caracterizan cada una por un orificio de pasador 79 alrededor del segundo eje de movimiento de articulación Y-Y y una superficie de saliente lateral.

15 Según una realización, el segundo eje de movimiento de articulación Y-Y es ortogonal al primer eje de movimiento de articulación P-P. Al mecanizarse mediante EDM por hilo, el orificio de pasador 79 tiene ranuras de mecanizado 49, que resultan del hilo de corte 115.

20 Según una realización, el tercer elemento 73 se caracteriza por un orificio de pasador 79 ubicado alrededor del segundo eje de movimiento de articulación Y-Y. El tercer elemento 73 se acopla al segundo elemento 72 mediante un asiento para un pasador de articulación y una superficie de saliente lateral asociada. Una superficie de enrollamiento 86 de los cables de activación 90, 190 permite el enrollamiento de los cables de activación 90, 190 alrededor de esa superficie de enrollamiento 86 que es concéntrica al segundo eje de movimiento de articulación Y-Y.

25 Lateralmente al tercer elemento 73 se derivan una característica de terminación de tendón 82 y puntos de sujeción de tendón 82. La característica de terminación de tendón 82 permite el paso de los tendones 90, y el punto de sujeción de tendón 82 sostiene el segundo punto de extremo de tendón 92, 192 del tercer elemento 73, definido por nudos.

30 Según una realización, la primera porción del elemento terminal 177 y la segunda porción del elemento terminal 277 están articuladas al segundo elemento 72, compartiendo el mismo segundo eje de movimiento de articulación Y-Y.

35 Según una realización, la primera porción del elemento terminal 177 es la forma especular de la forma de la segunda porción del elemento terminal 277.

Según una realización, el tercer elemento 73 puede acoplarse individualmente al segundo elemento 72 si el dispositivo terminal 77, presente en el tercer elemento 73, es un instrumento médico 60 de tipo quirúrgico o microquirúrgico, similar a, por ejemplo una cuchilla de bisturí.

40 Según una realización, un elemento terminal 77, puede unirse individualmente a dicho segundo elemento 72, sólo si el dispositivo terminal 77 es en sí mismo un instrumento médico 60 de tipo quirúrgico o microquirúrgico similar por ejemplo a una cuchilla de bisturí o a un portador de tendón de fibra óptica para tratamientos con luz láser. En este caso, el dispositivo articulado 70 sólo comprenderá dos grados de libertad de movimiento, en particular de cabeceo y guiñada, perdiendo el grado de libertad para asimiento.

50 Según una realización, la primera porción de elemento terminal 177 y la segunda porción de elemento terminal 277 pueden acoplarse entre sí definiendo diferentes dispositivos terminales 77, tal como un microdispositivo para cortar, un microdispositivo terminal que proporciona un asimiento recto, un microdispositivo que proporciona un asimiento en ángulo, un portaagujas y otros microinstrumentos quirúrgicos tradicionales tal como se ilustra en las figuras 25-27. Los dispositivos terminales reproducen la forma, las proporciones y las funcionalidades de las puntas de los microinstrumentos quirúrgicos tradicionales, con el fin de facilitar su reconocimiento y uso por el microcirujano 200.

55 Según una realización, los pasadores de sujeción 76 se insertan en los orificios de pasador 79 de los elementos del dispositivo articulado 70. Los pasadores de sujeción 76 están realizados preferiblemente de metal duro, rectificadas y pulidos para reducir la fricción por deslizamiento.

60 Según una realización, los pasadores de sujeción 76 tienen interferencia en el acoplamiento con los orificios de pasador 79 ubicados en correspondencia con los ejes de movimiento de articulación P-P, Y-Y, de la articulación rotatoria 171.

Según una realización, los pasadores de sujeción 76 tienen un margen, u holgura, en los orificios de pasador 79 asociados a las superficies de enrollamiento 86.

65 Según una realización, la conexión mediante pasadores de sujeción 76 entre el primer elemento 71 y el segundo

elemento 72 forma una articulación rotatoria, adecuada para rotar alrededor del segundo eje de movimiento de articulación P-P, con un ángulo de activación asociado comprendido sustancialmente entre +90° y -90°.

- 5 Según una realización, la conexión mediante un único pasador de sujeción entre el segundo elemento de articulación 72, la primera porción de elemento terminal 177 y la segunda porción de elemento terminal 277 crea una articulación rotatoria entre dichos tres elementos 72, 177, 277 con un intervalo de activación angular asociado sustancialmente de entre +90° y -90°. Dicha articulación define dos grados de libertad, que caracterizan tanto la guiñada como el asimiento del instrumento médico 60.
- 10 Según una realización, los tendones poliméricos 90, 190 pueden terminarse de varias maneras, siempre que, como resultado de una sujeción fuerte, puedan tensarse y tal tensión también se transmita al elemento de articulación, o a la parte a la que están conectados, accionando su movimiento.
- 15 Según una realización, los tendones 90 discurren a través de una característica de terminación de tendón 82 y se bloquean mediante un nudo formado por el propio tendón 90, ubicado en dicho punto de sujeción de tendón 82.
- 20 Según una realización, un segundo método para sujetar el tendón 90, usado por ejemplo para la activación del segundo elemento 72, proporciona el paso de un bucle del tendón 90 alrededor de un punto de sujeción de tendón 82 y la aplicación de tensión a ambas extremidades del tendón 90, de manera que los dos lados del tendón 90 actúan como un solo tendón 90, reduciendo a la mitad las cargas a las que se somete.
- 25 Según una realización, un tercer método de sujeción de los tendones 90 proporciona la inserción de porciones de tendón en puntos de sujeción de tendón 82, destinados a este uso, y el uso de pegamentos específicos para el polímero del que están hechos los tendones 90, tal como los usados por ejemplo para pegar el primer punto de extremo 91 al armazón inferior 59 de la caja de transmisión mecánica 62 del sistema de accionamiento de tendón 50.
- 30 Según una realización, el dispositivo articulado 70 se caracteriza por tres grados de libertad de movimiento, y en particular por un grado de libertad de cabeceo entre el primer elemento 71 y el segundo elemento 72, un grado de libertad de guiñada entre el segundo elemento 72 y el tercer elemento 73, un grado de libertad de agarre, o asimiento, entre la primera porción de elemento terminal 177 y la segunda porción de elemento terminal 277.
- 35 Según una realización, el segundo elemento de articulación 72, la primera porción del elemento terminal 177 y la segunda porción del elemento terminal 277 pueden moverse alrededor del respectivamente dicho primer eje de movimiento de articulación P-P y dicho segundo eje de movimiento de articulación Y-Y independientemente. El movimiento del instrumento médico 60 se lleva a cabo mediante los cables de activación 90, que discurren sobre los elementos articulados entre sí mediante articulaciones rotatorias.
- 40 Según una realización, un par de tendones 90, 190 comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190, que es adecuado para trabajar como par de tendones agonista y antagonista asociados a una primera porción del elemento terminal 177 y un par adicional de tendones 90, 190, que comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190, adecuados para trabajar como un par de tendones agonista y antagonista asociados a la segunda porción del elemento terminal 277, y un par adicional de tendones 90, 190, que comprende un tendón 90 y un tendón opuesto 190, adecuados para actuar como un par de tendones agonista y antagonista asociados al segundo elemento de articulación 72.
- 45 Según una realización, un par de tendones, 90, 190, que comprenden un tendón 90 y un tendón opuesto 190, adecuados para trabajar como par de tendones agonista y antagonista, transmiten un movimiento de rotación a la segunda porción del elemento terminal 277, alrededor de dicho segundo eje de movimiento de articulación Y-Y, discuriendo sobre la superficie de deslizamiento lateral 40 del primer elemento de articulación 71, atravesando dicho plano de sección, discuriendo sobre la superficie de deslizamiento de articulación 80 del segundo elemento de articulación 72, y luego dividiéndose para enrollarlos respectivamente en sentidos opuestos alrededor de la superficie de enrollamiento 86 de la segunda porción de elemento terminal 277 y terminando con un nudo. Cuando uno de los dos tendones 90, 190 se tensa o se libera, se desliza sobre una superficie de deslizamiento 40 del primer elemento de articulación 71 y sobre la superficie de deslizamiento 80 del segundo elemento de articulación 72, mientras que se enrolla o se desenrolla sobre la superficie de enrollamiento 86 del cuarto elemento de articulación como sobre una polea fija.
- 50 Según una realización, un par de tendones 90, 190 adicional que consiste en un tendón 90 y un tendón opuesto 190, activa la primera porción de elemento terminal 177 de manera similar a la forma en que activa la segunda porción de elemento terminal 277.
- 55 Según una realización, todavía un par de tendones 90, 190 adicional, que consiste en un tendón 90 y un tendón opuesto 190, adecuados para trabajar como un par de tendones agonista y antagonista, mueve el segundo elemento de articulación 72 alrededor del primer eje de movimiento de articulación P-P, discuriendo sobre la superficie de deslizamiento lateral 40, 140 del primer elemento 71, en un lado con respecto a dicho plano de
- 60
- 65

sección del instrumento médico 60, intersectando dicho plano de sección, enrollándose a sí mismos en los sentidos opuestos sobre la superficie de deslizamiento de articulación 80 del segundo elemento de articulación 72, y terminando en puntos de sujeción de tendón 82. En particular, cada tendón de activación 90, 190 del segundo elemento de articulación 72 está formado en un bucle que pasa alrededor del punto de sujeción de tendón  
5 respectivo 82 y vuelve a doblarse, pasando sobre la superficie de enrollamiento 86, la superficie de deslizamiento de articulación 80 y la superficie de deslizamiento lateral 40 a lo largo de una trayectoria análoga a la seguida por el tendón opuesto.

Según una realización, cuando se mueve el segundo elemento de articulación 72 alrededor del primer eje de movimiento de articulación P-P, en una dirección de rotación, ambos extremos de los tendones 90, 190 se someten a tensión. Además, a diferencia de los dos pares de tendones 90, 190 que activan la primera porción de elemento terminal 177 y la segunda porción de elemento terminal 277 respectivamente, en el caso de los tendones 90 del segundo elemento de articulación 72, los tendones 90, cuando se mueven, no se deslizan sobre la superficie de deslizamiento del segundo elemento de articulación 72, sino que se envuelven o desenvuelven alrededor de dicha  
10 superficie de deslizamiento de articulación 80, como si fuera una polea.

Según una realización, se usan seis tendones independientes 90 para la activación de los tres grados de libertad de movimiento del dispositivo articulado 70, pero ocho cables intersectan dicho plano de sección entre la superficie de deslizamiento lateral 40 del primer elemento de articulación y la superficie de deslizamiento lateral 80 del segundo elemento de articulación 72, porque ambos extremos de bucle de los cables de activación 90, 190 del segundo elemento 72 se tensan durante el movimiento en una dirección alrededor del primer eje de movimiento de articulación P-P.  
20

Según una realización, las superficies de deslizamiento 80, 180 entre los cables de activación 90 y los elementos del dispositivo articulado 70 se reducen a un área superficial mínima, tal como para reducir la fricción. Los tendones 90, 190 terminan en sus segundos puntos de extremo de tendón 92 de tal manera que su trayectoria de tendón T-T permanece paralela al eje de instrumento X-X tanto como sea posible, evitando fuerzas transversales.  
25

Según una realización, la intersección de los tendones 90 y su cruce de dicho plano de sección entre la superficie de deslizamiento de articulación 40 y el primer eje de rotación P-P impide que el tendón 90 salga de la superficie de deslizamiento de articulación 80 durante su movimiento y garantiza una longitud y ángulo constantes de los tendones 90, 190.  
30

A continuación se describe un método para mecanizar microcomponentes mecánicos tridimensionales montables mediante EDM. En particular, se refiere a la fabricación de dispositivos articulados 70 de un diámetro exterior característico inferior a 4 mm para su aplicación en microcirugía. Además, a continuación se describen las principales características de un accesorio de mecanizado 112 específico, que es un elemento fundamental para la configuración de un procedimiento de producción de una manera económicamente sostenible y que es capaz de garantizar la precisión requerida.  
35

Según una realización, la necesidad de producir micropartes con muchos detalles mecánicos y un alto nivel de precisión requiere el uso de metales duros como material estructural y requiere EDM por hilo como procedimiento de mecanizado para las partes. Tal como se conoce, el EDM es un procedimiento de fabricación sustractiva en el que se retira material mediante una pieza conductora con una serie de descargas de corriente entre la propia pieza y un electrodo mantenido a una diferencia de tensión eléctrica, separado por un líquido dieléctrico tal como agua o aceite, hasta que se obtiene la forma deseada. En particular, durante el mecanizado mediante EDM por hilo, la pieza de trabajo 117 se mantiene fija y se sumerge en un baño de líquido dieléctrico mientras que un hilo metálico de corte 115, realizado de cobre o latón, por ejemplo, y de un diámetro que varía entre 0,5 mm y 0,02 mm, discurre de manera continua entre dos bobinas. El hilo de corte 115 está sostenido por una guía superior y una guía inferior, que al estar accionadas por un sistema de control numérico por ordenador en el plano horizontal, llevan a cabo perfiles de corte bidimensionales. El movimiento de las guías es muy preciso, y la resolución global de mecanizado es próxima a 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ), sin embargo, el corte plano limita sustancialmente la fabricación de partes tridimensionales. A pesar del hecho de que algunas máquinas avanzadas tienen una guía superior, que puede moverse independientemente en el plano horizontal, la capacidad de producir partes 3D complejas no ha aumentado sustancialmente.  
40  
45  
50  
55

Las principales ventajas del EDM por hilo comprenden:

- la posibilidad de mecanizar metales duros,
- ausencia de contacto directo entre la herramienta y la pieza que va a mecanizarse 117
- los detalles delicados pueden mecanizarse sin deformación,
- puede obtenerse un buen acabado superficial,

- pueden producirse formas complejas, o en cualquier caso difíciles de producir con instrumentos de corte convencionales, manteniendo al mismo tiempo tolerancias muy bajas.

5 Las fases manuales para la sujeción de cada pieza de trabajo metálica individual que va a mecanizarse 117 a la máquina para cada uno de los planos de corte y la calibración siguiente de la propia máquina, son fases muy lentas durante la fabricación de las piezas y son también las fases que dan como resultado los mayores errores geométricos que impiden el acoplamiento perfecto entre las micropartes producidas individualmente.

10 Según una realización, con el fin de disminuir sustancialmente el tiempo de fabricación y garantizar la precisión requerida para el correcto acoplamiento de las micropartes fabricadas, se proporciona un accesorio de mecanizado 112, que está destinado específicamente para este uso. Proporciona un soporte mecánico, que permite la sujeción y el mecanizado simultáneos de todas las piezas 117 de trabajo, simplificando el montaje de al menos una porción de un dispositivo 70 articulado en uno o más planos de diferencia, con un único perfil 110 de corte y una única etapa de calibración.

15 Según un posible modo de funcionamiento, el plano frontal del accesorio de mecanizado 112 tiene orificios de elemento 116, adecuados para mantener las piezas de trabajo 117 con una tolerancia muy estrecha, es decir al menos H6h5.

20 Según un posible modo de funcionamiento, el plano frontal del accesorio de mecanizado 112 tiene un perfil "escalonado" para permitir el roscado de cortos orificios pasantes en los planos laterales escalonados.

25 Según un posible modo de funcionamiento, los tornillos prisioneros M2 sujetan las piezas de trabajo 117 al accesorio de mecanizado 112 y garantiza una conductividad eléctrica perfecta con dicho accesorio de mecanizado 112, lo que es fundamental para un procedimiento de EDM satisfactorio.

Según un posible modo de funcionamiento, los tornillos prisioneros desaparecen bajo el plano al que se atornillan, es decir, no tienen cabeza, para evitar limitar la sujeción del accesorio a lo largo de esos planos, con un tornillo de banco de una máquina de EDM.

30 Según un posible modo de funcionamiento, una alternativa a los tornillos prisioneros y a los orificios roscados asociados a los tornillos prisioneros, es el uso de un pegamento conductor, para sujetar las piezas de trabajo 117 al accesorio de mecanizado 112 y garantizar una conductividad eléctrica perfecta con dicho accesorio de mecanizado 112.

35 Según un posible modo de funcionamiento, la disposición de las piezas de trabajo 117 en el accesorio de mecanizado 112 es de manera que no se superponen en los planos de trabajo, por ejemplo en los planos X-Y y Y-Z, de manera que pueden cortarse detalles y perfiles diferentes e independientes para cada plano en cada pieza de trabajo 117, proporcionando un perfil de corte 110 único y continuo para el alambre.

40 Según un posible modo de funcionamiento, el espacio, o la sección no superpuesta, entre dos piezas de trabajo adyacentes se minimiza tal como para mantener las dimensiones del accesorio de mecanizado 112 lo más compacto posible. De este modo es posible minimizar la distancia entre las guías superior e inferior, mejorando la precisión del mecanizado.

45 Según un posible modo de funcionamiento, una varilla de referencia metálica 118 se inserta en el accesorio de mecanizado 112 y se usa para la calibración de la máquina de EDM una vez que el accesorio de mecanizado 112 y las piezas de trabajo 117 se montan en la máquina.

50 Según un posible modo de funcionamiento, se proporciona una primera calibración que se lleva a cabo sólo una vez para un accesorio de mecanizado 112 dado, cargado con todas las piezas de trabajo 117 y una máquina de EDM dada que se usa para el mecanizado. Dicha primera calibración puede identificar y compensar todos los errores relacionados con la máquina de EDM y con los errores geométricos del accesorio de mecanizado 112, tal como por ejemplo los relacionados con la posición relativa entre la varilla de referencia 118 y las piezas de trabajo 117.

Según un posible modo de funcionamiento, una vez que las posiciones de las piezas de trabajo 117 se definen con respecto a la varilla de referencia 118 en los diversos planos de corte, se generan los perfiles de corte 110, teniendo en cuenta cualquier diferencia de las posiciones reales con las nominales.

60 Según un posible modo de funcionamiento, dicha primera calibración se repetirá sólo si la máquina de EDM se cambia o si se usa un nuevo accesorio de mecanizado 112.

65 Según un posible modo de funcionamiento, cada vez que el accesorio de mecanizado 112, se carga con las piezas de trabajo 117, se sujeta al tornillo de banco de la máquina de EDM antes de un corte, se prevé un segundo procedimiento de calibración, o una calibración de corte, realizada solo en la varilla de calibración 118. Este

procedimiento de calibración de corte elimina el desplazamiento geométrico y los errores relacionados con la sujeción manual del accesorio e identifica el origen del sistema de referencia de la máquina con respecto al eje de la varilla de referencia.

Según un posible modo de funcionamiento, para permitir la correcta sujeción del accesorio de mecanizado 112 al tornillo de banco de la máquina de EDM, dicho accesorio de mecanizado 112 tiene al menos un par de superficies de sujeción o fijación 113, 114, opuestas y paralelas entre sí, y rectificadas, destinadas a agarrarse por las mordazas del tornillo de banco, y una superficie X-Z posterior plana, rectificada y ortogonal a las superficies de fijación 113, 114, destinada a estar a nivel con una superficie de referencia de la máquina, ortogonal a la abrazadera del tornillo de banco.

Según un posible modo de funcionamiento, al no utilizar mesa rotatoria en la máquina de EDM, es necesario que el accesorio de mecanizado 112 tenga un par de superficies de fijación 113, 114 que sean planas, paralelas y rectificadas, opuestas entre sí para cada plano de corte previsto para la fabricación de los microcomponentes.

Según un posible modo de funcionamiento, pueden producirse otros planos de corte modificando de manera apropiada el accesorio de mecanizado 112.

Según un posible modo de funcionamiento, para mecanizar en un tercer plano ortogonal, es necesario proporcionar aberturas 125 en el accesorio de mecanizado que permitan que el hilo de corte 115 se inserte en el interior del accesorio de mecanizado y de ese modo evitar el corte de porciones del accesorio de mecanizado 112, por ejemplo. Sin embargo, deben usarse varios perfiles de corte independientes sin requerir calibraciones adicionales. No obstante, al final de cada perfil de corte 110 en dicho plano, el hilo de corte 115 debe cortarse y reinsertarse en la siguiente abertura 125.

Según un posible modo de funcionamiento, el procedimiento de fabricación usado para la fabricación de partes de un dispositivo articulado 70, proporciona la inserción de cuatro piezas de trabajo 117 compuestas por cilindros metálicos realizados de acero para herramientas, en orificios de elemento 116 en el lado frontal de dicho accesorio de mecanizado 112 y luego su sujeción con tornillos prisioneros de tamaño M2.

Según un posible modo de funcionamiento, todas las micropartes tridimensional que forman el dispositivo articulado 70 para aplicaciones de micromedicina, se mecanizan a partir de piezas de trabajo metálicas 117, en particular cilindros de acero de 3 milímetros de diámetro exterior y 12 milímetros de longitud, que se mecanizan mediante EDM por hilo en dos planos, X-Y y Y-Z.

Según un posible modo de funcionamiento, el accesorio de mecanizado 112 cargado con las piezas de trabajo 117 se sujeta en el tornillo de banco de la máquina de EDM mediante el uso de las superficies de fijación 113, 114 como planos de referencia para la sujeción y luego se realiza la calibración en el plano X-Y usando el eje de la varilla de referencia 118, unida rígidamente al accesorio de mecanizado 112, como referencia. Se realiza el primer perfil de corte 110, mecanizando todas las piezas de trabajo 117 sujetas al accesorio de mecanizado 112, en el plano X-Y.

Según un posible modo de funcionamiento, el accesorio de mecanizado 112 se retira entonces de la máquina y vuelve a montarse, rotado 90° para mecanizar a lo largo de dicho segundo plano Y-Z del accesorio de mecanizado 112.

