



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 365 359**

51 Int. Cl.:
B25J 9/04 (2006.01)
A61B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07704334 .7**
96 Fecha de presentación : **02.02.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **1979136**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.10.2008**

54 Título: **Sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos.**

30 Prioridad: **03.02.2006 EP 06101251**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.09.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.09.2011

73 Titular/es: **The European Atomic Energy
Community (EURATOM)
Represented by The European Commission
200, Rue de la Loi
1049 Brussels, BE**

72 Inventor/es: **Ruiz Morales, Emilio**

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 365 359 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

Sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos

5 **Campo de la invención**

La presente invención reivindicada se refiere al campo de los equipos médicos y más particularmente, a un sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos, en particular, procedimientos laparoscópicos.

10

Antecedentes de la invención

Se conoce bien que, al contrario que la laparotomía, los procedimientos médicos mínimamente invasivos presentan el beneficio de reducir la cantidad de tejido adicional que se daña durante procedimientos de diagnóstico o quirúrgicos. Esto da como resultado un tiempo de recuperación del paciente más corto, menos molestias y efectos secundarios perjudiciales, y un menor coste de estancia en el hospital. Actualmente, en las especialidades de cirugía general, urología, ginecología y cardiología, existe un aumento de la cantidad de operaciones quirúrgicas llevadas a cabo mediante técnicas mínimamente invasivas, tales como técnicas laparoscópicas.

15

20

Sin embargo, las técnicas mínimamente invasivas en general y la laparoscopia en particular sí que suponen limitaciones más restringentes para el cirujano que lleva a cabo la operación. El cirujano trabaja en una postura incómoda y cansada, con un campo de visión limitado, una libertad de movimiento reducida y mala percepción táctil. A estos problemas se les añade el hecho de que los cirujanos con frecuencia tienen que realizar varias intervenciones consecutivas al día, durando cada intervención por ejemplo desde 30 minutos hasta varias horas. A pesar de estas dificultades, la tendencia hacia procedimientos mínimamente invasivos va a aumentar probablemente de manera pronunciada en los próximos años debido al envejecimiento de la población y a la presión de los costes en el campo médico.

25

30

En la laparoscopia se requiere obviamente que el cirujano tenga unos movimientos tan precisos como en la laparotomía. Manipular instrumentos de árbol largo con una libertad de movimiento reducida a cuatro grados de libertad alrededor de un fulcro en el orificio de acceso del instrumento, es decir en la incisión en el cuerpo del paciente, no facilita esta tarea. Surgen complicaciones, entre otras cosas, por el hecho de que la postura requerida es bastante cansada y reduce la percepción, ya limitada, de las fuerzas que interaccionan entre el instrumento y los tejidos. Por ejemplo, cuando el cirujano está de pie al lado del paciente, debe levantar y mantener estirado uno de sus brazos para sujetar el instrumento insertado en el lado opuesto del paciente. Como resultado, las capacidades motrices del cirujano disminuyen normalmente tras 20-30 minutos, de tal manera que entre otras cosas se producen temblores, pérdida de precisión y pérdida de sensibilidad táctil con los riesgos resultantes para el paciente. Por tanto, están surgiendo nuevas tecnologías, tales como laparoscopia asistida por robot, que se dirigen a mejorar la eficacia, calidad y seguridad de las intervenciones.

35

40

A la vista de lo expuesto anteriormente, la laparoscopia asistida por robot ha conocido un desarrollo importante desde comienzos de la década de 1990. Dos sistemas de cirugía robóticos comercialmente disponibles representativos son el sistema de cirugía conocido con la marca comercial "DA VINCI" desarrollado por Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, California y el sistema de cirugía conocido con la marca comercial "ZEUS" desarrollado originalmente por Computer Motion Inc., Goleta, California. El sistema de cirugía conocido con el nombre "DA VINCI" se describe entre otros por Moll *et al.* en las patentes US nº 6.659.939; US nº 6.837.883 y otros documentos de patente del mismo cesionario. El sistema de cirugía conocido con el nombre "ZEUS" se describe entre otros por Wang *et al.* en las patentes US nº 6.102.850; US nº 5.855.583; US nº 5.762.458; US nº 5.515.478 y otros documentos de patente cedidos a Computer Motion Inc., Goleta, California.

45

50

Estos sistemas robóticos que se manipulan a distancia permiten controlar las intervenciones quirúrgicas o bien directamente desde el quirófano o bien desde un lugar remoto, utilizando realimentación visual en una consola. En cualquier caso, se elimina la postura cansada del cirujano.