Según un posible modo de funcionamiento, se realiza una segunda calibración para el segundo plano de trabajo Y-Z y luego se lleva a cabo el corte del segundo perfil de corte 210.

Según un posible modo de funcionamiento, al equipar la máquina de EDM con una mesa rotatoria u orientable, es posible realizar el procedimiento de calibración de corte sólo una vez y hacer rotar el plano de trabajo según sea necesario entre un perfil de corte y el siguiente.

Según un posible modo de funcionamiento, al final del segundo perfil de corte 210 los componentes producidos se desprenden completamente de la pieza de trabajo y pueden recogerse en el baño de la máquina de EDM.

Debido a la provisión de un conjunto robótico, es posible controlar el posicionamiento y el movimiento de al menos un instrumento médico articulado dentro de un volumen de trabajo, de manera fiable, precisa y fácilmente controlable.

Debido a la provisión de un conjunto robótico, es posible controlar el posicionamiento y el movimiento simultáneo de al menos dos instrumentos médicos articulados, comprendiendo cada uno un dispositivo articulado operativo dentro de un espacio de trabajo, de manera fiable, precisa y fácilmente controlable, alcanzando potencialmente cada parte del cuerpo del paciente con las porciones terminales de dichos instrumentos médicos.

Debido a la provisión de un conjunto robótico que comprende un sistema de captura de imágenes, pero que carece

de un microscopio integrado, es posible limitar el coste, así como el volumen físico de dicho conjunto, dando como resultado una plataforma compacta compatible con la instalación de un microscopio preexistente, permitiendo de ese modo operaciones de readaptación.

5 Debido a la provisión de un conjunto robótico que tiene tan pocas partes móviles como sea posible que requieren un gran rango de movimiento durante el movimiento de la porción terminal del instrumento médico, es posible proporcionar un conjunto robótico microquirúrgico con pocos impedimentos, mejorando la comodidad para el microcirujano, que puede, por ejemplo, teleoperar mientras está en la proximidad inmediata con la mesa de operaciones y por tanto puede observar y acceder directamente al campo quirúrgico, así como mejorar las condiciones de trabajo generales del equipo quirúrgico, por ejemplo, evitando colisiones con partes móviles del robot mientras se accede al campo quirúrgico, así como simplificar el transporte del conjunto robótico, o el flujo de personas o de aire alrededor del conjunto robótico. De igual modo, se posibilita usar dos o más conjuntos robóticos simultáneamente en un paciente.

15 Debido a la provisión de un dispositivo de control es posible simplificar la interfaz maestra de teleoperación y hacerla más intuitiva y cómoda, sin limitar su funcionalidad. Al mismo tiempo, se reduce el tiempo de entrenamiento requerido por el cirujano, no necesariamente especializado en procedimientos microquirúrgicos, para lograr un nivel suficiente de maestría del dispositivo de control.

20 Debido a la provisión de un conjunto robótico microquirúrgico que comprende un instrumento de control adecuado para reproducir la forma de un instrumento quirúrgico o microquirúrgico tradicional, es posible proporcionar una interfaz maestra familiar para la teleoperación al cirujano, sin comprometer la precisión de la manipulación.

25 Al mismo tiempo, debido a la provisión de al menos un sensor acoplado a un dispositivo de seguimiento 3D electromagnético, dicho instrumento de control también es adecuado para reproducir la funcionalidad de instrumentos quirúrgicos y microquirúrgicos tradicionales, mientras permite una libertad de movimiento completa en tres dimensiones del espacio y permite un fácil reposicionamiento del dispositivo de control, por ejemplo entre la mesa de operaciones y el microscopio, garantizando así el buen rendimiento del sistema robótico en lo que se refiere al término de respuesta.

30 Al mismo tiempo, debido a la provisión de un dispositivo de control compacto y al menos un sensor, adecuado para relacionar el conjunto robótico y el dispositivo de detección con un sistema de referencia común, es posible posicionar libremente dicho dispositivo de control en una manera sencilla, por ejemplo dicho dispositivo de control puede posicionarse junto a la mesa de operaciones, o en una mesa de soporte cerca del microscopio, o en una posición considerada ergonómica para el cirujano que mira al microscopio.

40 Debido a la provisión de un instrumento de control que reproduce la forma de un instrumento microquirúrgico tradicional que tiene al menos una articulación en su punta, tal como por ejemplo pinzas de fórceps, equipado con al menos un sensor de apertura, es posible controlar la apertura y el cierre, así como los movimientos de agarre de un dispositivo médico articulado de manera familiar y precisa.

45 La provisión de un instrumento médico que comprende un dispositivo articulado movido por tendones reduce la complejidad de su mecanizado, eliminando por ejemplo la provisión de canales o vainas, permitiendo la miniaturización extrema del instrumento médico, sin reducir su fiabilidad durante el uso o el montaje.

Debido a la provisión de un dispositivo articulado que comprende cables de activación, o tendones, realizados de material no metálico, por ejemplo material polimérico, es posible reducir el radio de curvatura de dichos tendones, así como el coeficiente de fricción de dichos tendones y como consecuencia miniaturizar adicionalmente el dispositivo articulado.

50 Debido a la provisión de un dispositivo articulado que comprende superficies regladas con todas las generatrices paralelas para el deslizamiento de dichos tendones, así como características de terminación de tendón dispuestas en una relación geométrica específica para dichas superficies, es posible prescindir de canales o vainas de guía de tendón, garantizando todavía el paralelismo de los tendones y permitiendo de ese modo una miniaturización extrema del dispositivo articulado.

60 Debido a la provisión de un método de fabricación así como de un accesorio de mecanizado, adecuado para garantizar el posicionamiento simultáneo de varias piezas de trabajo de una manera que permita que sus líneas de corte permanezcan paralelas entre sí, es posible obtener una sola trayectoria de corte mediante un hilo de corte por EDM para cada plano de corte, en una pluralidad de piezas de trabajo. De este modo, es posible generar una superficie paralela en dichas piezas, con altas tolerancias, incluso en los casos en los que se mecanizan formas pequeñas, muy detalladas.

65 Debido a la provisión de un método de fabricación es posible producir partes micromecánicas que garantizan un alto grado de precisión, así como superficies adecuadas para aplicaciones médicas y/o quirúrgicas.

Debido a la provisión de un método de fabricación, es posible producir un instrumento médico más rápidamente con respecto a las soluciones conocidas, y como consecuencia, más rentable.

5 Debido a la provisión de un accesorio de mecanizado, así como un método de fabricación, es posible obtener un procedimiento rápido y eficaz, incluso para el posicionamiento repetido de las piezas de trabajo dentro de la máquina.

10 Debido a la provisión de un accesorio de mecanizado mejorado para EDM que acelera el procedimiento de corte en una pluralidad de planos de corte, es posible reducir el número y la duración de las fases dedicadas al calibrado de la máquina.

15 Debido a la provisión de un método de fabricación para electroerosión que permite el mecanizado de partes micromecánicas que comprenden cavidades y crestas que, incluso cuando se deja una ranura entre dos espigas 81 de material, son adecuadas para formar característica de sujeción de pasadores sin tener que mecanizar orificios, es posible reducir significativamente el tiempo de mecanizado.

20 Debido a la provisión de un sistema de accionamiento de tendón es posible garantizar el movimiento de dichos tendones exclusivamente mediante un conjunto empujador, adecuado para empujar los tendones y producir carga de tracción en al menos una porción de dicho tendón. De este modo, el sistema de accionamiento evita tirar de los tendones, por ejemplo al adherirse a una porción del tendón o al envolver una porción del tendón alrededor de un cabrestante.

25 Debido a la provisión de un sistema de accionamiento de tendón se reducen el número y la complejidad de los componentes de dicho accionamiento y puede evitarse cualquier holgura de las partes cuando no están cargadas, haciendo que sistema sea adecuado para la miniaturización extrema, sin disminuir su fiabilidad ni su precisión.

La provisión de un tendón permite la reducción de una dimensión de diámetro exterior de dicho tendón y como consecuencia, del instrumento médico, sin reducir su rendimiento en lo que se refiere a la durabilidad o fiabilidad.

30 Debido a la provisión de un tendón es posible garantizar un rendimiento mejorado en lo que se refiere a la fricción por deslizamiento de dicho tendón en al menos una porción de dicho instrumento médico, con respecto a las soluciones conocidas.

35 Debido a la provisión de un tendón, así como a un método de reemplazo de tendón, es posible aumentar la vida útil de trabajo de dicho instrumento con respecto a las soluciones conocidas.

40 Debido a la provisión de un tendón, producido de un material no metálico, por ejemplo material polimérico, es posible reducir el radio de curvatura de dicho tendón, así como el coeficiente de fricción de dicho tendón, y como consecuencia aumentar la miniaturización del instrumento médico que comprende dicho tendón.

Debido a la provisión de un tendón, es posible prescindir de la provisión de canales o vainas de guía de tendón en el instrumento médico, garantizando todavía el paralelismo entre una pluralidad de tendones y permitiendo una miniaturización extrema del instrumento médico.

45 Debido a la provisión de un tendón 90 que comprende un segundo punto de extremo de tendón 92 tal como se describió anteriormente, es posible obtener un dispositivo articulado 70 en el que sus elementos no requieren guías o canales de tendón para facilitar el encaminamiento del tendón 90, sin que dichos tendones 90 interfieran entre sí. De hecho, la ubicación geométrica de dichos puntos de extremo de tendón 92 se elige de manera que dichos tendones 90 discurren sustancialmente paralelos entre sí y paralelos a dicha superficie de deslizamiento 40, 80.

50 Debido a la provisión de una superficie de deslizamiento, por ejemplo, las superficies de deslizamiento laterales 40 y las superficies de deslizamiento de articulación 80, tal como se describió anteriormente, es posible que dichos tendones se deslicen sobre el dispositivo articulado con baja fricción.

55 **Debido** a la acción conjunta entre dichas superficies de deslizamiento 40, 80 y a la ubicación geométrica de dichos primeros puntos de extremo de tendón 91 y dichos segundos puntos de extremo de tendón 92 es posible garantizar que las fuerzas de fricción entre el tendón y la superficie de deslizamiento, así como las reacciones de sujeción en los puntos de extremo de tendón primero y segundo 91 y 92 son sustancialmente paralelas entre sí y a lo largo de un mismo eje.

60 Debido a la acción conjunta entre dichas superficies de deslizamiento 40, 80 y la ubicación geométrica de dichos primeros puntos de extremo de tendón 91 y dichos segundos puntos de extremo de tendón 92, es posible obtener una miniaturización extrema de dicho instrumento médico 60. Por ejemplo, de este modo es posible prescindir de poleas y/u otras guías de tendón, que no son adecuadas para miniaturizarse más allá de un umbral determinado. Por ejemplo, según una realización, el árbol 65 de dicho instrumento médico puede medir 3 milímetros de diámetro exterior.

Debido a la provisión de tendones 90 que mantienen un radio de curvatura menor de o sustancialmente igual a 1 milímetros, es posible diseñar una trayectoria de tendón T-T, que se envuelve al menos parcialmente alrededor de dichos miembros 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 177, 277 de dicho dispositivo articulado 70, tal como para evitar la formación de bucles, cuando por ejemplo al menos una porción de dicho dispositivo articulado 70 se mueve con respecto a un eje de movimiento P-P, Y-Y.

Debido a la provisión de dicho sistema de accionamiento de tendón 50, así como de un tendón 90, 190 que tiene dicho primer punto de extremo de tendón 91 y dicho segundo punto de extremo de tendón 92, que es un resalte, y/o un nudo, y/o está pegado tal como se describió anteriormente, es posible montar así como reemplazar fácilmente un tendón 90, 190 con alta precisión, prolongando la vida útil de trabajo de dicho instrumento médico 60. Además, debido a la provisión de tendones realizados de material polimérico, los elementos de dicho dispositivo articulado 70 no se dañan durante las condiciones de trabajo.

Debido a la provisión de un sistema de accionamiento de tendón 50 que comprende al menos un conjunto empujador 94 adecuado para empujar, mientras descansa sobre una porción desviable de tendón 93 de un tendón 90, es posible activar dichos tendones sin apretarlos o envolverlos alrededor de un cabrestante.

De este modo es posible evitar dañarlos cuando están en condiciones de trabajo, y por tanto aumentar la vida útil de dichos tendones, así como de dicho instrumento médico 60, disminuyendo los costes de mantenimiento.

Debido a la provisión de un sistema de accionamiento de tendón 50 tal como se describió anteriormente, es posible reducir al mínimo la holgura dentro del sistema de accionamiento de tendón 50, proporcionando siempre una precarga definida.

Debido a la provisión de un conjunto empujador sustancialmente lineal, es posible integrar sistemas de activación micrométricos, tales como deslizadores y actuadores piezoeléctricos, para controlar la carga de tracción de los tendones, así como para liberar y tirar de longitudes exactas de tendón, permitiendo mover al menos una porción de dicho instrumento médico en una cantidad deseada, por ejemplo alrededor de un eje de movimiento.

La provisión de un sistema de accionamiento de tendón adecuados para actuar conjuntamente con un dispositivo articulado a través de una barrera estéril permite la producción de un instrumento médico, que es altamente fiable y estéril.

Debido a la provisión de un método de fabricación basado en EDM tal como se describió anteriormente, es posible fabricar un dispositivo articulado completo con solo una etapa de colocación en una máquina, disminuyendo el tiempo y el coste de fabricación, sin disminuir la fiabilidad o la precisión del mecanizado.

Debido a la provisión de un método de fabricación es posible producir elementos de articulación de un dispositivo articulado que tiene superficies regladas con generatrices paralelas, tal como para permitir que un tendón que se desliza sobre ellas mantenga una trayectoria estacionaria con respecto a dicho elemento de articulación. Esto permite reducir al mínimo la fricción entre el tendón y la superficie de deslizamiento del elemento de articulación, facilitando la miniaturización del dispositivo articulado.

Debido a la provisión de un método de fabricación basado en EDM tal como se describió anteriormente, adecuado para transferir sólo estimulación térmica a las piezas de trabajo, es posible obtener partes de dimensiones submilimétricas, permitiendo una miniaturización extrema de dicho instrumento médico 60, manteniendo todavía una precisión de corte satisfactoria debido a la provisión de corte en una pluralidad de piezas de trabajo en un solo paso.

Debido a la provisión de una herramienta, así como un método de EDM adecuado para realizar, con un solo paso de hilo, el corte de partes en una pluralidad de piezas de trabajo que se montarán entre sí después del mecanizado, es posible obtener acoplamientos con precisión milimétrica, particularmente adecuados para construir características de articulaciones rotatorias tales como espigas, orificios de pivote, perfiles de elementos de articulación, permitiendo por tanto montar de manera fiable piezas mediante ajuste a presión, o con holgura controlada entre las partes.

Debido a la provisión de un conjunto robótico 100, que comprende al menos un instrumento de control que reproduce un instrumento quirúrgico tradicional, así como un dispositivo de control que comprende un elemento de soporte ergonómico para el cirujano, es posible mejorar la familiaridad y ergonomía del cirujano, mejorando el desenlace de la operación quirúrgica y la comodidad del paciente como consecuencia.

Debido a la provisión de un conjunto robótico que comprende un brazo de macroposicionamiento que tiene una estructura mecánica de elementos de brazo, así como articulaciones altamente rígidas, es posible evitar vibraciones mecánicas estructurales en la porción terminal del instrumento, y de ese modo facilitar el trabajo del cirujano.

Aunque en las figuras adjuntas pueden observarse combinaciones de realizaciones descritas anteriormente, un experto del campo también podrá configurar combinaciones no mostradas en las figuras, sin apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

- 5 Para satisfacer necesidades específicas y temporales, un experto en la técnica puede llevar a cabo varias modificaciones, adaptaciones y sustituciones de elementos con otros elementos funcionalmente equivalentes, sin apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

## 10 **Lista de referencias**

- 7 volumen de trabajo, o volumen de espacio de trabajo común
- 9 tendón
- 15 16 punto de intersección
- 18 porción proximal de tendón
- 20 19 porción distal de tendón
- 20 dispositivo de control
- 21 instrumento de control
- 25 22 dispositivo de detección
- 23 cable de conexión
- 30 24 cable de alimentación y comunicación
- 25 superficie de soporte de cirujano
- 26 luz de señal de estado
- 35 27 elemento de soporte de cirujano
- 28 sensor de posición
- 40 29 sensor de punta
- 30 brazo de macroposicionamiento
- 31 primer elemento de brazo
- 45 32 segundo elemento de brazo
- 33 tercer elemento de brazo
- 50 34 cuarto elemento de brazo
- 35 botón de liberación, o botón de liberación de freno
- 36 guía de deslizamiento lineal
- 55 37 pomo manual
- 38 elemento de soporte
- 60 39 característica de unión
- 40 superficie de deslizamiento
- 41 dispositivo de microposicionamiento
- 65 43 tuerca de disco rotatoria

	45 cámara de vídeo
	46 articulación rotativa motorizada
5	47 porción de base
	48 orificio de bloqueo de émbolo
10	49 ranura de mecanizado
	50 sistema de accionamiento de tendón
	51 primera corredera motorizada, o primera microcorredera motorizada
15	52 segunda corredera motorizada, o segunda microcorredera motorizada
	53 tercera corredera motorizada, o tercera microcorredera motorizada
20	54 primer carril de deslizamiento
	55 segundo carril de deslizamiento
	56 tercer carril de deslizamiento
25	57 armazón
	58 primera porción de armazón, o armazón superior
30	59 segunda porción de armazón, tambor, o armazón inferior
	60 instrumento médico o microinstrumento o microinstrumento quirúrgico
	61 caja de motor
35	62 caja de transmisión mecánica
	63 borde afilado de superficie de deslizamiento lateral
40	64 superficie de continuidad de superficie de deslizamiento lateral
	65 árbol, o árbol hueco
	67 estructura de base del dispositivo de control
45	68 porción de punta del dispositivo de control
	69 articulación de pinzas del dispositivo de control
50	70 dispositivo con juntas o articulado
	71 primer elemento o primer elemento de articulación, o primer elemento de conexión
	72 segundo elemento o segundo elemento de articulación, o segundo elemento de conexión
55	73 tercer elemento o tercer elemento de articulación, o tercer elemento de conexión
	74 cuarto elemento o cuarto elemento de articulación, o cuarto elemento de conexión
60	75 elemento de codo, o elemento de conexión de codo
	76 pasador de sujeción
	77 dispositivo terminal, o elemento terminal, o porción terminal
65	78 elemento de muñeca o elemento de articulación de muñeca

	79 orificio de pasador
5	80 superficie de deslizamiento o superficie de deslizamiento de articulación
	81 espiga
	82 característica de terminación de tendón, o punto de sujeción de tendón.
10	83 superficie
	84 superficie de sujeción de tendón
15	86 superficie de enrollamiento, o superficie de enrollamiento reglada
	87 barrera estéril
	88 superficie de saliente
20	89 elemento de guía de tendón
	90 tendón, o cable de activación, o tendón de un primer par de tendones
25	91 primer punto de extremo o primer punto de extremo de tendón, o punto de extremo de tendón proximal, o primera terminación de tendón
	92 segundo punto de extremo o segundo punto de extremo de tendón, o punto de extremo de tendón distal, o segunda terminación de tendón
30	93 porción desviable de tendón o porción desviable
	94 conjunto empujador o medio de empuje
35	95 elemento de empuje, pistón, pistón de activación o pistón de activación lineal.
	96 émbolo o árbol de deslizamiento
	97 elementos de guiado, o elementos de guiado de tendón, o poleas de guiado
40	98 polea loca de émbolo
	99 elemento de tensado, o elemento de pretensado, o resorte
45	100 conjunto robótico, o conjunto quirúrgico robótico, o conjunto robótico quirúrgico, conjunto robótico para microcirugía o conjunto robótico microquirúrgico
	102 mesa de operaciones
50	103 sistema de visión, microscopio, o microscopio quirúrgico
	104 soporte o carro
	105 plataforma para los pies
55	106 asidero retráctil
	107 cable de alimentación
60	108 panel de control
	109 cable de comunicación
	110 perfil de corte, o línea de corte
65	111 elemento de visualización

	112 accesorio de mecanizado
	113 primera superficie de fijación del primer par de superficies de fijación
5	114 segunda superficie de fijación del primer par de superficies de fijación
	115 hilo de corte, o hilo de EDM, o hilo de máquina de descarga eléctrica
	116 orificios de elemento o asientos de elemento
10	117 piezas de trabajo o piezas que va a mecanizarse
	118 varilla de referencia
15	120 primer dispositivo de control
	122 primera porción de varilla
	123 segunda porción de varilla
20	125 orificio de guía u abertura
	134 primera superficie de fijación del segundo par de superficies de fijación
25	135 segunda superficie de fijación del segundo par de superficies de fijación
	141 primer dispositivo de microposicionamiento
	160 primer instrumento médico
30	170 primer dispositivo articulado
	171 articulación rotatoria
35	172 porción de articulación
	173 articulación de rótula
	177 primera porción de elemento terminal
40	190 tendón opuesto, o tendón opuesto de un primer par de tendones
	191 tendón de un segundo par de tendones
45	192 tendón opuesto de un segundo par de tendones
	194 conjunto empujador opuesto o medio de empuje opuesto
	197 primer elemento de guiado, o primeras poleas de guiado
50	199 elemento de tensado opuesto, elemento de pretensado opuesto, o resorte opuesto
	210 segundo perfil de corte
55	220 segundo dispositivo de control
	221 segundo instrumento de control
	241 segundo dispositivo de microposicionamiento
60	260 segundo instrumento médico
	270 segundo dispositivo articulado
65	277 segunda porción de elemento terminal