55

Ambos de estos sistemas están diseñados específicamente para la cirugía cardiológica en la que la anatomía topológica es constante, el lugar de trabajo es pequeño y, por tanto, se requieren una destreza y movimientos precisos del instrumento únicamente en un espacio limitado. Con el fin de aumentar el alcance y la destreza en este espacio limitado, se ha diseñado una amplia gama de instrumentos dedicados especiales, que proporcionan uno o más grados de libertad adicionales a la punta del instrumento, para su utilización con cada uno de estos sistemas respectivamente. Con respecto a estos instrumentos complejos dedicados, su alto coste de adquisición y corta vida útil debido a la esterilización aumentan los gastos de mantenimiento globales. Según cirujanos de laparoscopia experimentados, los instrumentos articulados no son esenciales para la mayoría de los procedimientos y la utilización de instrumentos convencionales representaría, entre otras cosas, una reducción significativa de los costes de mantenimiento.

60

65

La patente US nº 6.436.107 da a conocer un sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos que comprende un manipulador de robot para el manejo asistido por robot de un instrumento endoscópico. El manipulador de robot según este documento presenta un brazo de manipulador, una muñeca de manipulador soportada por el brazo de manipulador y una unidad de efector soportada por la muñeca de manipulador. El brazo de manipulador proporciona tres grados de libertad por medio de tres juntas que presentan actuadores asociados para posicionar robóticamente la muñeca. La muñeca de manipulador proporciona dos grados de libertad por medio de dos juntas pasivas para fijar manualmente el ángulo de guiñada y el ángulo de cabeceo de la unidad de efector. La unidad de efector comprende un accionador de herramienta personalizado para accionar la herramienta en la punta de un instrumento y proporciona un grado de libertad por medio de una sexta junta de revolución que presenta un actuador asociado para fijar robóticamente el ángulo de balanceo del accionador de herramienta. Los instrumentos para su utilización con el sistema de la patente US nº 6.436.107 también presentan un diseño dedicado especial que permite el acoplamiento y desacoplamiento con y de un elemento de sujeción de tipo rápido, lo que permite acoplar los instrumentos al accionador de herramienta.

Objeto de la invención

Por consiguiente, un objetivo de la invención reivindicada en la presente memoria es proporcionar un sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos que comprende un manipulador de robot, que está configurado de tal manera que permite la utilización de instrumentos laparoscópicos convencionales disponibles que se diseñaron para procedimientos manuales convencionales.

Descripción general de la invención

Con el fin de alcanzar este objetivo, se propone un sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos que comprende un manipulador de robot para el manejo asistido por robot de un instrumento laparoscópico, presentando el manipulador de robot un brazo de manipulador, una muñeca de manipulador soportada por el brazo de manipulador y una unidad de efector soportada por la muñeca de manipulador, tal como se da a conocer a continuación en la presente memoria. Según un aspecto de la invención, el brazo de manipulador proporciona tres grados de libertad por medio de una primera junta, una segunda junta y una tercera junta, presentando cada una un actuador asociado, para posicionar robóticamente la muñeca. La muñeca de manipulador proporciona dos grados de libertad por medio de una cuarta junta y una quinta junta, siendo la cuarta y quinta juntas de revolución y presentando un actuador asociado, para fijar robóticamente, con respecto al brazo de manipulador, el ángulo de guiñada y el ángulo de cabeceo de la unidad de efector respectivamente. La unidad de efector comprende un actuador de instrumento laparoscópico y proporciona un grado de libertad por medio de una sexta junta de revolución que presenta un actuador asociado para fijar robóticamente el ángulo de balanceo del actuador de instrumento laparoscópico. En otras palabras la sexta junta de revolución accionada permite rotar no sólo el instrumento sino también la parte de actuador de instrumento completa de la unidad de efector. Además, el actuador de instrumento laparoscópico comprende un asiento, con un mecanismo de acoplamiento o bloqueo asociado para montar un adaptador de vástago de instrumento a la unidad de efector, y un mecanismo actuador que actúa conjuntamente con el adaptador de vástago de instrumento para accionar un instrumento laparoscópico conectado al adaptador, preferiblemente mediante accionamiento lineal. La unidad de efector está configurada de tal manera que el eje de rotación de la sexta junta de revolución coincide con el eje longitudinal de un instrumento laparoscópico montado en la unidad de efector por medio del adaptador de instrumento y la unidad de efector comprende un conjunto sensor que incluye un sensor de fuerza/par de torsión de 6 grados de libertad (GDL) y un acelerómetro de 6 GDL. El conjunto sensor conecta mecánicamente el actuador de instrumento laparoscópico a la sexta junta de revolución. En otras palabras, el conjunto sensor está dispuesto entre el actuador de instrumento laparoscópico y el lado de accionamiento de la sexta junta de revolución de tal manera que rota con el actuador de instrumento laparoscópico. Esto permite entre otras cosas un modo de funcionamiento manual en el que el actuador de instrumento laparoscópico completo puede posicionarse y orientarse manualmente utilizando el conjunto sensor como dispositivo de entrada que controla el accionamiento de las seis juntas del manipulador de robot.

Gracias a los 6 GDL accionados robóticamente para manipular el instrumento, el manipulador de robot proporciona, en el instrumento laparoscópico montado, un nivel de maniobrabilidad comparable al de la mano de un cirujano sin requerir ninguna junta redundante. Con el asiento y mecanismo de acoplamiento diseñados para un adaptador de vástago de instrumento, el actuador de instrumento laparoscópico proporciona una superficie de contacto genérica para una amplia variedad de instrumentos laparoscópicos de tipo convencional existentes diseñados para la laparoscopia manual. Además, el conjunto sensor, dispuesto entre el instrumento conectado y la sexta junta del manipulador de robot, permite una realimentación de fuerza precisa en una interfaz táctil en una consola de cirujano con el fin de proporcionar al cirujano una percepción sensorial correspondiente a la manipulación manual de los instrumentos. Se apreciará que el acelerómetro lineal y angular se utiliza para compensar la influencia gravitacional y de la aceleración sobre el sensor de fuerza-par de torsión. Estas características permiten la utilización de instrumentos de tipo convencional comparativamente económicos (por ejemplo pinzas, disectores, tijeras, coaguladores, aplicadores de grapas, porta-agujas, electro-bisturís, herramientas de succión/irrigación, etc.) en el manipulador de robot dado a conocer en la presente memoria.

Se apreciará que el sistema proporciona la maniobrabilidad requerida con un número mínimo de juntas, es decir con 6 GDL con sólo 6 juntas. No se proporcionan juntas redundantes adicionales para el movimiento del manipulador. En particular, no se requieren instrumentos especiales con extremos distales de instrumento articulados. Además, todas las juntas están accionadas, es decir, no hay juntas pasivas (no accionadas) o de rotación libre presentes en el manipulador de robot, mediante lo cual se mejora significativamente el control robótico. La eliminación de las juntas pasivas redundantes, que se utilizan comúnmente en sistemas conocidos por ejemplo para evitar tensión de trocar, se logra entre otras cosas proporcionando el conjunto sensor en la superficie de contacto entre la sexta junta y el actuador de instrumento laparoscópico. Esta disposición del conjunto sensor permite la medición de la fuerza y la limitación de la tensión no sólo a nivel de la punta del instrumento sino también a nivel del trocar. Debe observarse otra particularidad en el hecho de que las juntas de la unidad de efector y la muñeca son todas giratorias, es decir no se proporcionan juntas prismáticas en esas partes.

Muchos sistemas quirúrgicos robóticos existentes carecen de realimentación de fuerza y por tanto excluyen que el cirujano perciba fuerzas ejercidas de los tejidos del paciente. Por tanto, el cirujano sólo puede basarse en la realimentación visual de sus movimientos para limitar la interacción del instrumento con los tejidos. De hecho, la realimentación de fuerza contribuye significativamente a la seguridad en la utilización de la robótica para la laparoscopia quirúrgica. Además, la detección táctil es relevante para órganos palpables, para sujetar órganos viscosos con un instrumento que no está en el campo de visión del endoscopio, para aplicar tensión adecuada a suturas y evitar la rotura del cable, para detectar fuerzas excesivas aplicadas a órganos y por consiguiente detener o limitar el movimiento, para limitar las fuerzas aplicadas a la incisión de trocar, etc. en "Development of actuated and sensor integrated forceps for minimally invasive robotic surgery" de B. Kübler, U. Seibold, y G. Hirzinger, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC), 8-9 de octubre, 2004, Múnich, Alemania; se ha presentado un sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL miniaturizado instalado en la punta del instrumento. Este concepto presenta diversos inconvenientes, entre los que se encuentra un aumento de los gastos de instrumento, la falta de robustez con respecto a la esterilización, y problemas de protección frente a EMI cuando se utiliza con instrumentos alimentados con energía eléctrica. Otro asunto, que no puede tratarse con sensores instalados en el vástago de instrumento, es la medición de fuerzas externas aplicadas al trocar que forma el orificio de acceso del instrumento en la incisión en el paciente, de hecho, estas fuerzas desgastan la incisión y pueden aflojar la unión del trocar. Por tanto, algunas veces se saca inintencionadamente el trocar de la incisión tirando del mismo durante la intervención. Se conoce bien que un accidente de este tipo provoca, además de daño al tejido del paciente, una pérdida de presión de insuflación abdominal y por tanto aumenta el tiempo de intervención ya que debe recuperarse la situación. Gracias al sensor de fuerza/par de torsión en la unidad de efector, pueden implementarse procedimientos automatizados para evitar que se desprenda el trocar.