	297 segundo elemento de guiado de tendón, o segunda polea de guiado de tendón
	397 tercer elemento de guiado de tendón, o tercera polea de guiado de tendón.
5	497 cuarto elemento de guiado de tendón, o cuarta polea de guiado de tendón.
	200 cirujano, o microcirujano
	201 paciente
10	202 aguja quirúrgica
	341 tercer dispositivo de microposicionamiento
15	360 tercer instrumento médico
	T-T dirección de tendón o trayectoria de tendón
	X-X dirección de árbol longitudinal, o eje de instrumento
20	P-P eje de cabeceo, o primer eje de movimiento de articulación
	Y-Y eje de guiñada, o segundo eje de movimiento de articulación
25	a-a primer eje de movimiento de brazo
	b-b segundo eje de movimiento de brazo
	c-c tercer eje de movimiento de brazo
30	d-d cuarto eje de movimiento de brazo
	e-e eje longitudinal de porción de base de brazo de macroposicionamiento
35	f-f primera dirección de deslizamiento
	g-g segunda dirección de deslizamiento
	h-h tercera dirección de deslizamiento
40	r-r eje de rotación longitudinal
	X-Y primer plano de corte
45	Y-Z segundo plano de corte
	X-Z tercer plano de corte

50

REIVINDICACIONES

1. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) para cirugía robótica que comprende al menos un dispositivo articulado (70, 170, 270) y al menos un armazón (57), en el que dicho dispositivo articulado (70, 170, 270) comprende:  
5  
- al menos un primer elemento de articulación (71), adaptado para conectarse al menos a una porción de dicho armazón (57);  
10  
- al menos un segundo elemento de articulación (72), en el que dicho primer elemento de articulación (71) está conectado por medio de una articulación rotatoria (171) a dicho segundo elemento de articulación (72);  
15  
- al menos un tercer elemento de articulación (73) conectado por medio de una articulación rotatoria (171) al menos a dicho segundo elemento de articulación (72);  
comprendiendo además dicho instrumento médico (60, 160, 260, 360) al menos dos pares de tendones (90, 190, 191, 192), en el que ambos tendones de un par de tendones están conectados con el mismo elemento de articulación;  
20  
estando conectados un par de tendones de dichos al menos dos pares al segundo elemento de articulación (72) para mover dicho segundo elemento de articulación (72) con respecto al primer elemento de articulación (71);  
25  
y estando conectados un par de tendones de dichos al menos dos pares al tercer elemento de articulación (73) para mover dicho tercer elemento de articulación (73) con respecto a dicho segundo elemento de articulación (72);  
30  
y en el que cada uno de dicho primer elemento de articulación (71), dicho segundo elemento de articulación (72) y dicho tercer elemento de articulación (73) comprende un cuerpo estructural principal,  
y en el que dicho cuerpo estructural principal comprende en una única pieza una o más superficies de contacto convexas (40, 80, 86, 140, 180),  
35  
definiendo la totalidad de dichas superficies de contacto convexas (40, 80, 86, 140, 180) de cada cuerpo estructural principal con sus prolongaciones al menos parcialmente un solo volumen convexo para cada elemento de articulación;  
40  
y en el que cada una de dichas superficies de contacto convexas (40, 80, 86, 140, 180) es una superficie reglada formada por una pluralidad de líneas generatrices rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un eje de movimiento de articulación (P-P, Y-Y);  
45  
y en el que dicho al menos un segundo elemento de articulación (72) es un elemento de muñeca que comprende al menos una superficie de contacto convexa que es una superficie de deslizamiento (40, 80, 140, 180) sobre la que están diseñados para deslizarse dicho par de tendones conectados al tercer elemento de articulación (73),  
50  
siendo dicha al menos una superficie de deslizamiento (40, 80, 140, 180) del segundo elemento de articulación (72) una superficie reglada formada por una pluralidad de líneas generatrices rectas todas paralelas entre sí y sustancialmente paralelas a un primer eje de movimiento de articulación (P-P o Y-Y);  
55  
y en el que dicho segundo elemento de articulación (72) que es un elemento de muñeca comprende al menos una porción de unión (172), adaptada para formar al menos una porción de una articulación rotatoria (171) que tiene un segundo eje de movimiento de articulación (Y-Y o P-P), no paralelo a dicho primer eje de movimiento de articulación (P-P o Y-Y);  
60  
y en el que cada tendón de dichos dos pares de tendones (90, 190, 191, 192) comprende:  
- un primer punto de extremo de tendón (91), asociado a dicho armazón (57),  
65  
- y un segundo punto de extremo de tendón (92), sujeto o bien a dicho segundo elemento (72) o bien a dicho tercer elemento (73) del dispositivo articulado,  
- una porción principal, que se extiende entre dicho primer punto de extremo (91) y dicho segundo punto de extremo (92) de tendón;

y en el que la porción principal de cada tendón de dichos al menos dos pares de tendones (90, 190, 191, 192) está en contacto con dicho dispositivo articulado (70, 170, 270) solo en dichas superficies de contacto convexas (40, 80, 86, 140, 180) que son superficies regladas convexas con líneas generatrices rectas todas paralelas entre sí y paralelas a un eje de movimiento de articulación (P-P; Y-Y) del dispositivo articulado;

y en el que al menos dos tendones de dichos al menos dos pares de tendones (90, 190, 191, 192) están en contacto con una misma superficie de contacto convexa (40, 80, 86, 140, 180).

2. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según la reivindicación 1, en el que uno de dichos pares de tendones conectados con un mismo elemento de articulación está en contacto con una misma superficie de contacto convexa (40, 80, 86, 140, 180).

3. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según la reivindicación 1 o 2, en el que dicho cuerpo estructural principal de cada elemento de articulación es un cuerpo rígido.

4. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo articulado (70, 170, 270) comprende un cuarto elemento de articulación (74), adaptado para conectarse por medio de una articulación rotatoria (171) al menos a dicho tercer elemento de articulación (73).

5. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho dispositivo articulado (70, 170, 270) comprende un cuarto elemento de articulación (74), adaptado para conectarse por medio de una articulación rotatoria (171) al menos a dicho segundo elemento de articulación (72) y en el que dicho tercer elemento de articulación (73) es una primera porción de un dispositivo terminal (177), dicho cuarto elemento de articulación (74) es una segunda porción de un dispositivo terminal (277) y dichas porciones del dispositivo terminal (177, 277) pueden moverse una con respecto a la otra alrededor de dicha articulación rotatoria (171) para determinar un movimiento de agarre o un movimiento de corte.

6. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según la reivindicación 5, que comprende un par de tendones adicional para comprender al menos un tercer par de tendones para mover dicho cuarto elemento (74) alrededor de una articulación rotatoria.

7. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que ambos tendones de cada par de tendones (90, 190, 191, 192) se conectan a uno de dichos elementos de articulación (72 o 73 o 74), para moverlo con movimientos rotatorios opuestos.

8. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los dos tendones del par de tendones conectados al tercer elemento de articulación (73) son paralelos entre sí a lo largo de una longitud de su trayectoria de tendón en la que ambos están en contacto con dicha misma superficie de contacto convexa (40, 80, 140, 180) de dicho primer elemento de articulación (71) y dicho segundo elemento de articulación (72).

9. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada una de dichas superficies de contacto convexas (40, 80, 86, 140, 180) es o bien una superficie de deslizamiento (40, 80, 140, 180) sobre la que se desliza sustancialmente un tendón o bien una superficie de enrollamiento (86) sobre la que se enrolla sustancialmente un tendón sin deslizamiento.

10. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según la reivindicación 9, en el que dicha superficie de deslizamiento (40, 80, 140, 180) es una superficie de deslizamiento lateral (40, 140), que se extiende desde dicho dispositivo articulado (70, 170, 270) para hacer que al menos una porción de tendón se deslice en el aire o se salga del contacto con dicho dispositivo articulado (70, 170, 270),

o en el que dicha superficie de deslizamiento (40, 80, 140, 180) es una superficie de deslizamiento de articulación (80, 180), que rodea al menos parcialmente un eje de movimiento de articulación (171).

11. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la proyección de la trayectoria de tendón (T-T) de un primer tendón de dichos dos pares de tendones (90, 190, 191, 192) y la proyección de la trayectoria de tendón (T-T) de un segundo tendón del mismo par en un plano ortogonal a la dirección de dicho eje de movimiento de articulación (P-P o Y-Y) se cruzan entre sí.

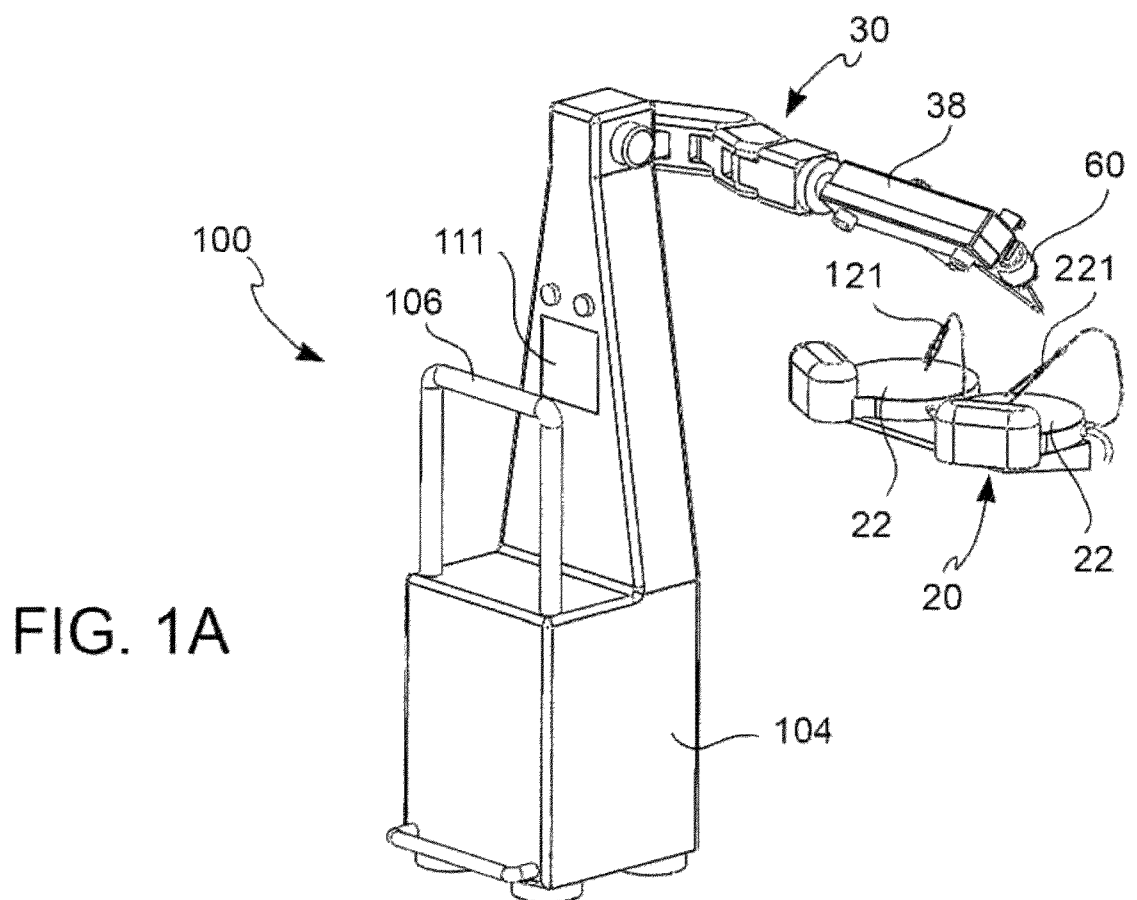
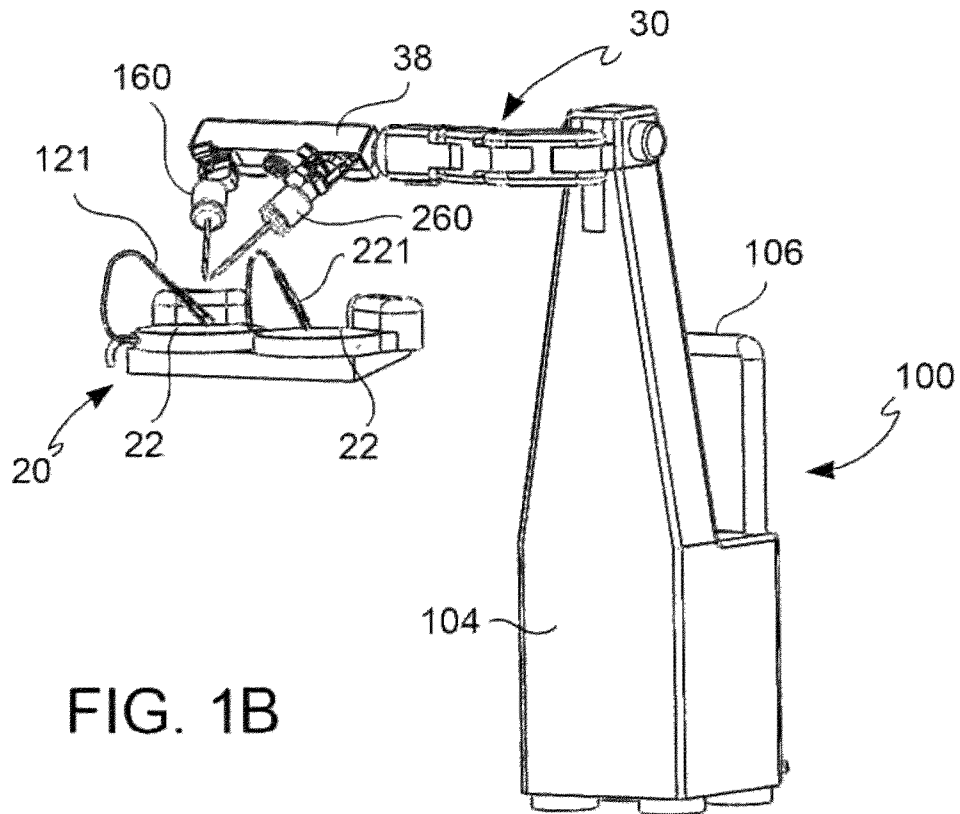
12. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un par de tendones conectados al tercer elemento de articulación (73) de dichos al menos dos pares de

tendones (90, 190, 191, 192) describe una trayectoria de tendón (T-T) alrededor de dicho primer elemento de articulación (71), para envolverse al menos parcialmente sobre al menos una porción de dicha superficie de deslizamiento (40, 140) de dicho primer elemento de articulación (71), y alrededor de dicho segundo elemento de articulación (72) para envolverse al menos parcialmente sobre al menos una porción de dicha superficie de deslizamiento de articulación (80, 180) de dicho segundo elemento de articulación (72).

13. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de dichos elementos de articulación (72, 73, 74) tiene un par de asientos de terminación de tendón (82) posicionados para soportar cada tendón (90, 190) para mantener su trayectoria de tendón (T-T) sustancialmente ortogonal al eje de movimiento de articulación de la articulación rotatoria más próxima (171), para permitir que dicho tendón (90, 190) se deslice sobre dicha al menos una superficie de deslizamiento (40, 80) con una trayectoria de tendón (T-T) sustancialmente paralela a la trayectoria de tendón (T-T) de todos los demás tendones;

14. Instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de dichos elementos de articulación (72, 73, 74) tiene un par de asientos de terminación de tendón (82), en el que cada asiento de terminación de tendón (82) está posicionado para soportar cada tendón (90, 190) de tal manera que su trayectoria de tendón (T-T) es estacionaria con respecto al elemento de articulación más próximo al mismo.

15. Conjunto de cirugía robótica (100) que comprende al menos un instrumento médico (60, 160, 260, 360) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.