En el artículo "Towards robotic heart surgery: Introduction of autonomous procedures into an experimental surgical telemanipulator system" de R. Bauernschmitt, E.U. Schirmbeck *et al.*; Int. J. Medical Robotics and Computer assisted Surgery, septiembre 2005 (disponible de www.roboticpublications.com), los autores reconocen la falta de capacidades de detección de fuerza y realimentación de fuerza como un inconveniente principal de los sistemas actualmente disponibles. El sistema descrito en este artículo comprende un robot industrial en el que se monta un instrumento de Intuitive Surgical Inc., que se diseñó para el sistema "DA VINCI". Con el fin de proporcionar detección de fuerza, se modifica el instrumento. Se equipa con sensores de calibre de deformación en el árbol del instrumento cerca del extremo distal. Este sistema, al contrario que el sistema dado a conocer actualmente, sólo permite la medición de la fuerza en el plano perpendicular al árbol del instrumento y requiere la utilización de instrumentos dedicados caros que se diseñaron para sistemas robóticos y proporcionan tres grados de libertad adicionales en el extremo distal.

Otro aspecto relevante es la versatilidad del sistema de cirugía robótica. Los sistemas quirúrgicos robóticos existentes están generalmente diseñados para un tipo específico de intervención. Los sistemas "DA VINCI" y "ZEUS", por ejemplo, se diseñaron específicamente para la cirugía cardiológica. Por tanto, tal como se mencionó anteriormente, estos sistemas están diseñados para instrumentos articulados especiales. Además, debido al limitado espacio de trabajo en las intervenciones cardiológicas, normalmente se reduce el movimiento del instrumento desde las órdenes del cirujano en la interfaz táctil en estos sistemas. En la cirugía laparoscópica general (incluyendo ginecología y urología) el espacio de trabajo de la operación es mayor que en la cardiología, la topología anatómica es variable (incluso algunas veces impredecible), y las propiedades mecánicas de tejidos y órganos son diversas. Espacios de trabajo más grandes implican una envuelta de movimiento del instrumento mayor y la necesidad de una escala de movimiento de 1:1. Como resultado, en la laparoscopia general, se necesita una dinámica de movimiento aumentada con el fin de realizar un seguimiento preciso del movimiento de la mano del cirujano. A partir de ensayos experimentales se ha encontrado que la mano del cirujano produce altas velocidades en un espacio de trabajo pequeño, y por tanto una aceleración muy alta. La velocidad puede alcanzar hasta 100°/s a lo largo de los ejes de guiñada y de cabeceo del pivote, y 200 mm/s en la dirección de penetración. A la escala de movimiento de 1:1 y en las condiciones mencionadas, los sistemas anteriores presentan vibraciones, oscilaciones y pérdida de precisión. El manipulador de robot, descrito con más detalle a continuación en la presente memoria, está diseñado para reducir tales problemas y por tanto para ser adecuado para una variedad de intervenciones.

Otro inconveniente relacionado con instrumentos laparoscópicos articulados especiales es que el funcionamiento a distancia basado en el control de la punta de instrumento articulada reveló ser menos intuitivo de lo esperado para cirujanos laparoscópicos experimentados.

5 Muchos sistemas existentes presentan, además de un manipulador para la endoscopia, sólo dos manipuladores para instrumentos quirúrgicos en sí mismos. Esto da como resultado un aumento del tiempo de intervención debido a frecuentes y complejos procedimientos de intercambio de instrumentos. En una intervención típica, el cirujano utiliza de cinco a siete tipos diferentes de instrumentos y con frecuencia necesita intercambiarlos varias decenas de veces. Habitualmente, el intercambio de instrumentos tarda desde 5 hasta 10 segundos, dependiendo de la habilidad del ayudante de cirujano, y estas operaciones de intercambio contribuyen sustancialmente al tiempo de intervención total (en aproximadamente el 10-20%). Muchos sistemas robóticos existentes no son fácilmente adecuados para intervenciones típicas que requieren tres o cuatro orificios de acceso de instrumentos. Otros sistemas están limitados a intervenciones de diagnóstico que normalmente son cortas (aproximadamente 20 minutos) y con frecuencia no justifican el coste de un sistema robótico. De manera ideal, un sistema de cirugía robótico debe ser modular y presentar la capacidad de gestionar hasta cuatro orificios de acceso de instrumentos y un orificio de acceso de endoscopio. Una limitación significativa, relacionada con el diseño de manipuladores adecuados, es que algunos orificios de acceso pueden estar separados por tan sólo unos pocos centímetros y puede ser necesario posicionar los instrumentos respectivos casi paralelos o uno encima de otro. Además, es deseable que los manipuladores no limiten excesivamente la vista del cirujano del cuerpo del paciente y los orificios de acceso. El sistema quirúrgico robótico, gracias a varias otras características descritas a continuación en la presente memoria y consideradas inventivas en sí mismas, trata entre otras cosas estos últimos asuntos.

En una forma de realización preferida del manipulador de robot, la unidad de efector está configurada de tal manera que un eje de sensor, por ejemplo el eje normal, del sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL y un eje de sensor, por ejemplo el eje normal, del acelerómetro de 6 GDL coinciden con el eje de rotación de la sexta junta. Estas medidas facilitan los cálculos de realimentación de fuerza.

Preferiblemente, cuando el actuador de instrumento laparoscópico comprende un alojamiento con una superficie de acceso en el que está dispuesto el asiento y una brida de superficie de contacto que une el alojamiento al conjunto sensor, comprende además nervaduras de refuerzo gradual que conectan la superficie de acceso a la brida de superficie de contacto para reforzar la rigidez de unión del alojamiento a la brida de superficie de contacto. Así, se transmiten pares de torsión y fuerzas de manera más precisa al conjunto sensor aunque la sección transversal del actuador de instrumento laparoscópico sea mucho menor que la de la placa de montaje de sensor.

Para aumentar la ergonomía, el alojamiento es semicilíndrico al presentar una superficie sustancialmente semicilíndrica opuesta a la superficie de acceso preferiblemente de manera sustancialmente plana. La superficie semicilíndrica está preferiblemente de conformidad con una envuelta cilíndrica de 50-135 mm, preferiblemente de aproximadamente 90 mm de diámetro y coaxial al eje de rotación de la sexta junta. En tal realización se prefiere adicionalmente que el alojamiento, la brida, las nervaduras de refuerzo y el conjunto sensor se dimensionen para ajustarse en esta envuelta cilíndrica. Además, el adaptador de vástago de instrumento se diseña preferiblemente para ajustarse en la misma envuelta cuando se monta en el manipulador.

En una configuración preferida, el asiento del actuador de instrumento laparoscópico comprende un rebaje alargado esencialmente semicilíndrico dispuesto, esencialmente coaxial al eje de rotación de la sexta junta, en una superficie de acceso del actuador de instrumento laparoscópico, estando el asiento y el mecanismo de acoplamiento o bloqueo configurados para montar y desmontar un adaptador de vástago de instrumento mediante un movimiento de pivotado alrededor del fulcro en un plano que es esencialmente perpendicular al vástago de instrumento, es decir en la dirección radial con respecto al eje de rotación de la sexta junta. El rebaje semicilíndrico proporciona un autocentrado del adaptador cuando se conecta este último. Además, esta configuración, en combinación con la capacidad de accionar manualmente la sexta junta de revolución y, en condiciones normales, en combinación con un procedimiento automatizado para mover el instrumento cerca del orificio de acceso, permite la instalación y desmontaje lateral del instrumento y por tanto elimina movimientos de inserción y extracción en la dirección de penetración con respecto al paciente. Además, se mejora la ergonomía para el ayudante de cirujano y se reducen los tiempos de intercambio de instrumentos en comparación con los sistemas conocidos.

En una forma de realización preferida del mecanismo de acoplamiento, este último comprende al menos un dispositivo magnético, por ejemplo un electroimán o imán permanente o una combinación de ambos, respectivamente dispuestos en cada lado del rebaje semicilíndrico. Los dispositivos magnéticos, preferiblemente proporcionados en y a nivel de la superficie de acceso, permiten sujetar un adaptador de vástago de instrumento al actuador de instrumento laparoscópico por medio de atracción magnética. Este mecanismo de acoplamiento reduce el riesgo de daño a una envuelta estéril que cubre el actuador de instrumento laparoscópico durante las intervenciones, ya que en este caso no se necesita esterilizar este último.