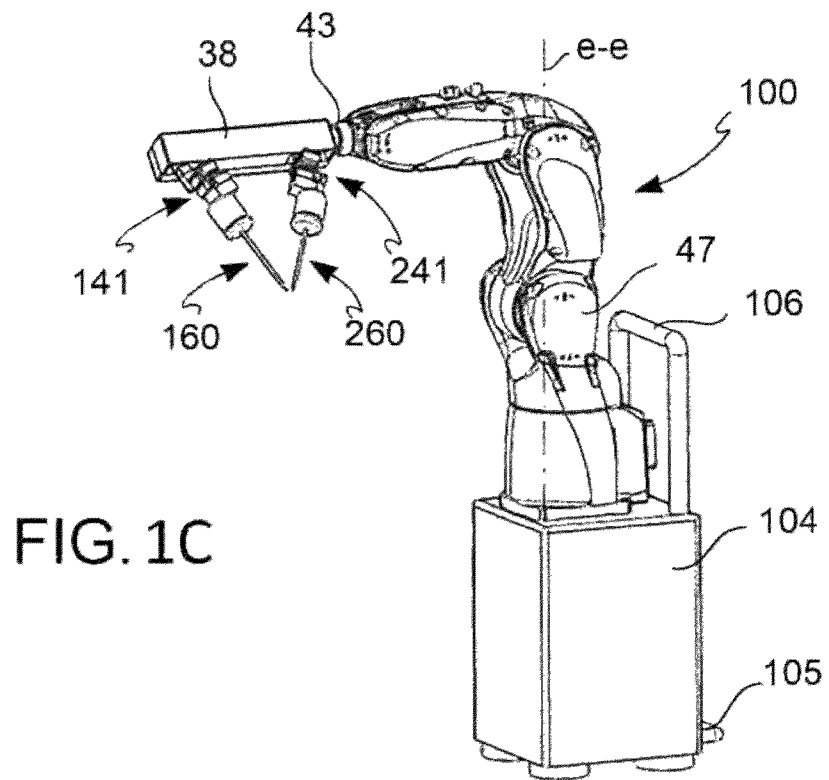


FIG. 1C

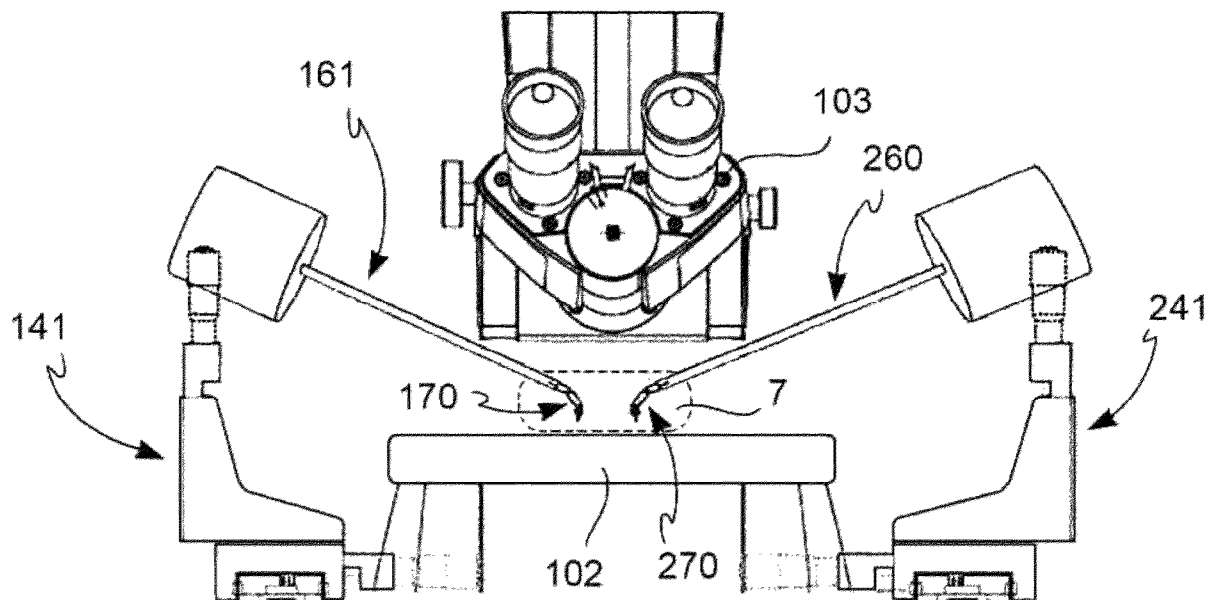


FIG. 2A

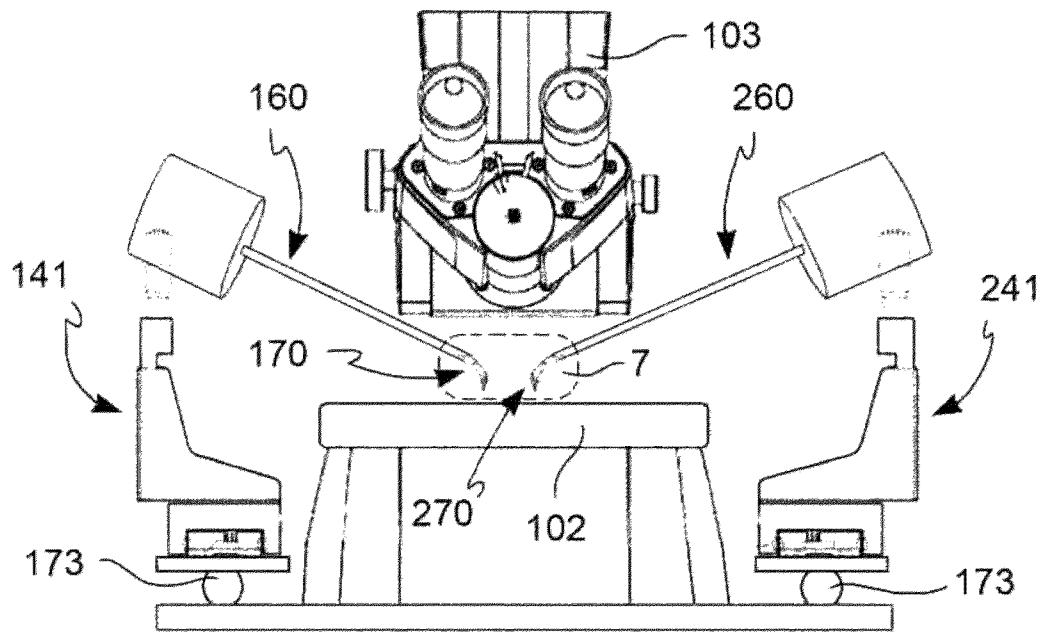


FIG. 2B

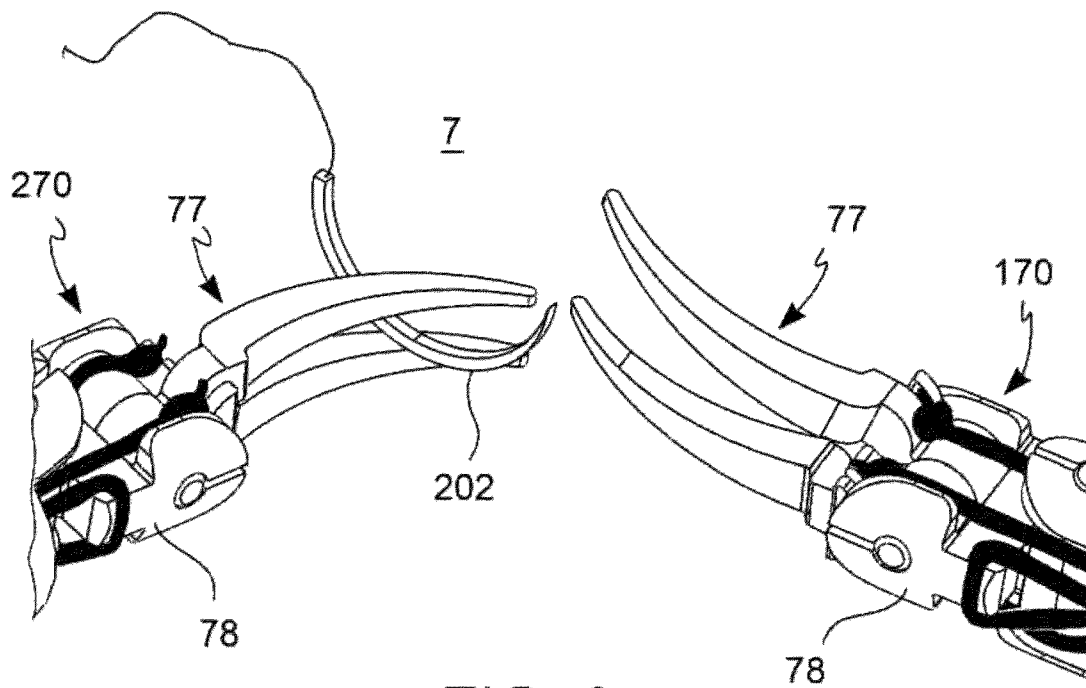


FIG. 3

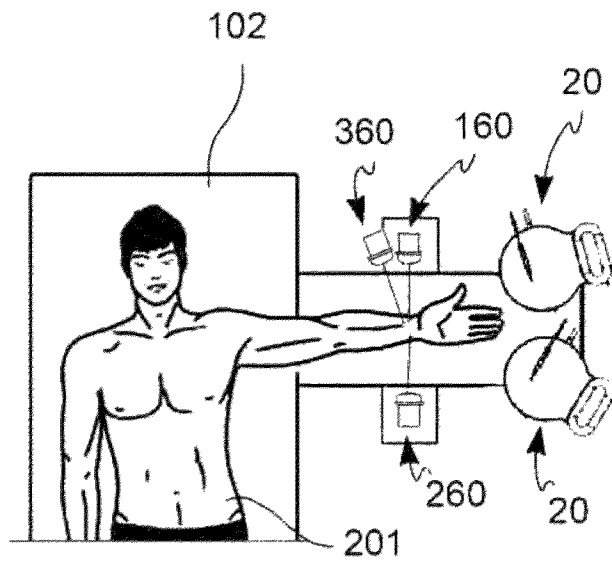


FIG. 4B

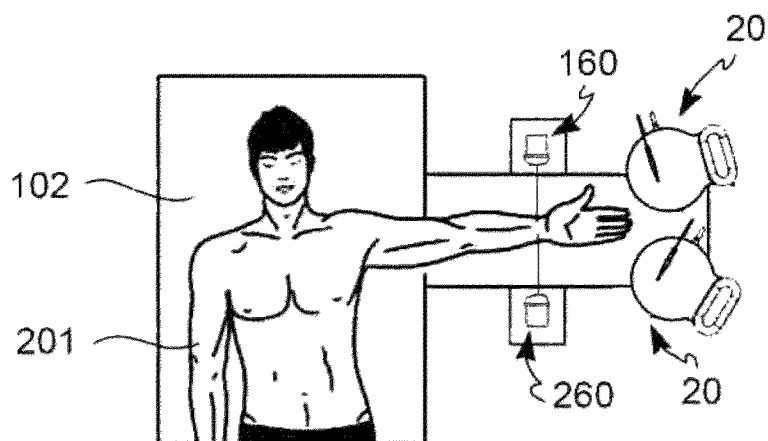


FIG. 4A

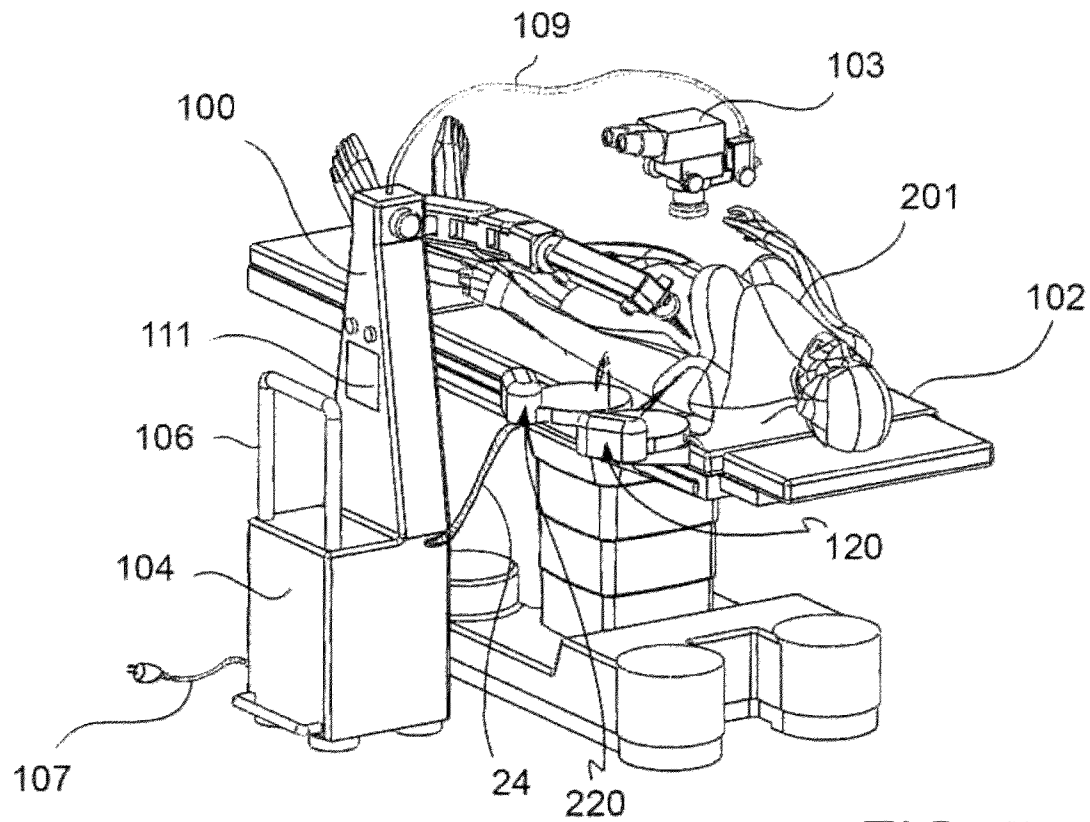


FIG. 5

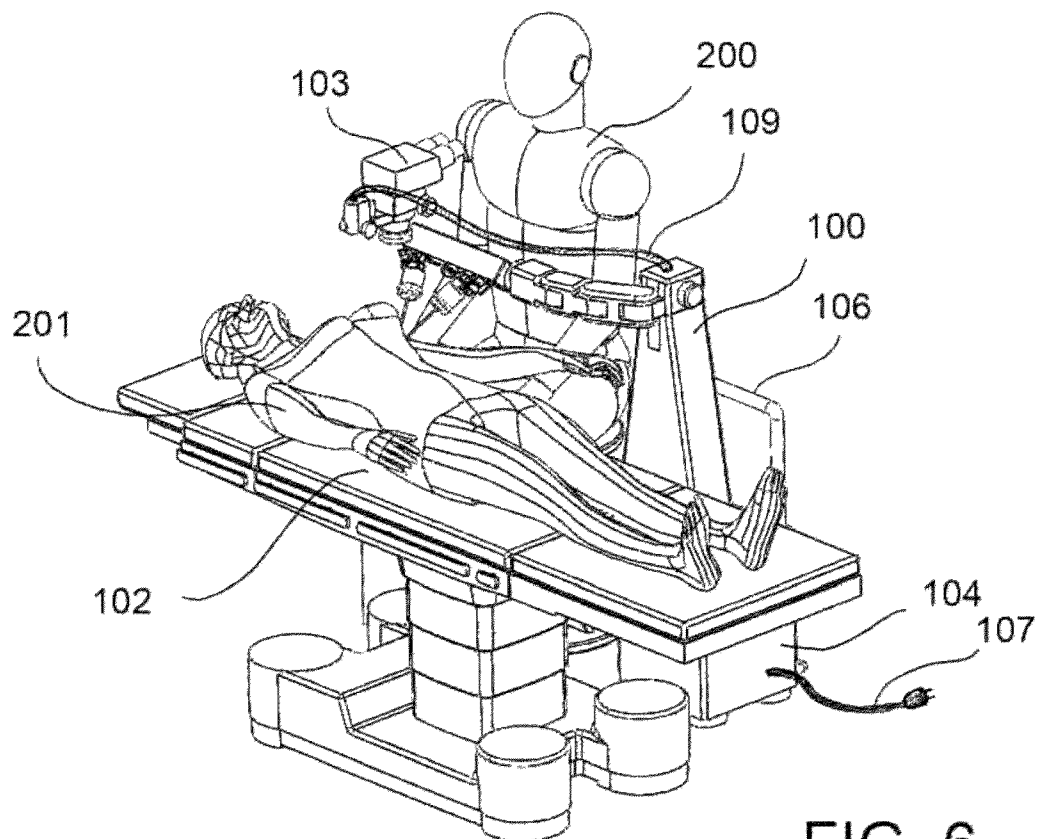


FIG. 6

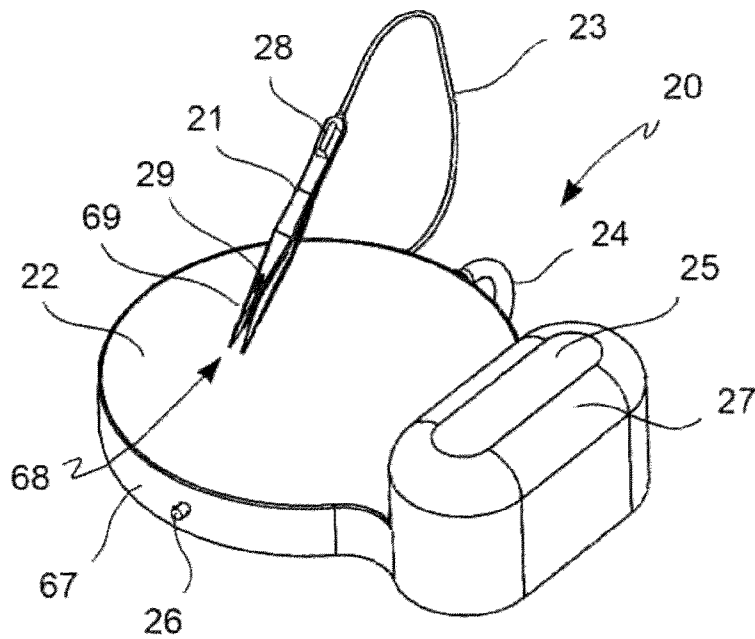


FIG. 7

FIG. 8

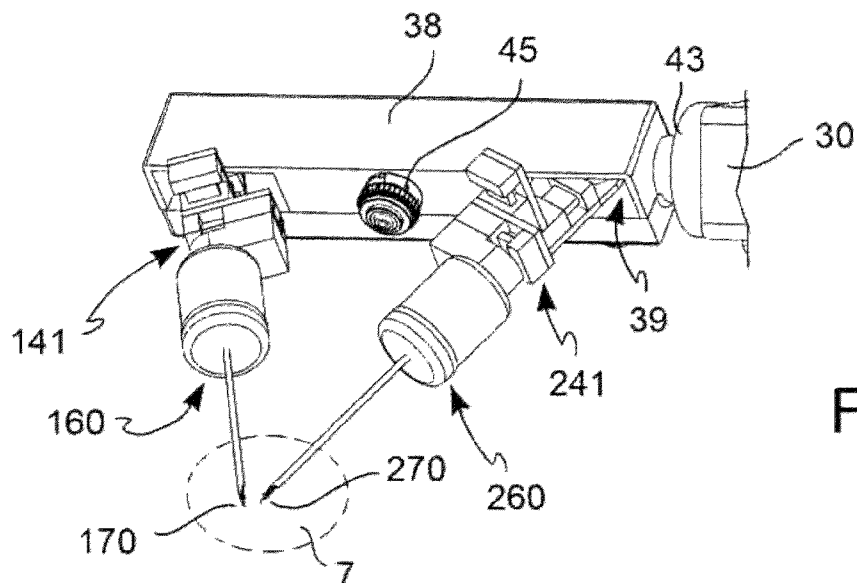
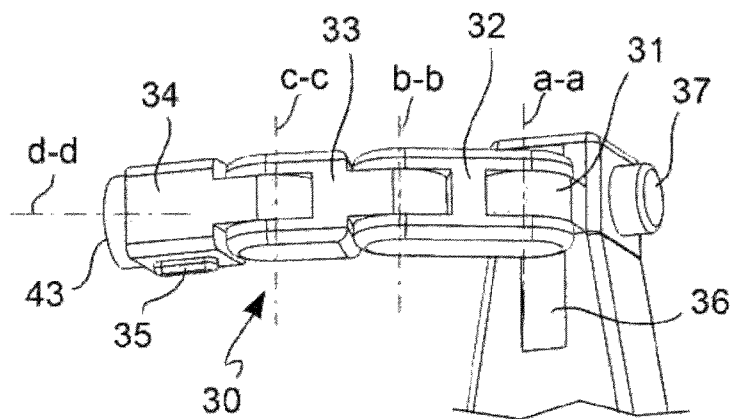


FIG. 9A

FIG. 9B

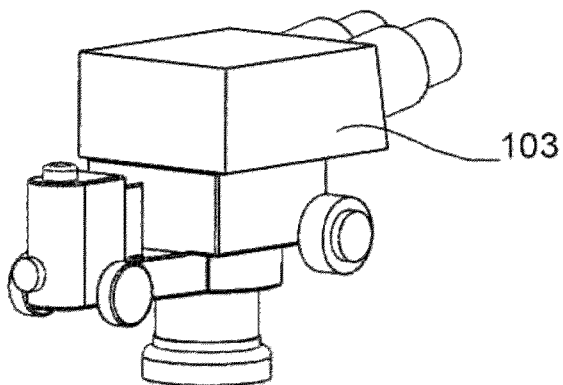
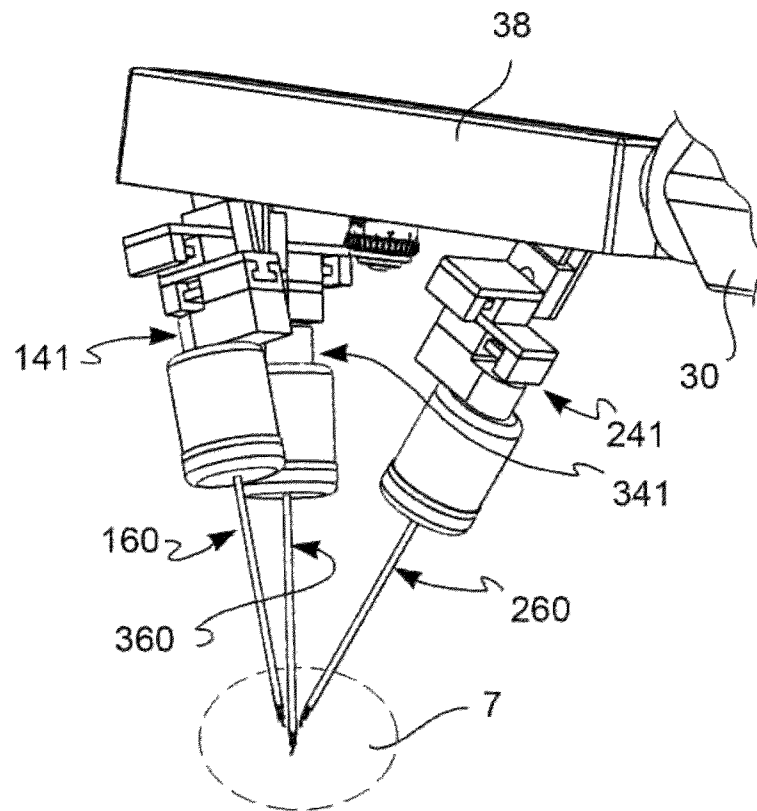
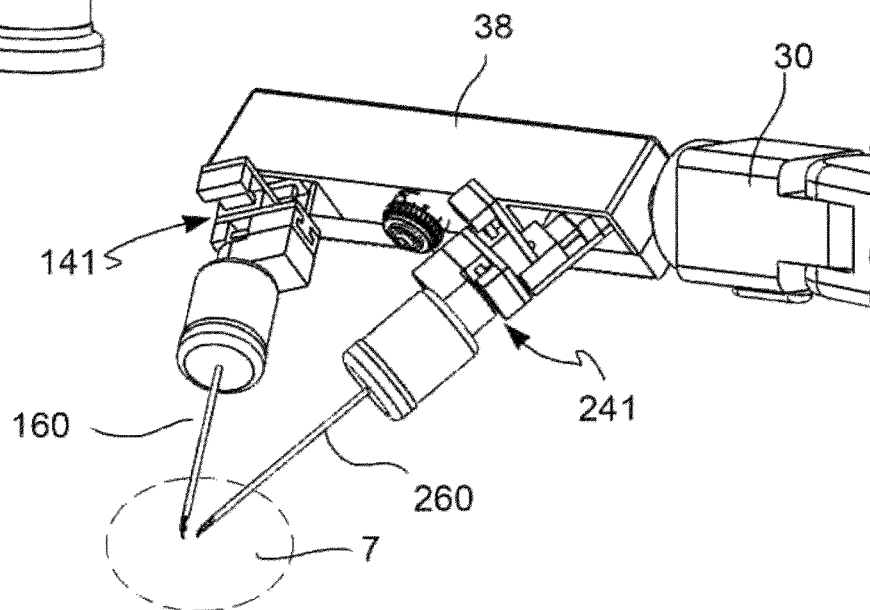
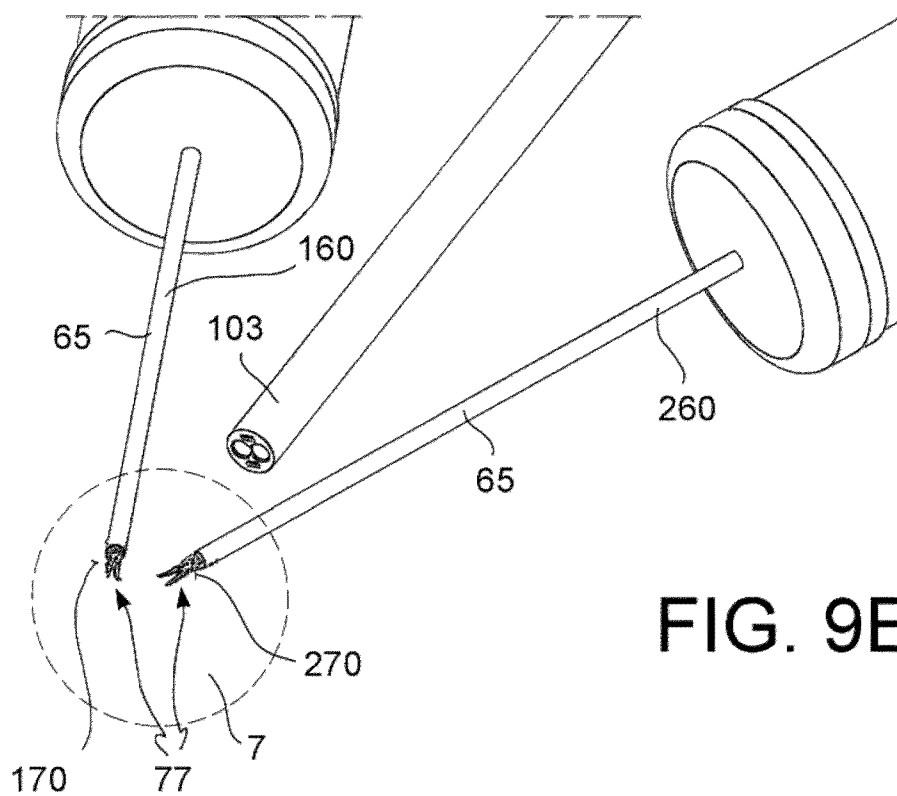
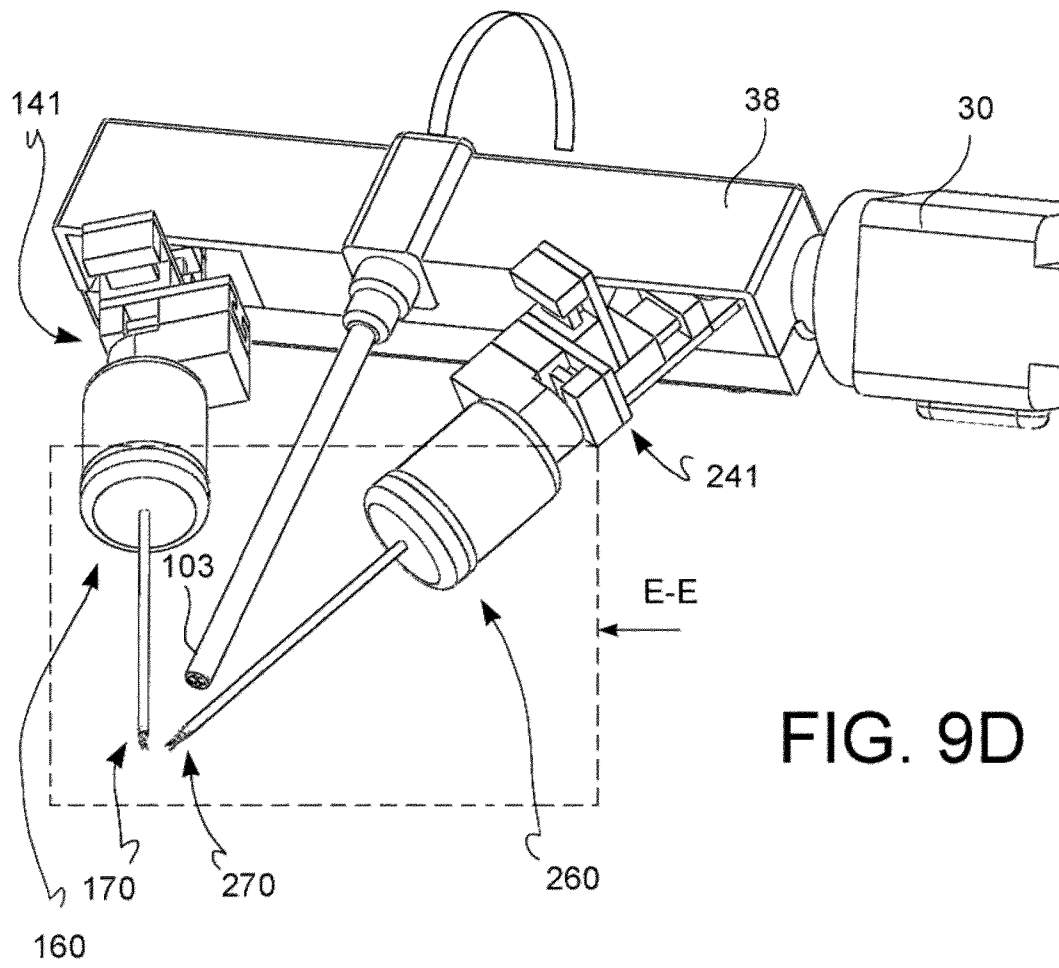


FIG. 9C





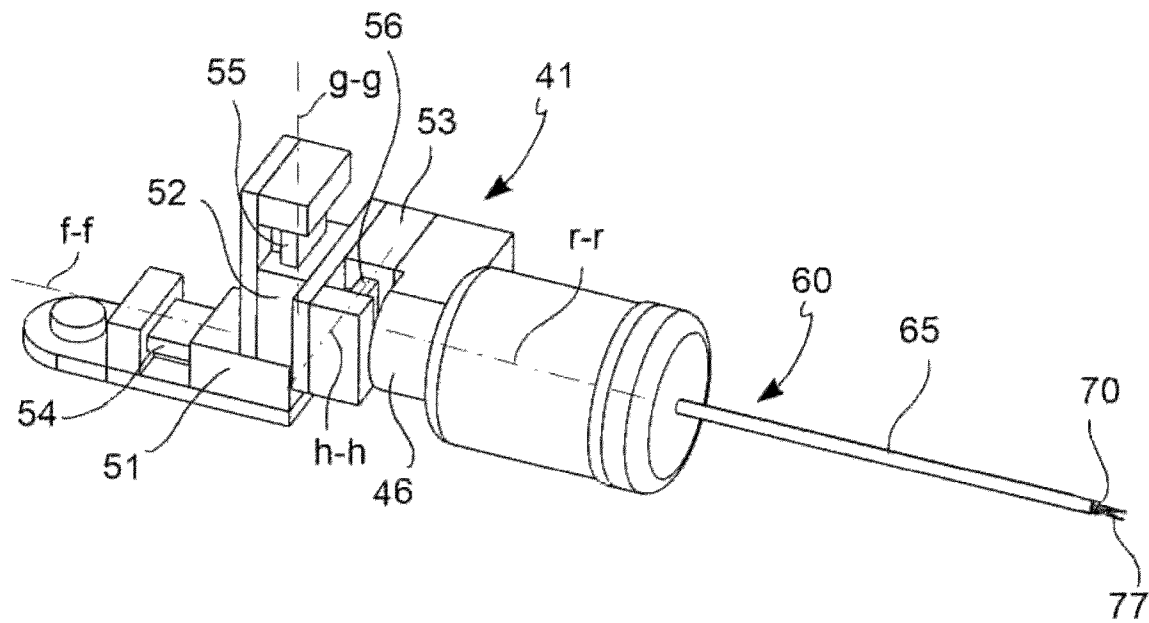


FIG. 10

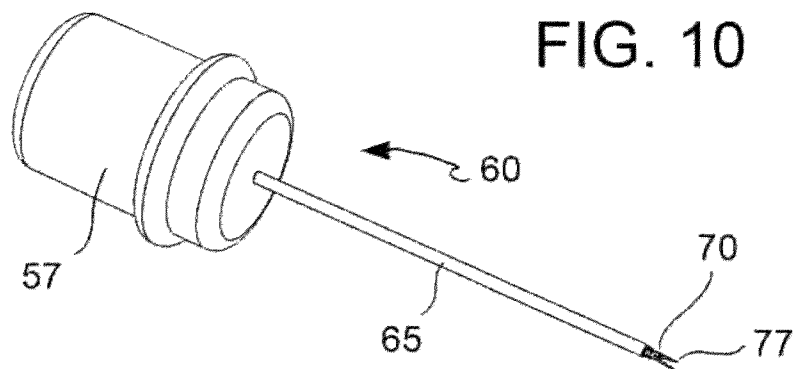


FIG. 11

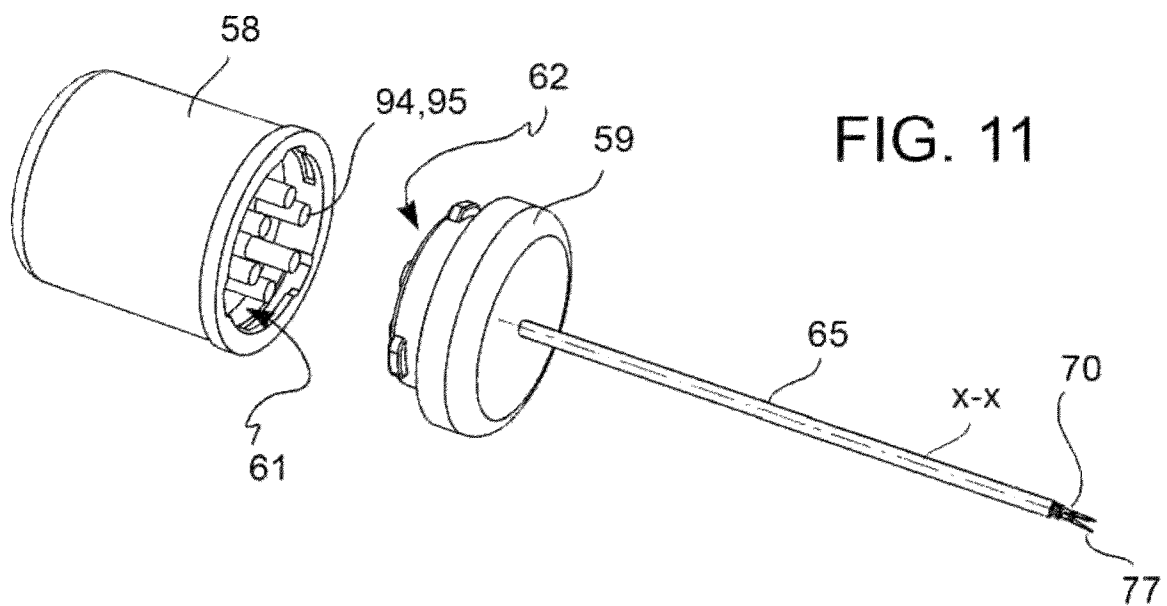


FIG. 12

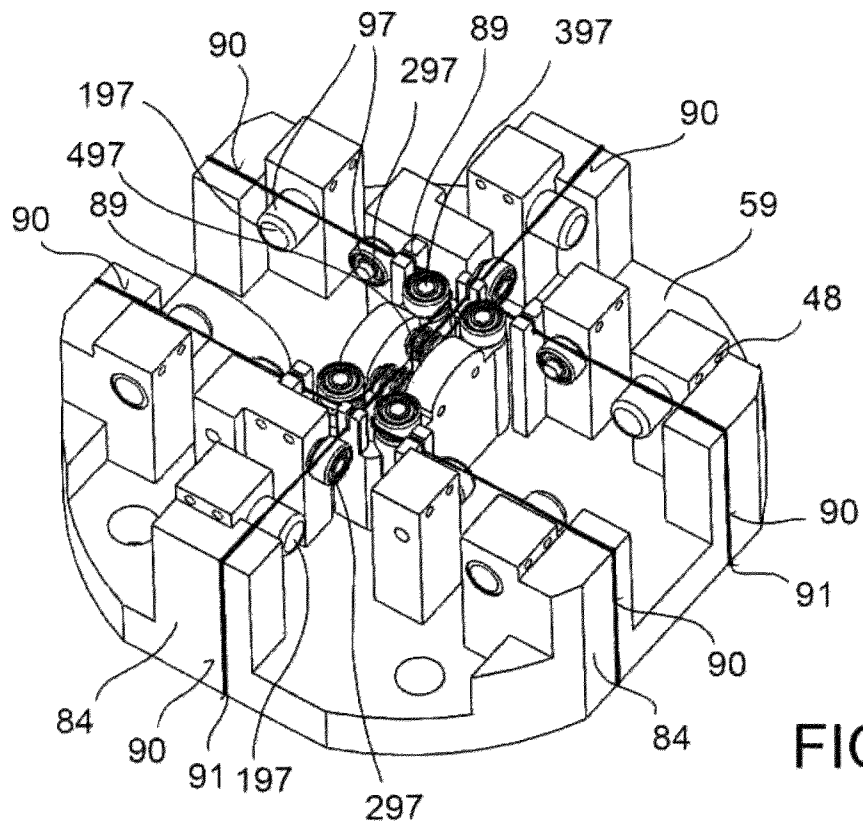


FIG. 13A

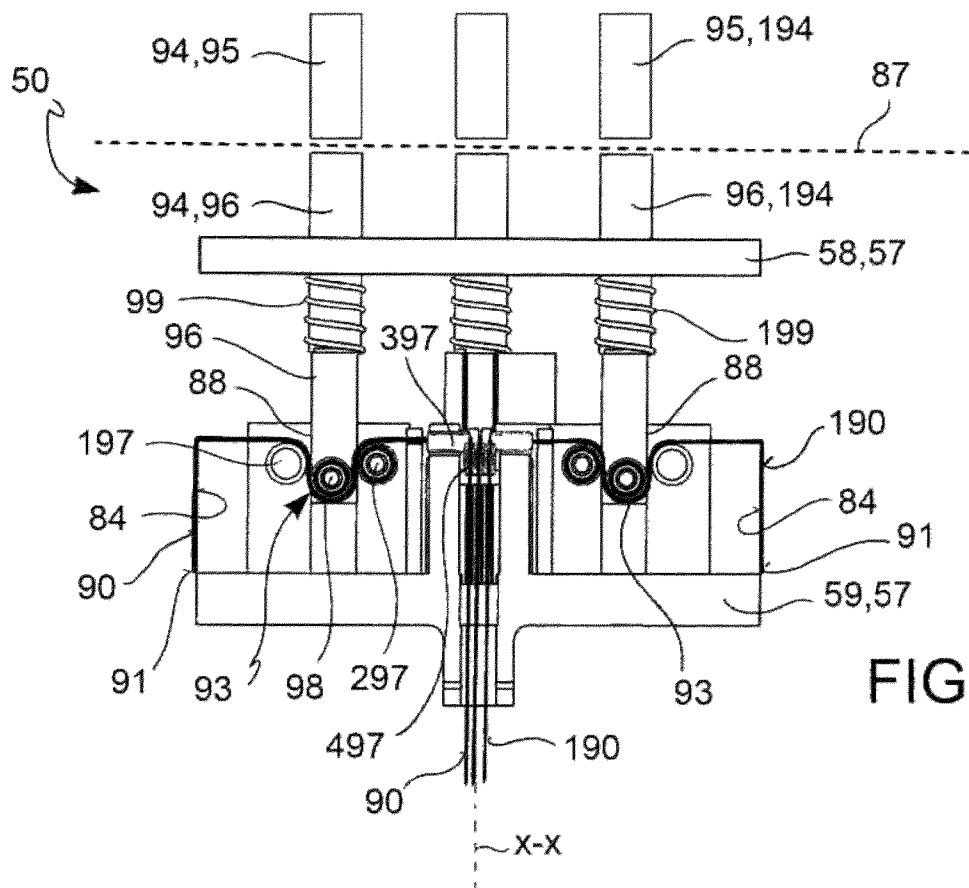


FIG. 14A

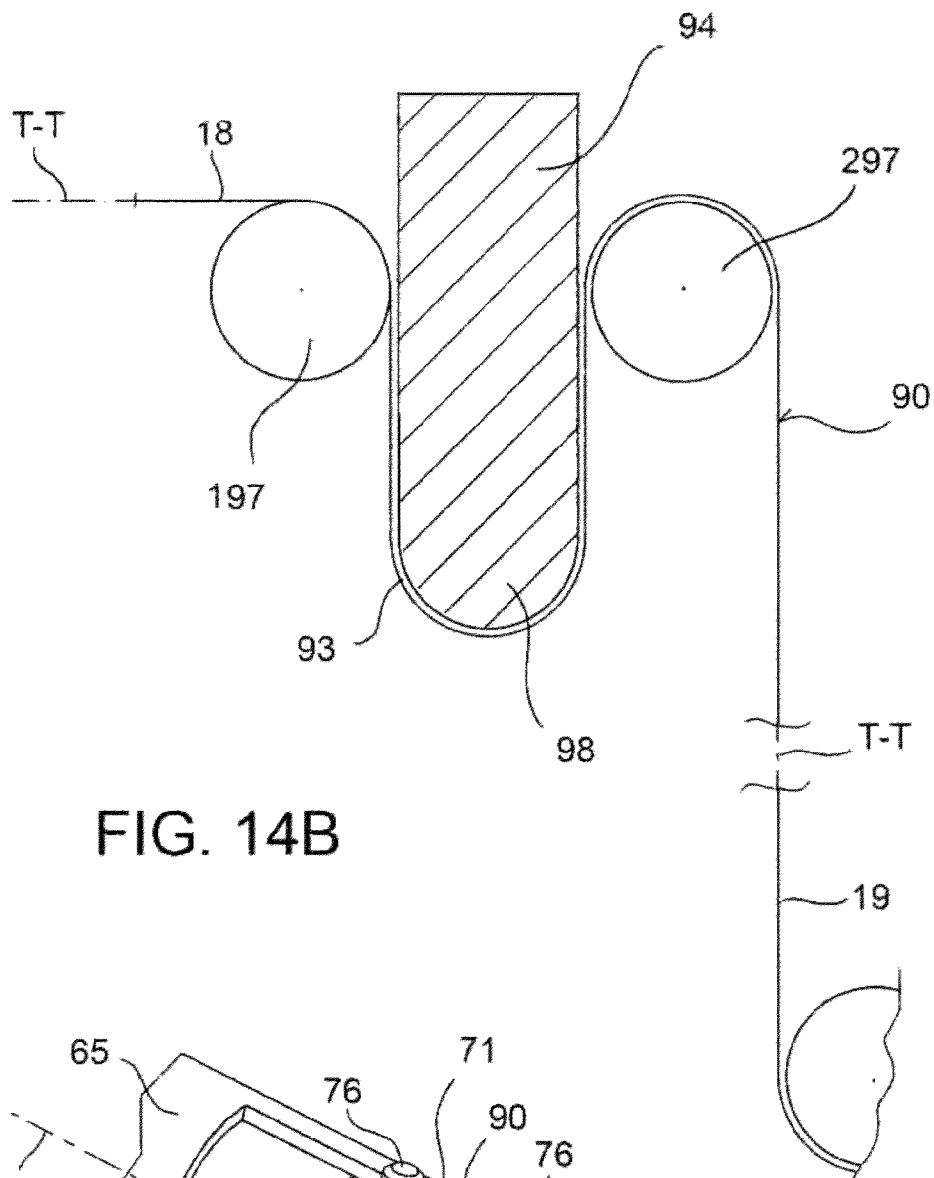


FIG. 14B

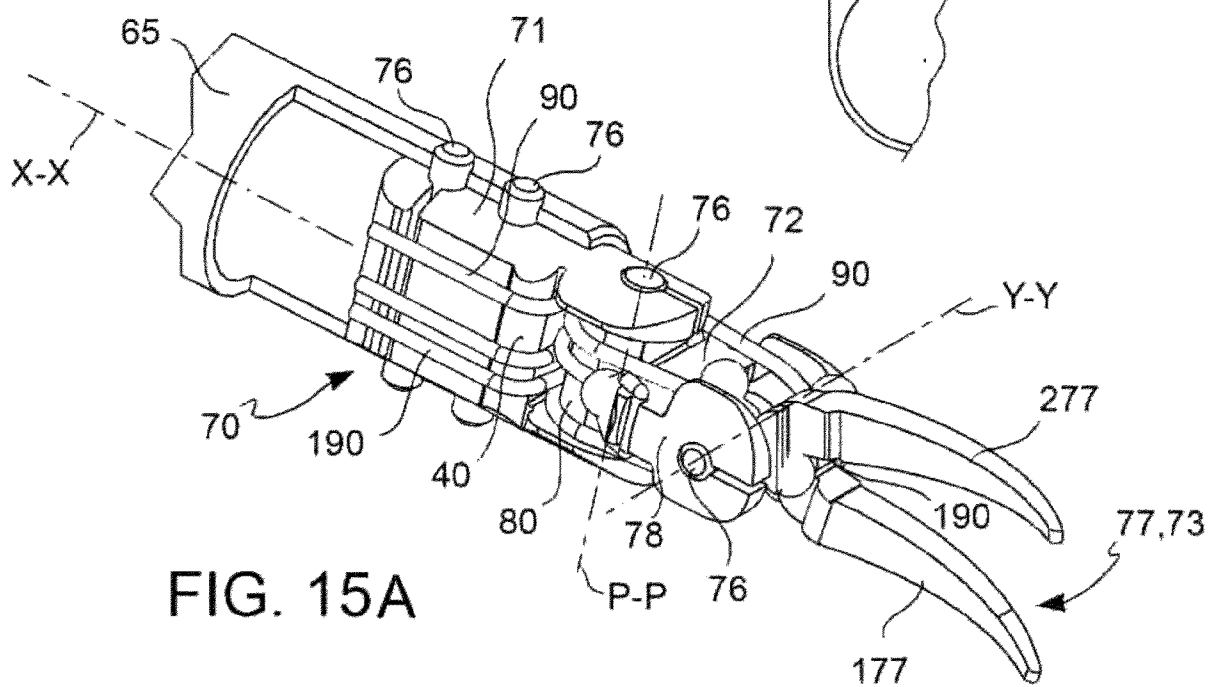


FIG. 15A

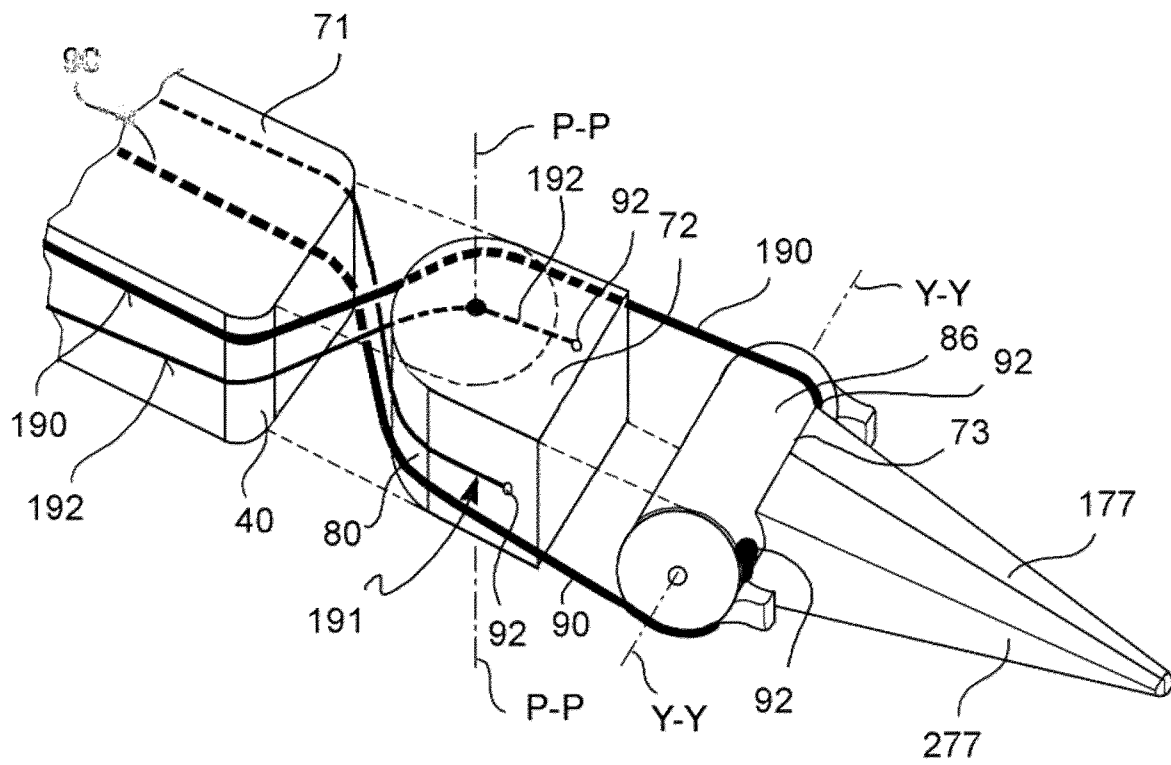


FIG. 15C

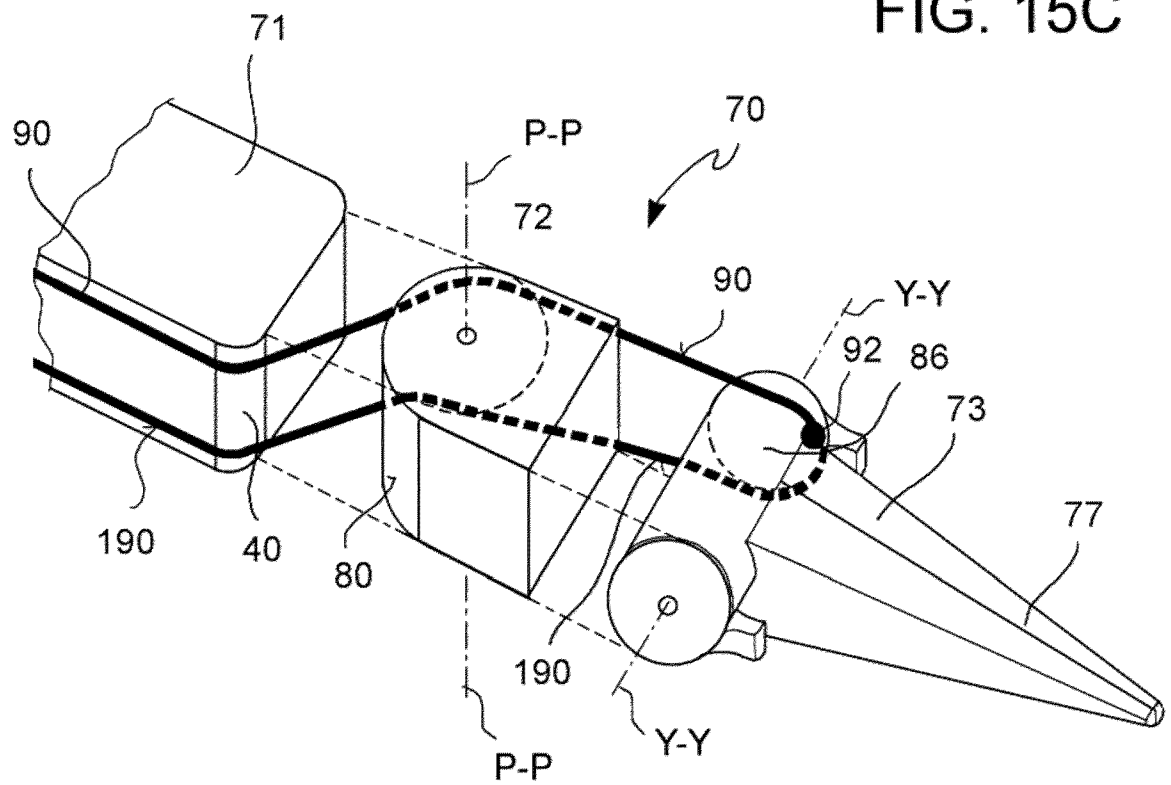


FIG. 15D

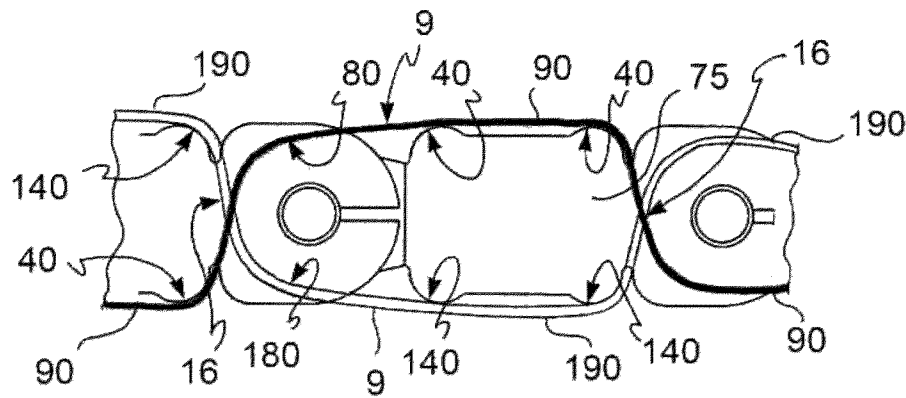