En otra forma de realización sencilla y fiable que permite el montaje y desmontaje lateral de instrumentos, el asiento comprende un surco longitudinal que hace más profundo el rebaje semicilíndrico radialmente para recibir unos medios de acoplamiento dispuestos lateralmente en un adaptador de vástago de instrumento y en el que el

mecanismo de acoplamiento está configurado como un mecanismo de enclavamiento de pestillo que comprende un trinquete deslizante dispuesto en el surco longitudinal para engancharse con los medios de acoplamiento. Este tipo de asiento y mecanismo de enclavamiento, en acción conjunta con adaptadores correspondientes, proporciona una conexión mecánicamente sencilla, intuitiva y fiable de acoplamiento rápido.

5 Ventajosamente, el mecanismo actuador, utilizado para instrumentos accionados tales como pinzas de agarre o disección, tijeras, etc., comprende un carro deslizante configurado para recibir de manera enganchada y para deslizar linealmente un pasador deslizante de un adaptador de vástago de instrumento montado en la unidad de efector. En caso de que el asiento sea alargado a lo largo del eje de rotación de la sexta junta, el carro deslizante está preferiblemente dispuesto lateralmente al asiento, es decir en el lado del asiento a diferencia de en una prolongación axial. Así, puede lograrse una reducción de longitud de la unidad de efector. Además, el mecanismo actuador comprende ventajosamente un sensor de fuerza, que conecta el carro deslizante a unos medios de accionamiento. Un sensor de fuerza de este tipo permite medir fuerzas ejercidas por o sobre el carro deslizante.

15 En una forma de realización preferida, el actuador de instrumento laparoscópico comprende además un detector de presencia para detectar si un adaptador de vástago de instrumento está correctamente montado en la unidad de efector. Preferiblemente, el actuador de instrumento laparoscópico comprende una pluralidad de sensores de presencia inductivos para identificar un instrumento montado en la unidad de efector por medio de un patrón de material identificable por inducción proporcionado en el adaptador de vástago de instrumento.

20 En una forma de realización preferida, el sistema quirúrgico robótico está configurado para funcionar en un modo manual, en el que el actuador de instrumento laparoscópico puede posicionarse y orientarse por el manipulador de robot utilizando información leída por el sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL del conjunto sensor, y comprende además medios de conmutación dispuestos en el actuador de instrumento laparoscópico para conmutar el sistema a este modo manual.

Otro aspecto de la invención reivindicada se refiere al adaptador de vástago de instrumento laparoscópico mencionado anteriormente montado en un manipulador de robot en un sistema quirúrgico de robot tal como se describe en la presente memoria para montar un vástago de cualquier instrumento laparoscópico manual disponible. Este adaptador comprende una carcasa alargada que presenta un conector de vástago dispuesto en un extremo frontal y un elemento de acoplamiento o medios dispuestos lateralmente en la carcasa. El conector de vástago actúa conjuntamente con un receptáculo del vástago de un instrumento laparoscópico manual y está configurado para la conexión desprendible al mismo. Los medios de acoplamiento actúan a su vez conjuntamente con el asiento del actuador de instrumento laparoscópico del manipulador de robot.

35 Para intervenciones manuales, hay muchos instrumentos laparoscópicos diferentes disponibles para una variedad de utilidades. La mayoría de estos instrumentos pueden separarse en una parte de mango, que está diseñada para manipularse por un cirujano, y una parte de vástago, es decir el tubo laparoscópico alargado o árbol con el instrumento en sí mismo en un extremo y un receptáculo que se conecta al mango en el extremo opuesto. Dotado de un conector correspondiente, un adaptador tal como se da a conocer en la presente memoria permite la utilización de cualquier tipo de parte de vástago de tales instrumentos en un manipulador de robot tal como se describió anteriormente. El adaptador presenta un diseño muy sencillo, económico y robusto. Por tanto, en combinación con instrumentos convencionales comparativamente económicos, el adaptador de vástago de instrumento reduce el coste de adquisición y mantenimiento de las herramientas médicas que deben utilizarse en combinación con el sistema robótico anterior.

50 En una forma de realización preferida del vástago adaptador, sus medios de acoplamiento comprenden una superficie semicilíndrica o, alternativamente, la carcasa entera puede presentar una forma esencialmente cilíndrica, posiblemente, con un extremo redondeado opuesto al conector de vástago. En ambos casos, la forma o superficie está conformada al rebaje semicilíndrico mencionado anteriormente del asiento en el actuador de instrumento laparoscópico del manipulador de robot. Esto permite centrar el adaptador de vástago de instrumento en el eje de rotación de la sexta junta.

55 Para instrumentos laparoscópicos con una varilla de accionamiento, por ejemplo pinzas de agarre o disección, tijeras, etc., el adaptador de vástago de instrumento laparoscópico comprende preferiblemente un hueco cilíndrico interno como guía para un pistón de un instrumento laparoscópico manual, que puede disponerse para deslizarse en la guía. Comprende más preferiblemente un orificio pasante para un pasador deslizante unido transversalmente al pistón y que sobresale de la carcasa para hacer funcionar el pistón. El pasador deslizante está configurado para engancharse a un carro deslizante del actuador de instrumento laparoscópico y el pistón actúa conjuntamente con una varilla de accionamiento interna de un instrumento laparoscópico conectado al adaptador para manipular la herramienta en la punta del instrumento laparoscópico. Esta configuración del adaptador y el correspondiente actuador de instrumento laparoscópico proporcionan una transmisión de movimiento sencilla y fiable y además eliminan las etapas manuales adicionales para establecer transmisión de movimiento cuando se instala o se desmonta un instrumento en la unidad de efector. Gracias al diseño del adaptador y al correspondiente acoplamiento en el manipulador de robot, se reduce el tiempo de intercambio de instrumentos lo que contribuye a reducir el tiempo de intervención global.

5 Para sujetar el adaptador de vástago de instrumento al actuador de instrumento laparoscópico por medio de atracción magnética producida por los dispositivos magnéticos, es preferible que los medios de acoplamiento comprendan al menos un elemento ferromagnético dispuesto en cada lado de la carcasa, actuando los elementos ferromagnéticos conjuntamente con, respectivamente, un dispositivo magnético correspondiente del mecanismo de acoplamiento en el actuador de instrumento laparoscópico. En esta realización, el adaptador de vástago de instrumento comprende además preferiblemente una palanca para desprender el adaptador del actuador de instrumento laparoscópico.

10 Con el fin de permitir la identificación de un instrumento que utiliza los sensores de presencia inductivos mencionados anteriormente, el adaptador puede comprender un patrón identificable por inducción proporcionado en el vástago de instrumento. Además, el adaptador puede comprender un conector eléctrico dispuesto opuesto a dichos medios de acoplamiento para transmitir energía eléctrica a un instrumento conectado a dicho conector de vástago.

15 **Breve descripción de las figuras**

Los aspectos anteriores así como otros aspectos y objetos inventivos de la presente descripción se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la siguiente descripción de una forma de realización no limitativa con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

20 la figura 1: es una vista en perspectiva de un sistema quirúrgico robótico para laparoscopia quirúrgica genérica en un quirófano con tres manipuladores de robot colocados alrededor de una mesa de operaciones en la que descansa un paciente;

25 la figura 2: es una vista en perspectiva de un sistema quirúrgico robótico para laparoscopia quirúrgica genérica con cinco manipuladores de robot;

30 la figura 3: es una vista en perspectiva de un manipulador de robot del sistema quirúrgico robótico de la figura 1 y la figura 2 que muestra sistemas de coordenadas principales;

la figura 4: es una vista en perspectiva del manipulador de robot de la figura 3 parcialmente desmontado en sus partes principales;

35 la figura 5: es un diagrama esquemático de la configuración cinemática del manipulador de robot de la figura 3 que incluye las juntas J1 a J6;

40 la figura 6: es una vista desde arriba de un sistema de cirugía robótica con cinco manipuladores de robot, que ilustra cajas de detección de colisión en 2D que envuelven a los componentes del manipulador;

la figura 7: es una vista en perspectiva de la base del manipulador de robot de la figura 3;

45 la figura 8: es una vista desde arriba de un sistema quirúrgico robótico que muestra una detección basada en láser en 2D para detectar la proximidad de un ayudante de cirujano con respecto a un manipulador de robot;

la figura 9: es una vista en perspectiva de los componentes internos de las juntas J1, J2 y J3 del manipulador de robot de la figura 3;

50 la figura 10: es una perspectiva de los componentes internos de la junta J2 del manipulador de robot de la figura 3;

la figura 11: es una primera vista en perspectiva de componentes internos de la muñeca de manipulador que incluye las juntas J4 y J5;

55 la figura 12: es una segunda vista en perspectiva de componentes internos de la muñeca de manipulador que incluye juntas J4 y J5;

la figura 13: es una tercera vista en perspectiva de componentes internos de la muñeca de manipulador que incluye juntas J4 y J5;