FIG. 16

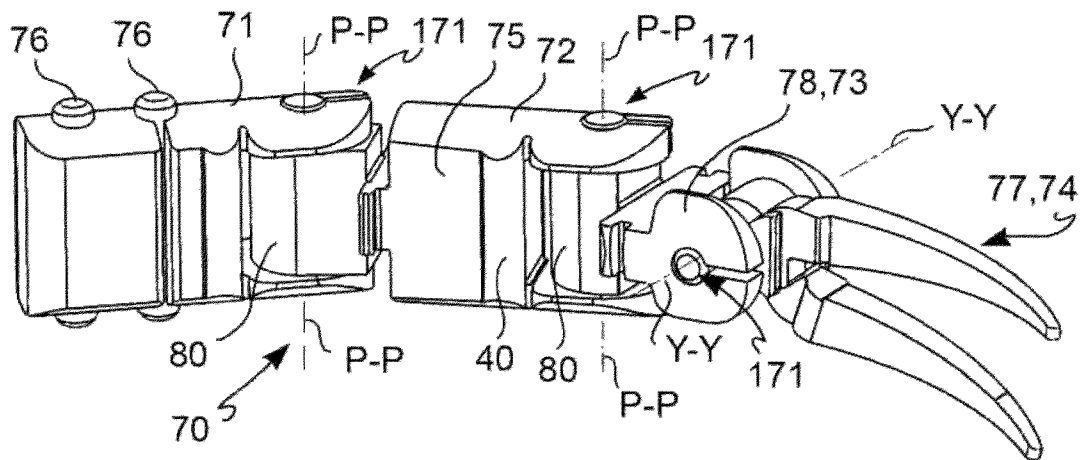


FIG. 17

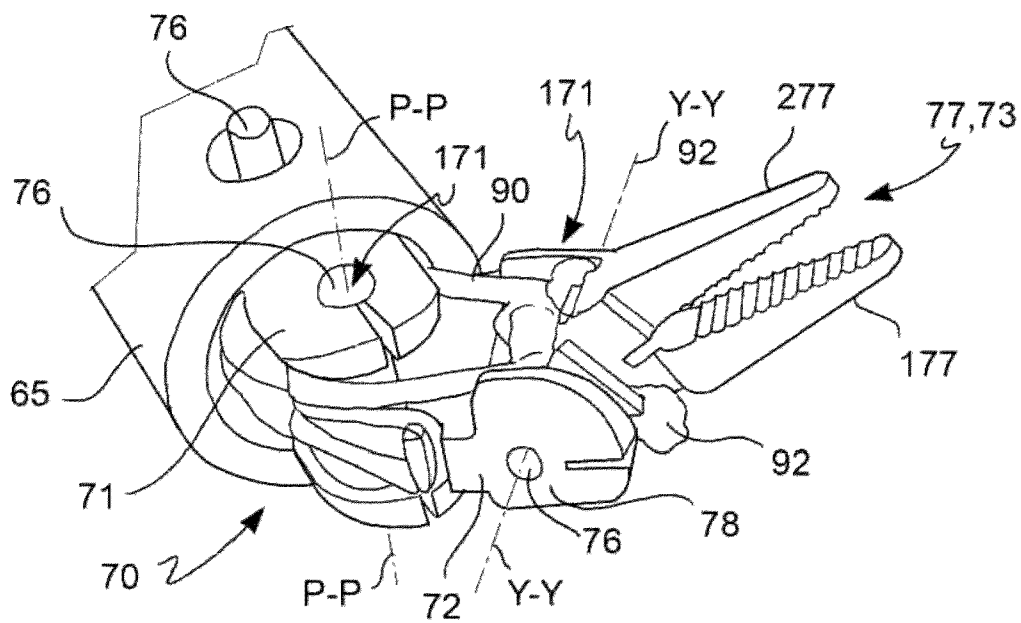


FIG. 15B

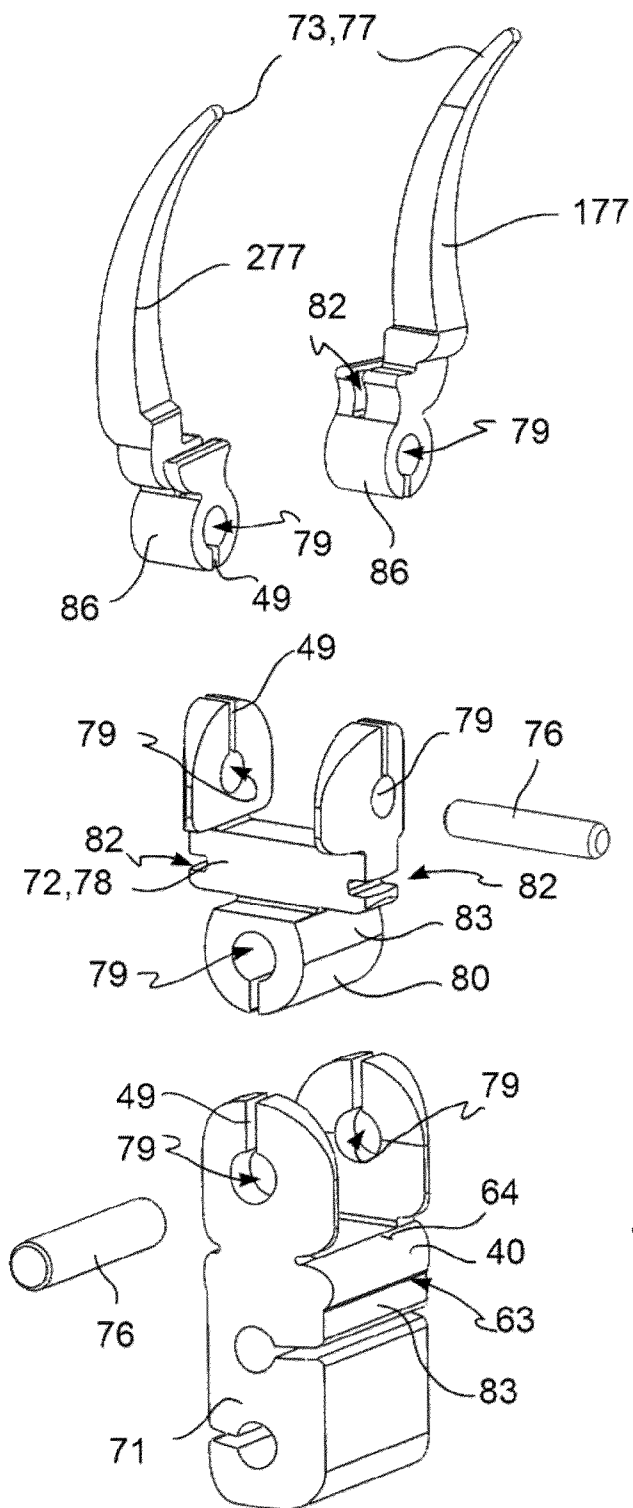


FIG. 18

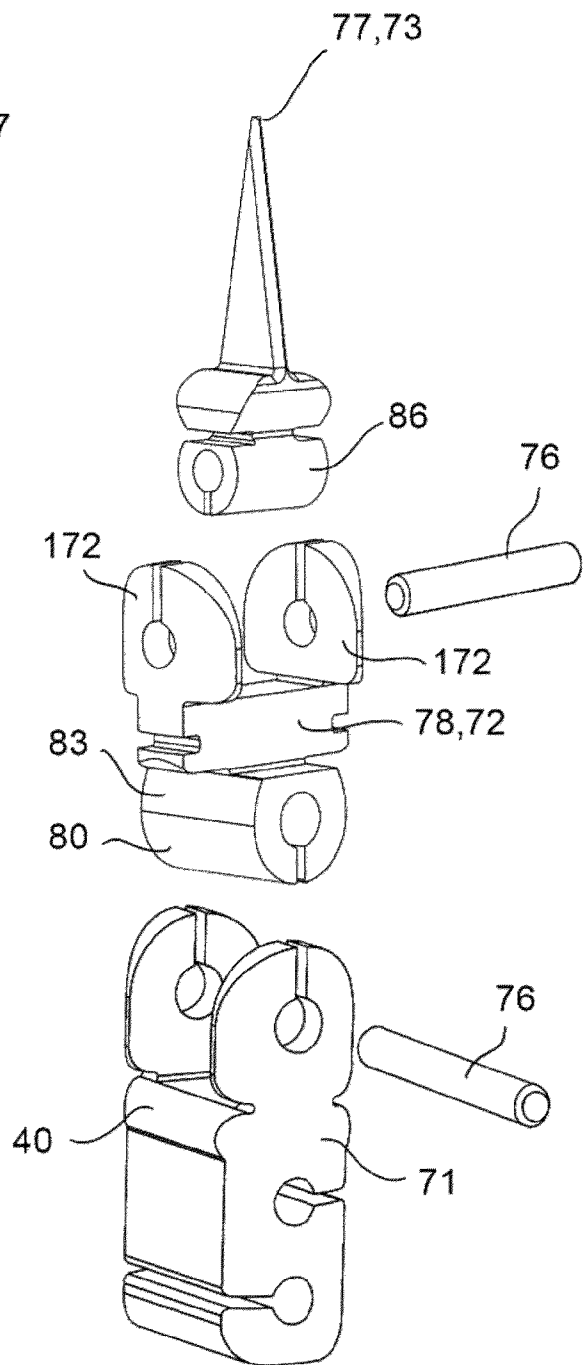


FIG. 19

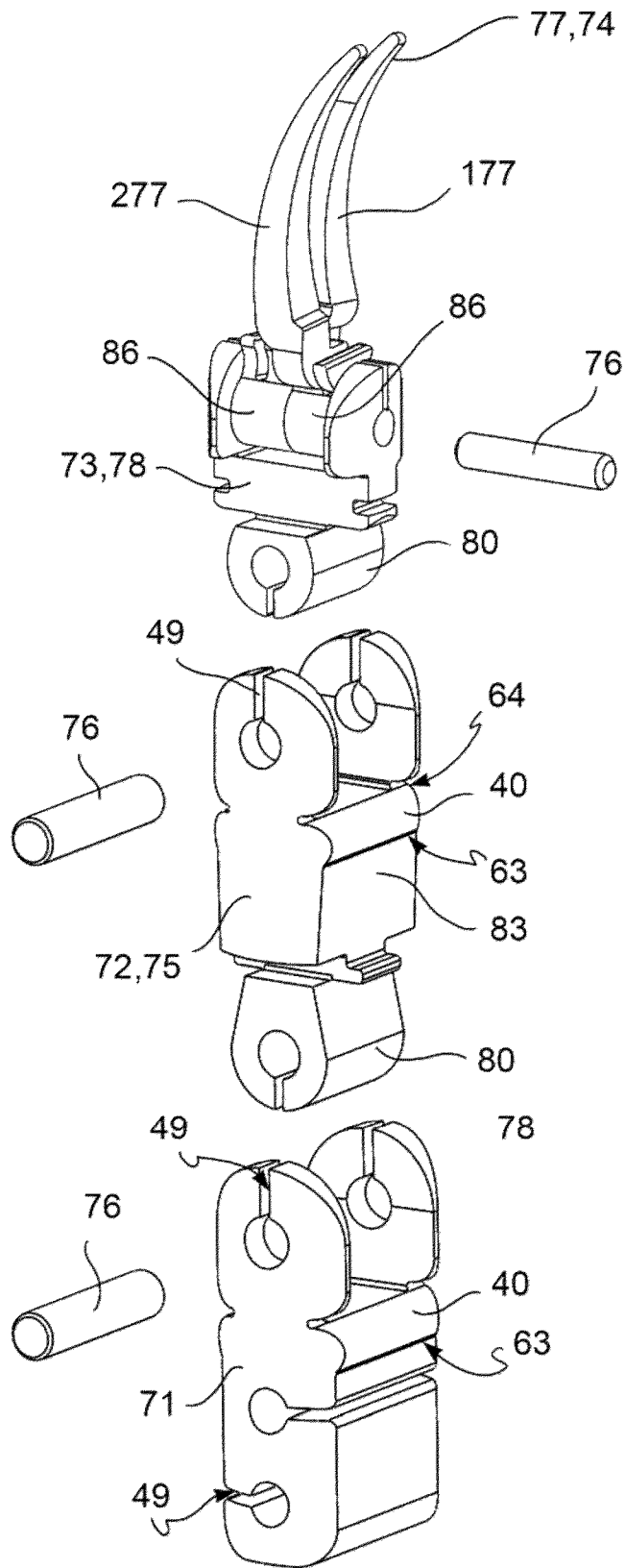


FIG. 20

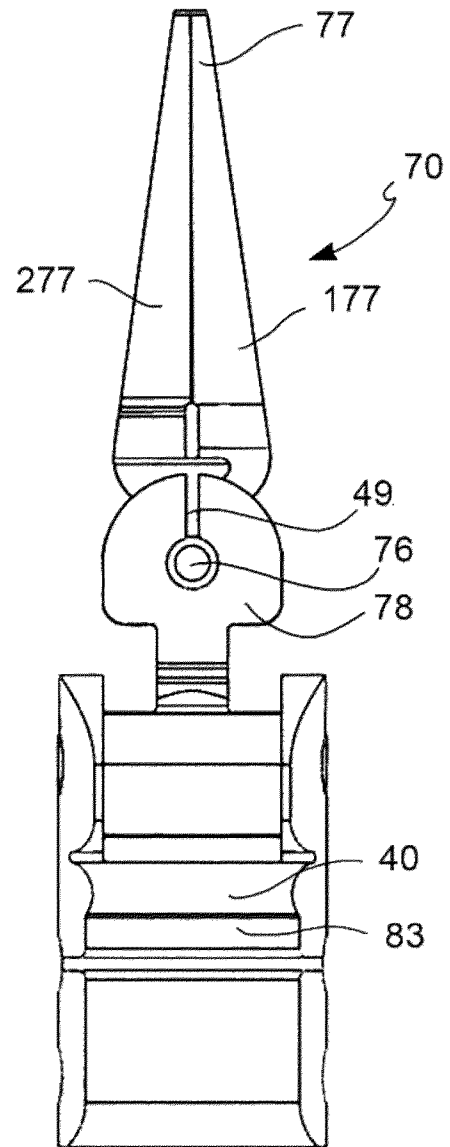


FIG. 21

FIG. 22

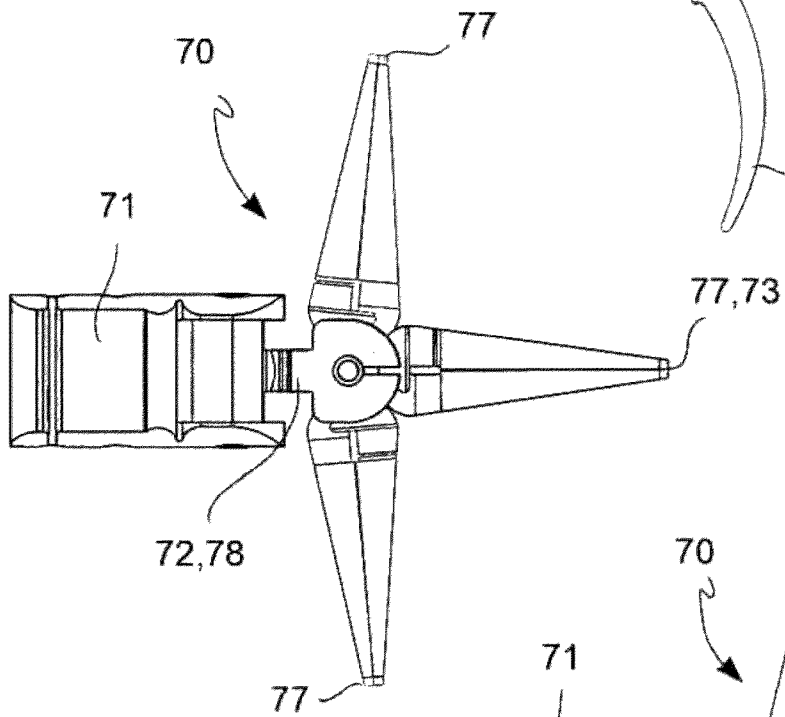
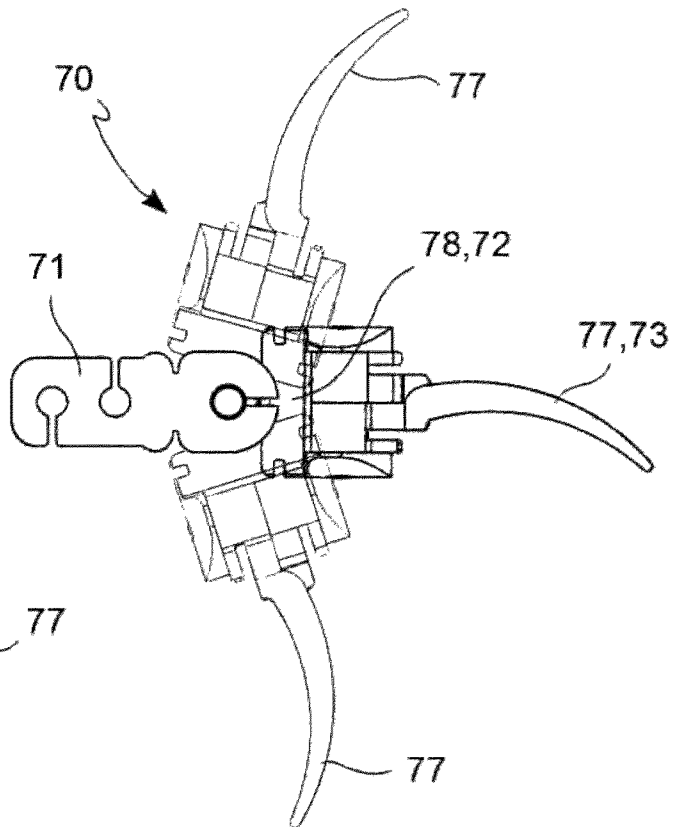
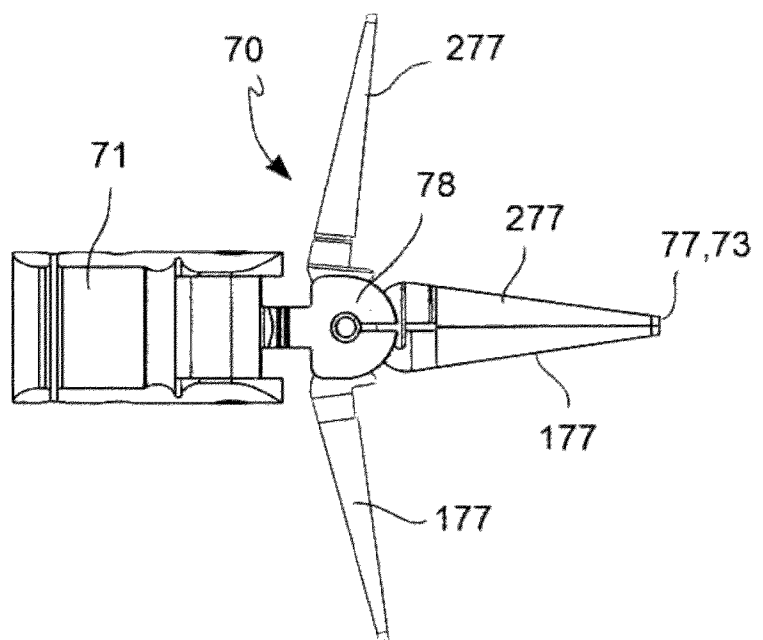
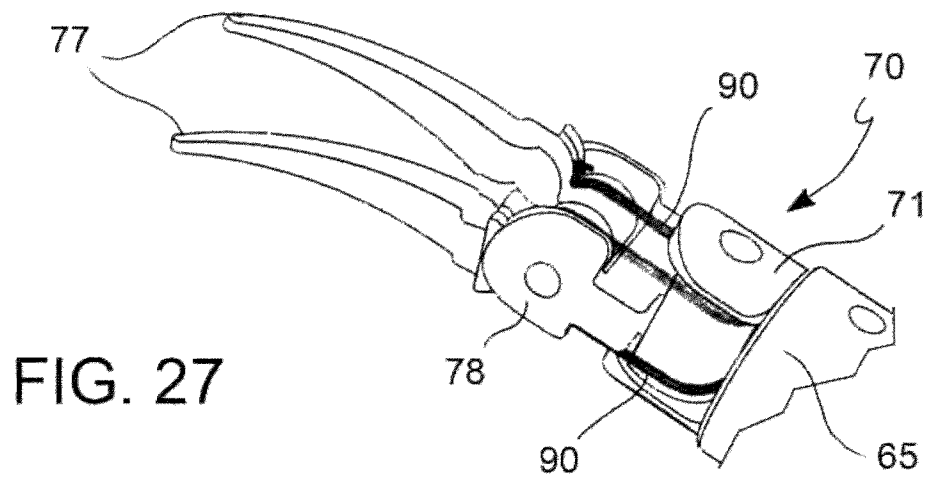
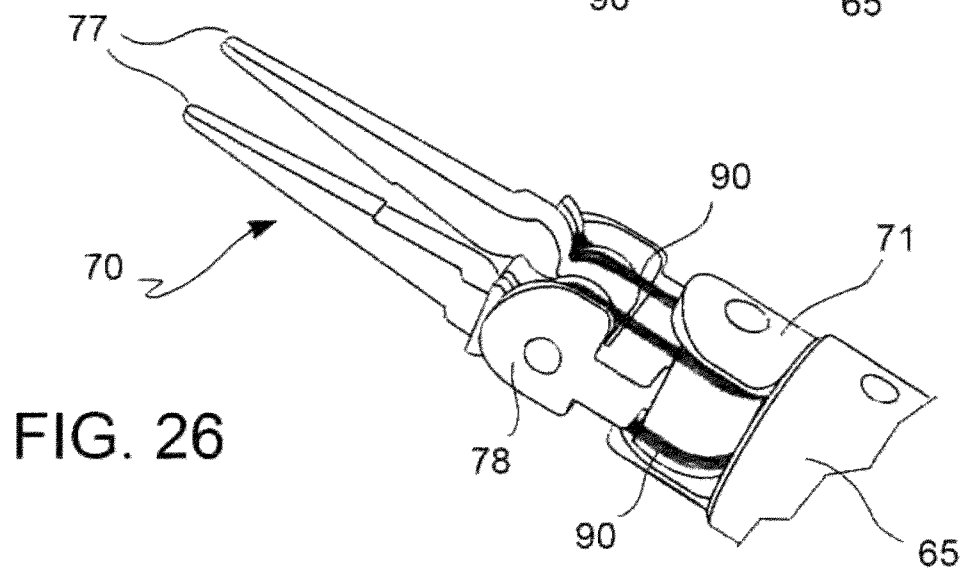
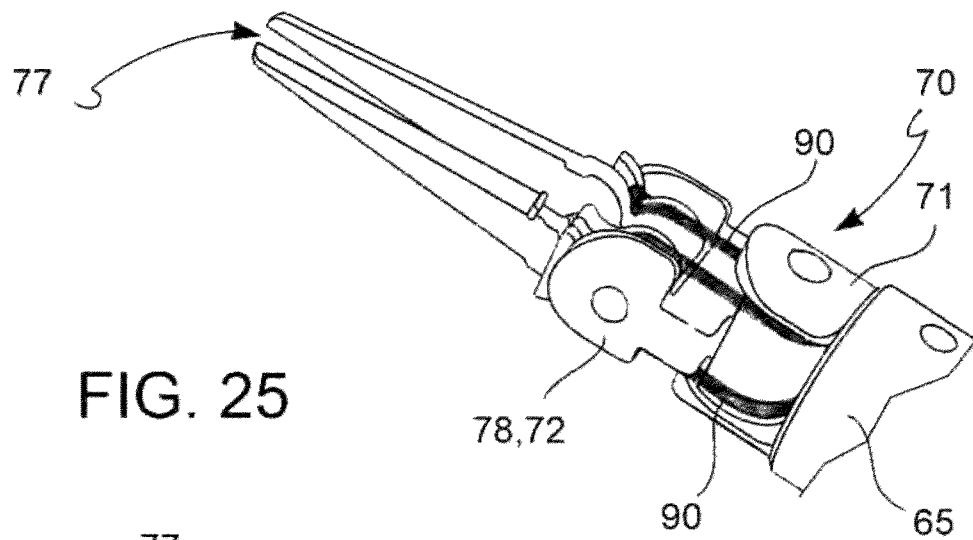


FIG. 23

FIG. 24





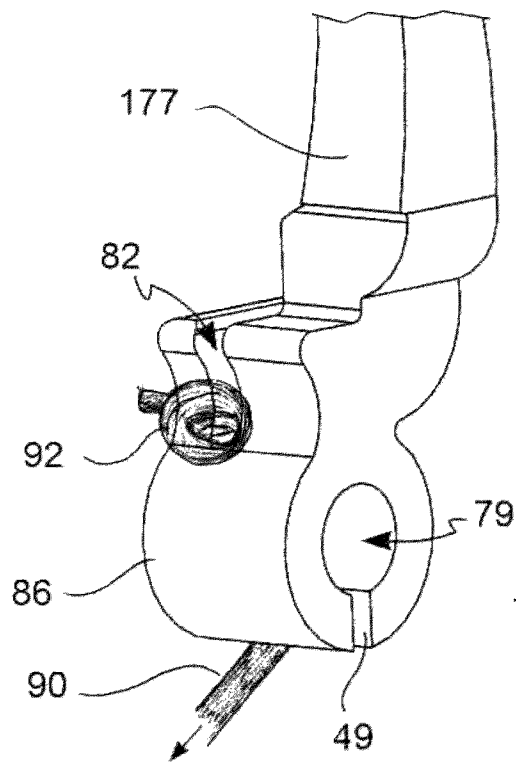


FIG. 28

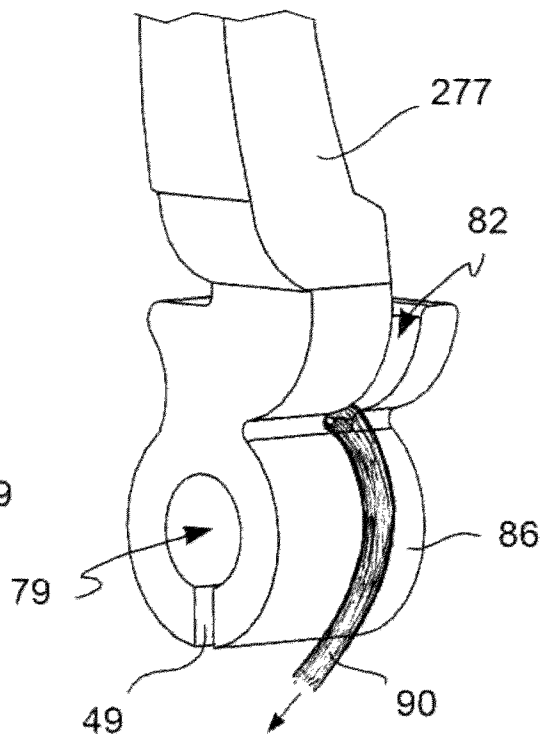


FIG. 29

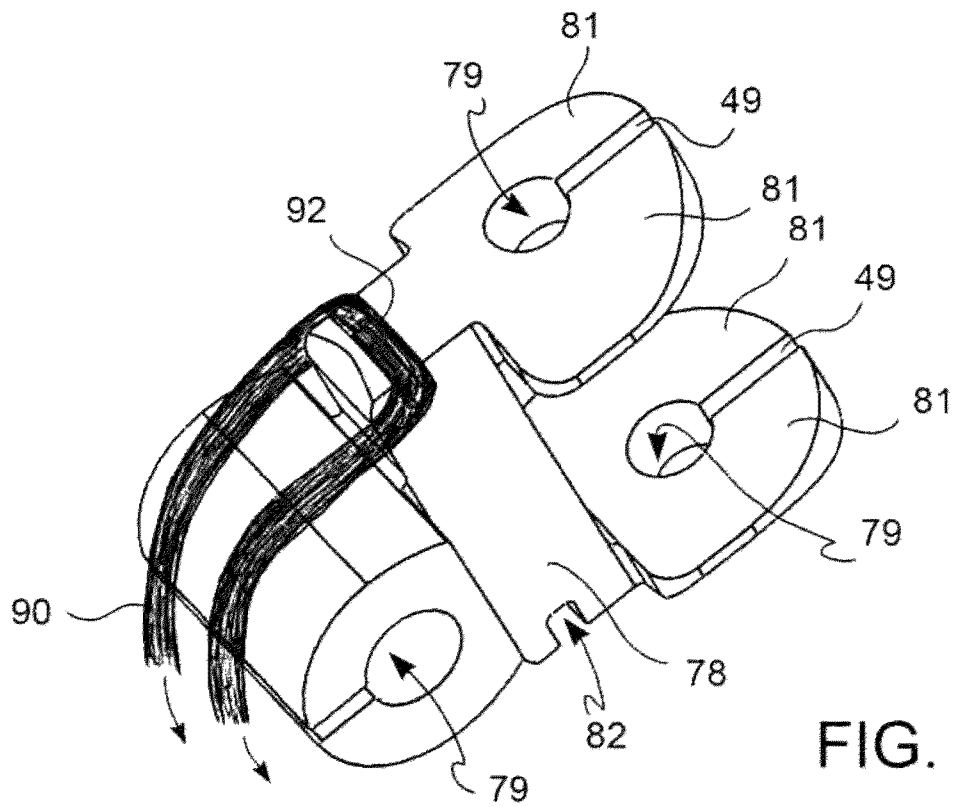
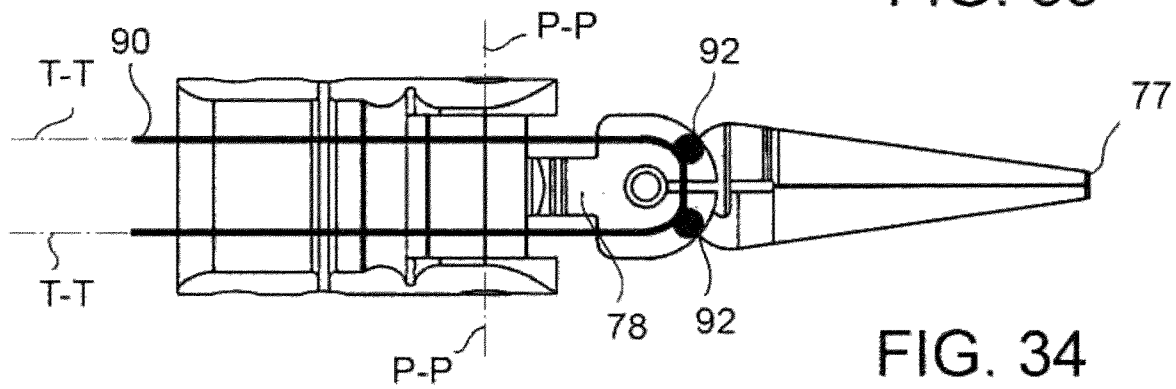
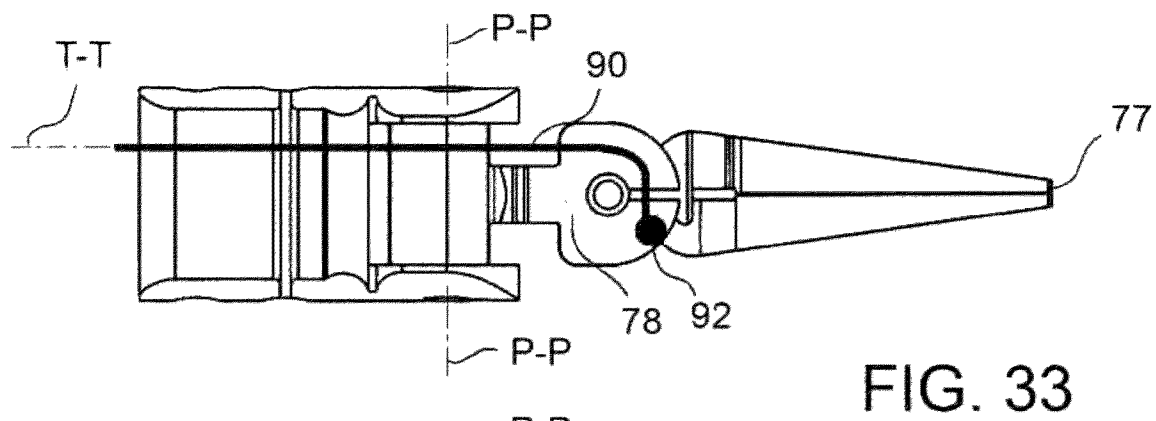
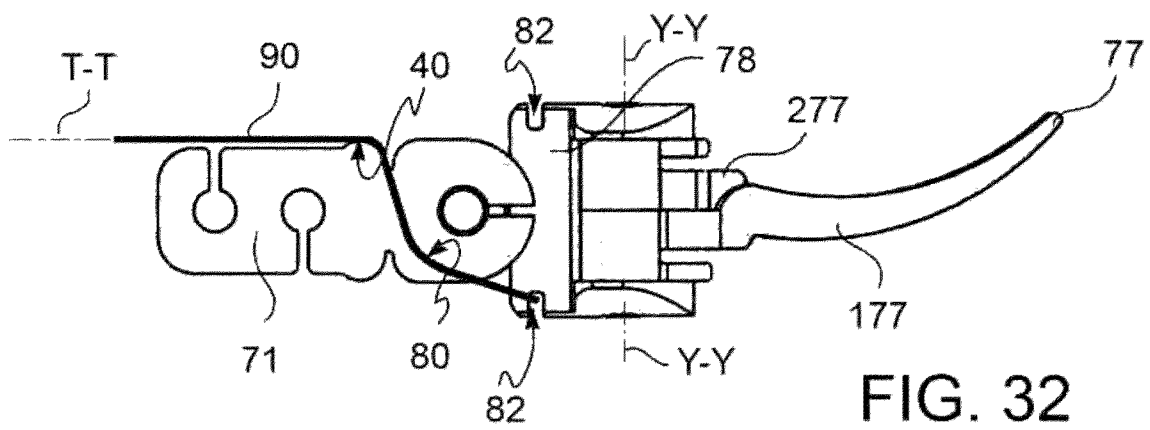
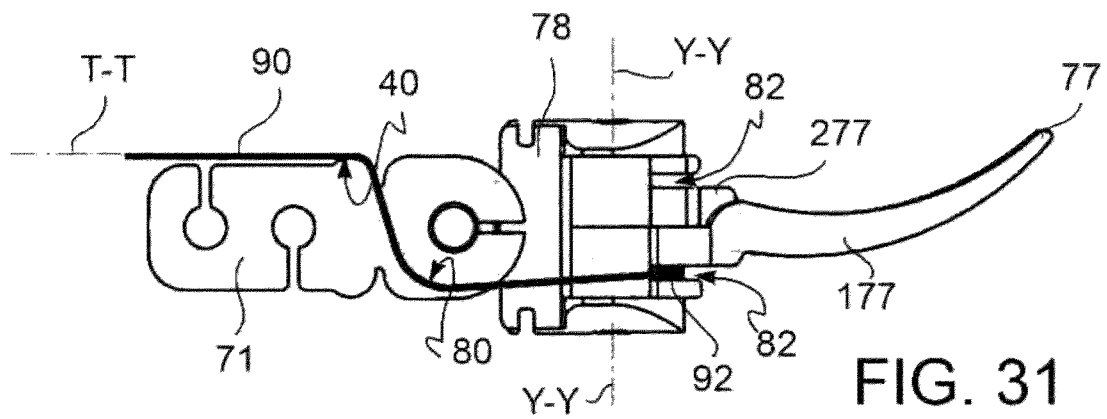
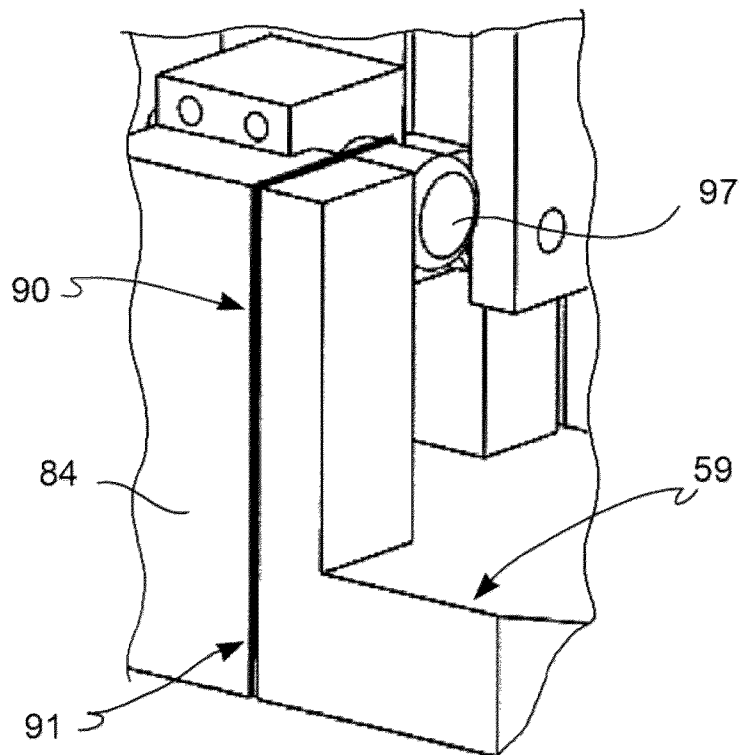
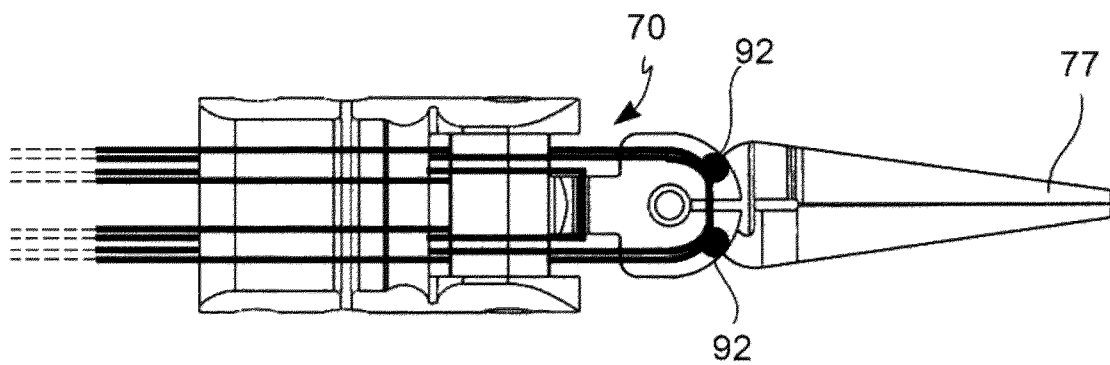
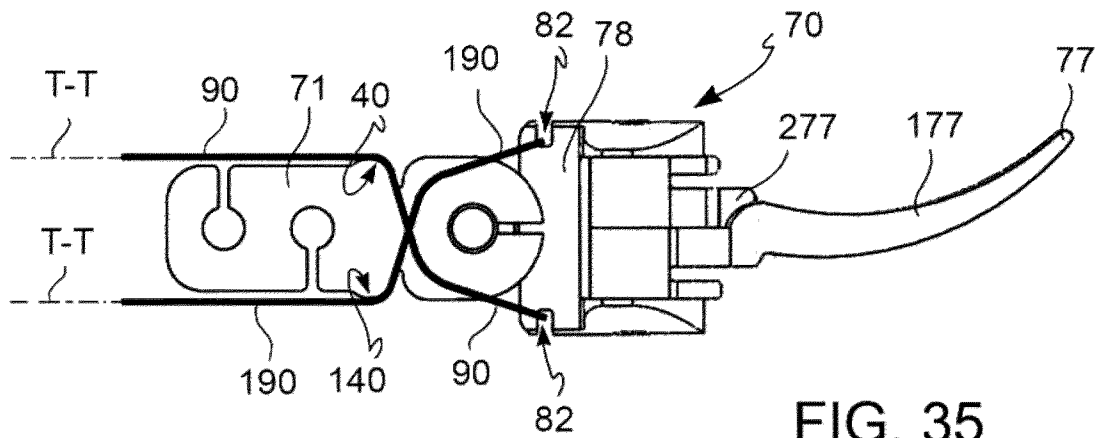


FIG. 30





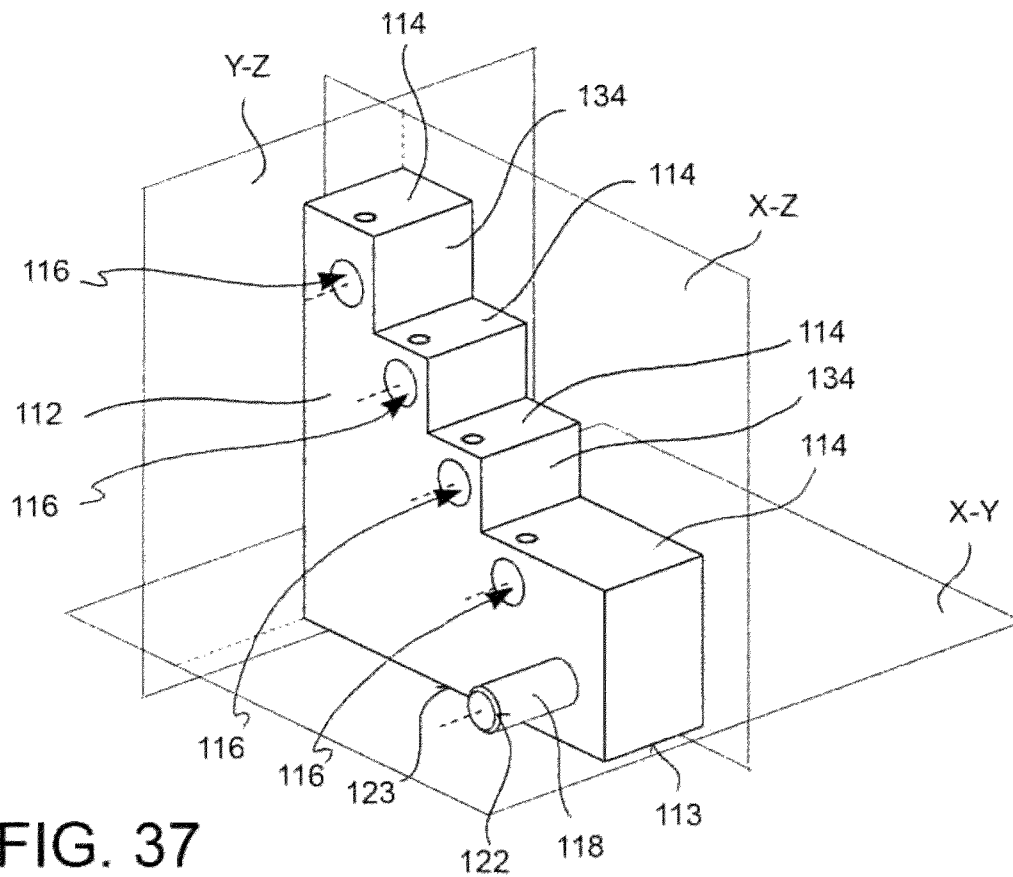


FIG. 37

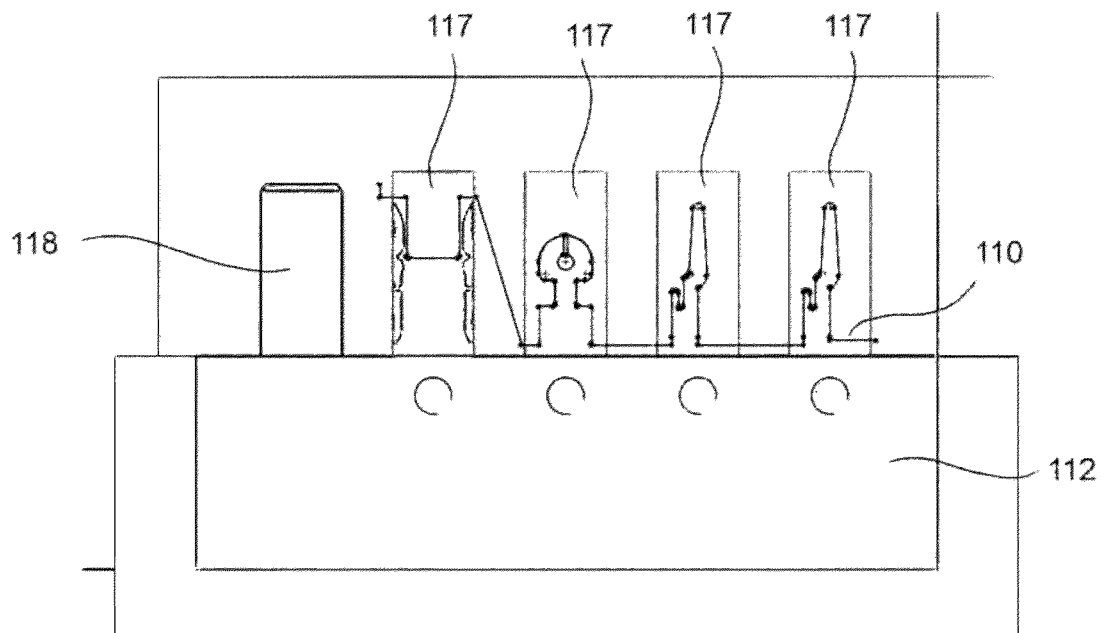


FIG. 38

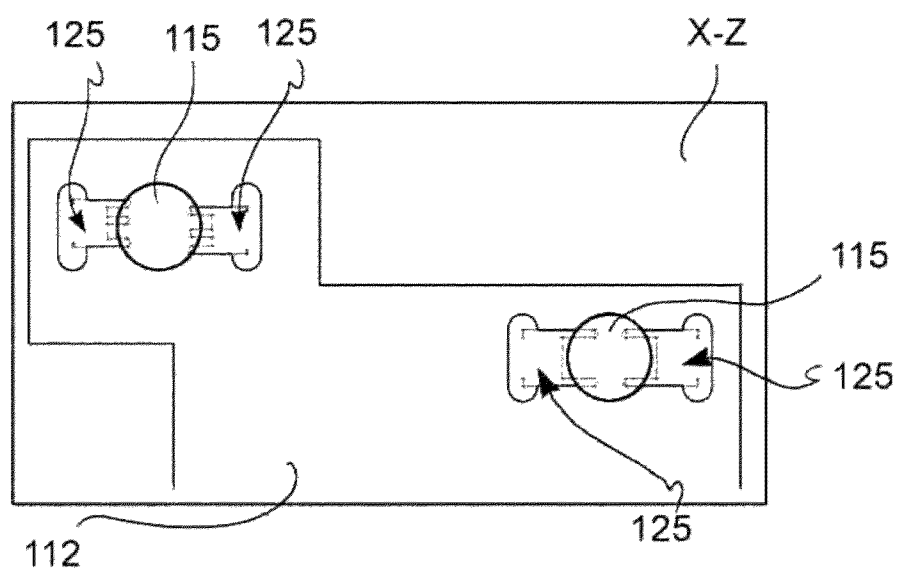
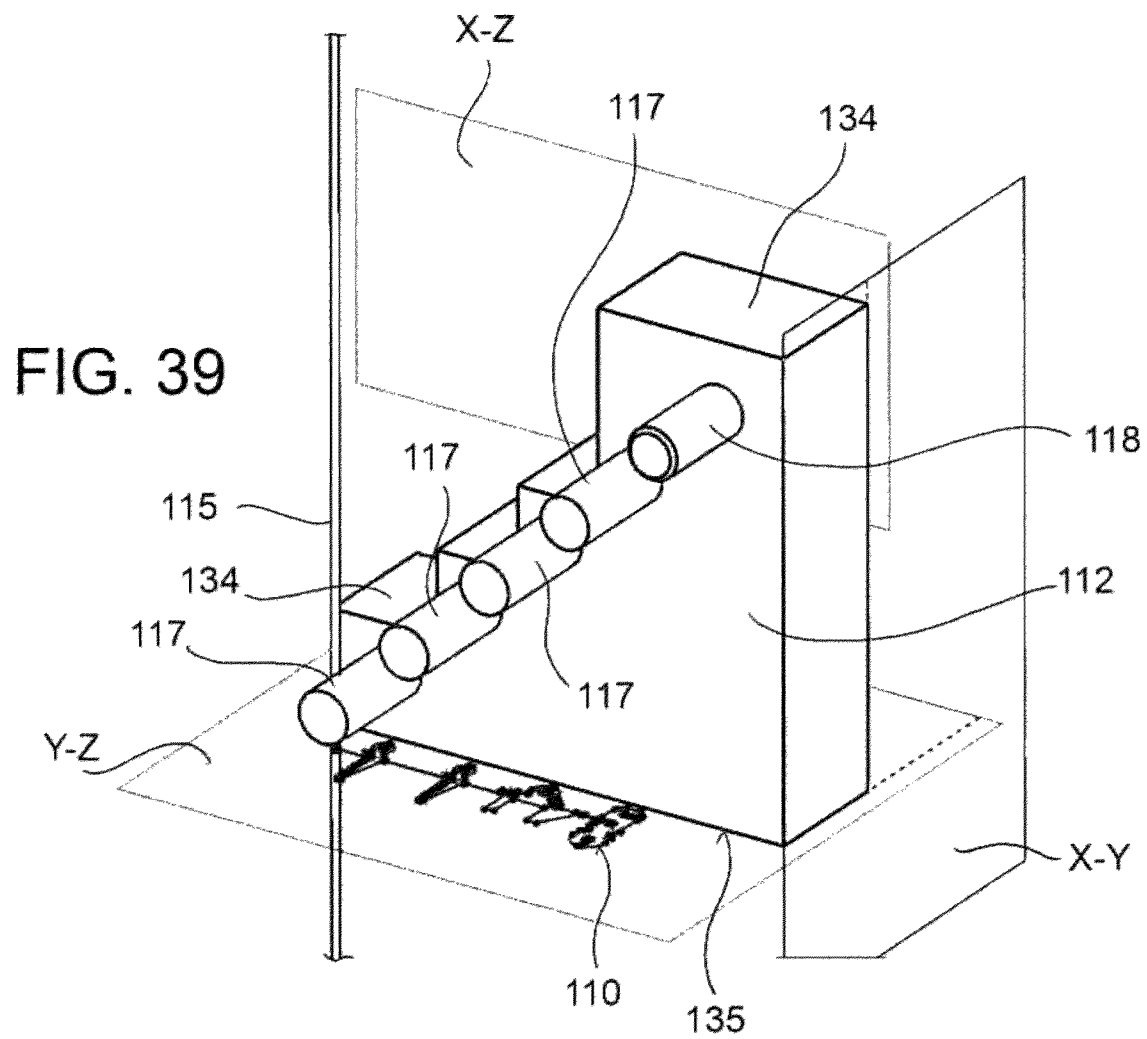


FIG. 40 A

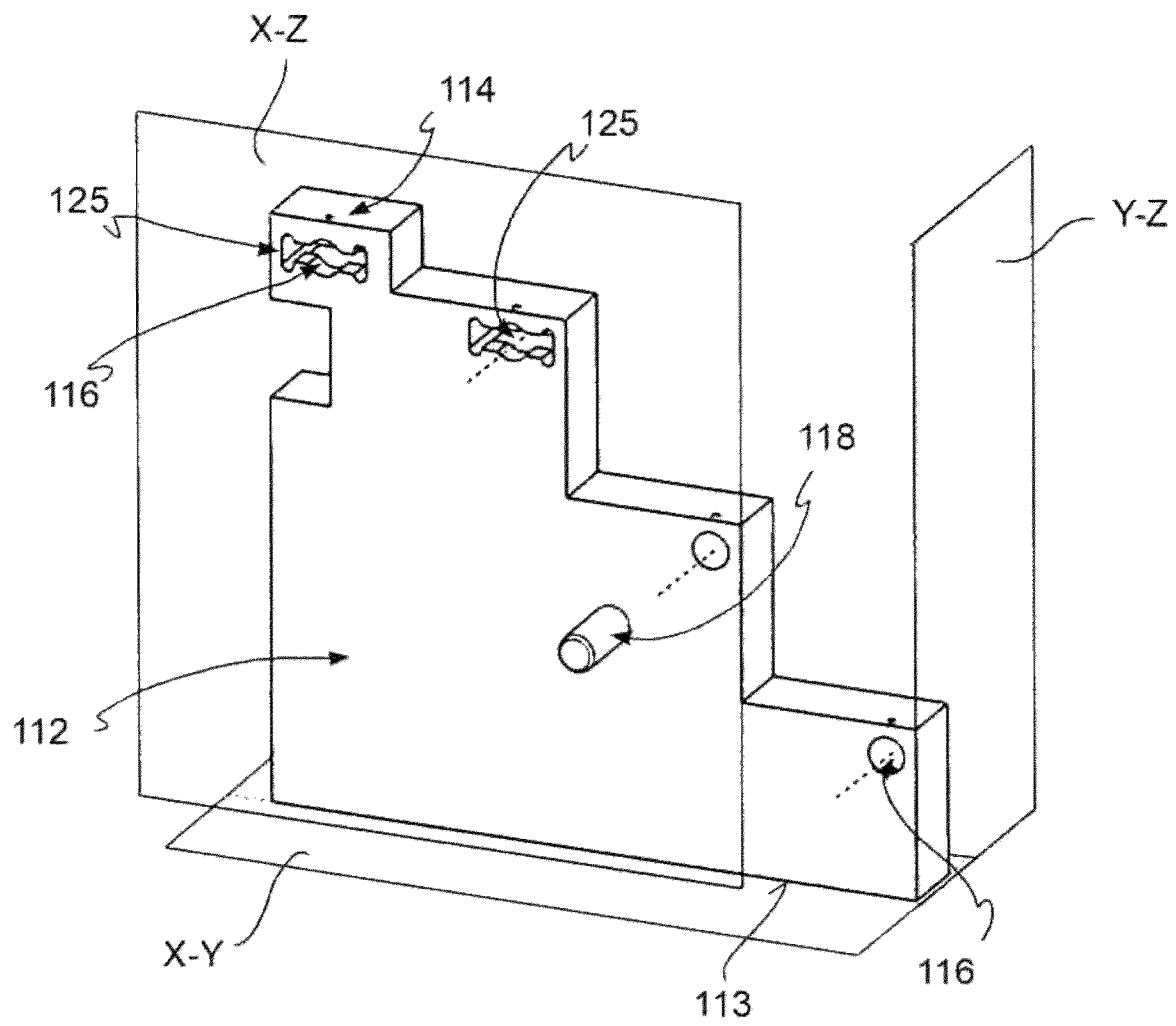


FIG. 40B

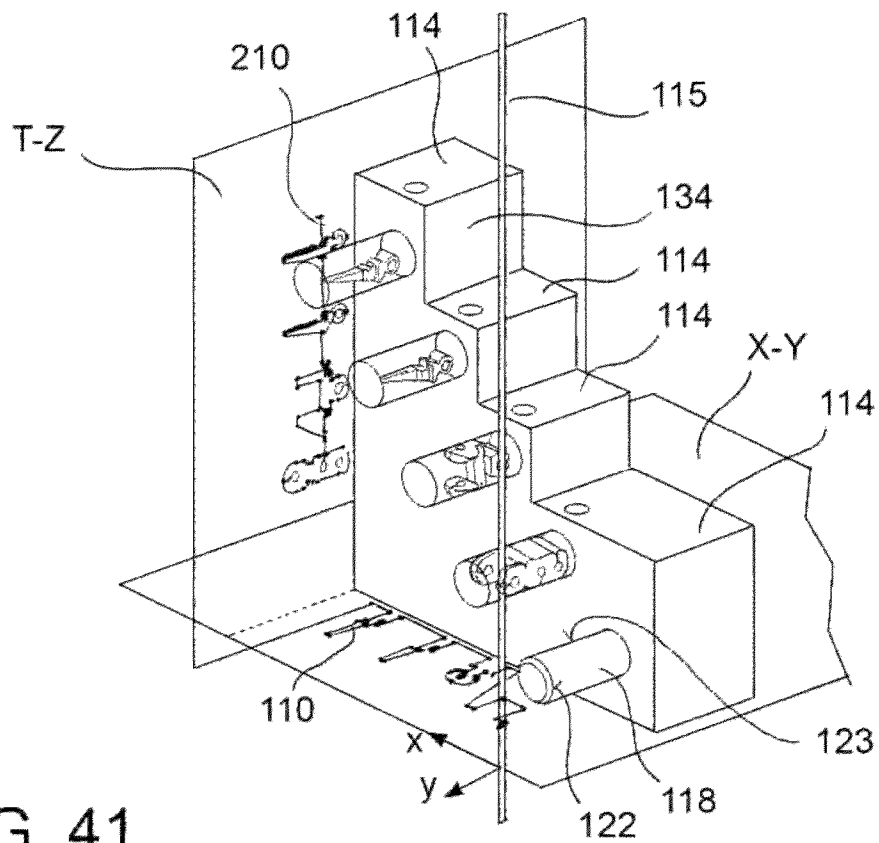


FIG. 41

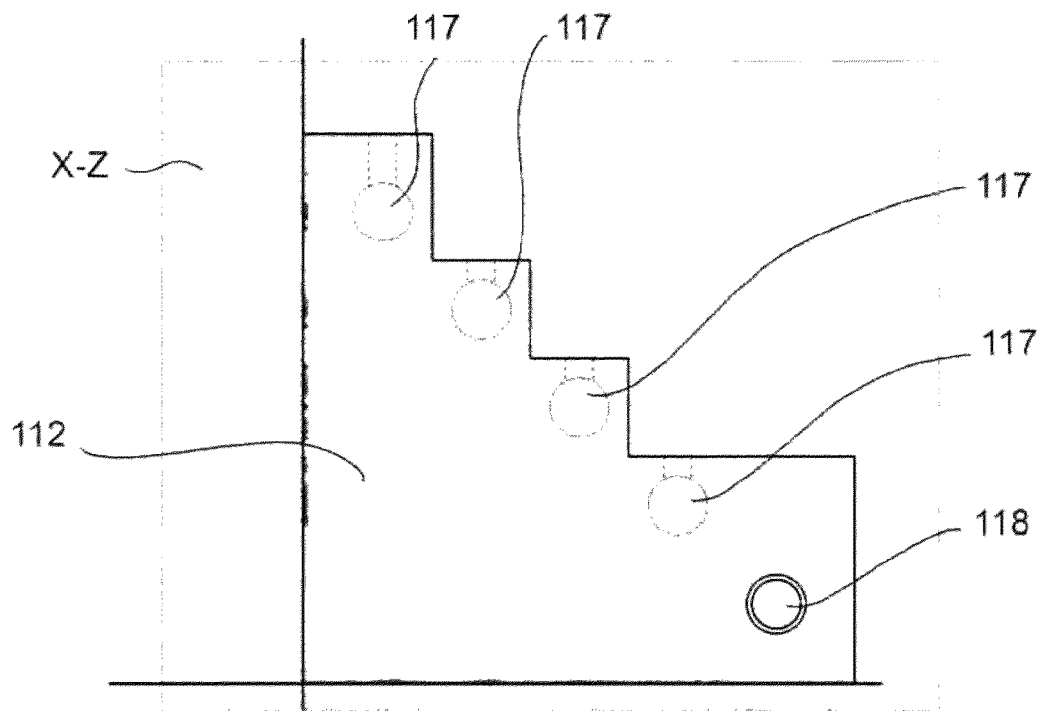


FIG. 42