60 la figura 14: es una vista en perspectiva que muestra una unidad de efector del manipulador de robot de la figura 3 y un instrumento adaptado que va a conectarse a la unidad de efector;

la figura 15: es una vista en perspectiva de componentes internos principales de la unidad de efector de la figura 14;

65 la figura 16: es una vista en perspectiva de un marco de referencia de fulcro;

- la figura 17: es una vista en perspectiva de un adaptador de vástago de instrumento (ISA) y un vástago de instrumento correspondiente;
- 5 la figura 18: es una vista en perspectiva ampliada de un actuador de instrumento laparoscópico (LIA) tal como se muestra en la figura 14;
- la figura 19: es una vista en perspectiva de un conjunto de accionamiento en el LIA de la figura 18;
- 10 la figura 20: es una vista en perspectiva desde abajo que muestra componentes internos adicionales del LIA mostrado en la figura 18;
- la figura 21: es una vista en perspectiva desde arriba que muestra componentes internos adicionales del LIA mostrado en la figura 18;
- 15 la figura 22: es una vista en perspectiva que muestra un mecanismo de acoplamiento utilizado en el LIA mostrado en la figura 18;
- la figura 23: es una vista en perspectiva de un manipulador de robot según la figura 3 que presenta una muñeca de manipulador modificada;
- 20 la figura 24: es una vista en perspectiva de un sistema quirúrgico robótico para laparoscopia quirúrgica genérica con cuatro manipuladores de robot según la figura 23 y un manipulador de robot según la figura 3;
- 25 la figura 25: es una vista en perspectiva de una realización alternativa de un actuador de instrumento laparoscópico (LIA) para su utilización en la unidad de efector mostrada en la figura 14;
- la figura 26: es una vista en perspectiva del LIA de la figura 24 con una realización alternativa de un adaptador de vástago de instrumento (ISA) conectado al LIA;
- 30 la figura 27: es una vista en perspectiva de un conjunto de accionamiento alternativo utilizado en el LIA de la figura 24;
- la figura 28: es otra vista en perspectiva del ISA mostrado en la figura 26;
- 35 la figura 29: es una vista en perspectiva en despiece parcial del ISA mostrado en la figura 26 y la figura 28;
- la figura 30: es otra vista en perspectiva en despiece parcial del ISA mostrado en la figura 26 y la figura 28 con un instrumento diferente conectado al adaptador.
- 40 En todos estos dibujos se utilizan números de referencia idénticos para identificar partes idénticas.

Descripción detallada con respecto a las figuras

- 45 La figura 1 muestra un sistema quirúrgico robótico para laparoscopia quirúrgica genérica, generalmente identificado mediante el número de referencia 10. Un paciente P cubierto mediante una sábana estéril descansa sobre una mesa 12 de operaciones alrededor de la cual está dispuesta una pluralidad de manipuladores de robot 14. En el ejemplo de la figura 1, el sistema quirúrgico robótico 10 está configurado para una intervención en la zona pélvica. Un cirujano S manipula una consola 15 maestra quirúrgica y un ayudante de cirujano A permanece cerca de la mesa 12 de operaciones y cerca de una bandeja 16 con un conjunto de instrumentos 18 laparoscópicos adaptados. Los manipuladores de robot 14 están diseñados para posicionar y orientar una unidad de efector que soporta y posiblemente acciona diversas clases de instrumentos 18 laparoscópicos. Durante la operación, los manipuladores de robot 14 se manipulan a distancia por uno o más cirujanos S mediante una o más consolas 15 maestras quirúrgicas que están conectadas a una unidad de control (no mostrada). Tal como se apreciará, el sistema quirúrgico robótico 10 es modular y puede configurarse según el tipo de intervención quirúrgica, generalmente con hasta 5 manipuladores y normalmente una configuración mínima de 2 manipuladores. Una configuración de un sistema quirúrgico robótico 10' con 5 manipuladores 14 se muestra por ejemplo en la figura 2. El sistema 10 mostrado en la figura 1 está equipado con instrumentos 22 de exploración de distancia por láser ubicados en la base de cada manipulador de robot 14. Los instrumentos 22 de exploración de distancia por láser se utilizan para la seguridad del personal ayudante de cirujano en el quirófano.
- 50
- 60 La figura 3 es una vista tridimensional de un manipulador de robot 14 que forma una unidad mecánica del sistema de cirugía robótica 10. El manipulador de robot 14 está montado en una base 24, que puede unirse al suelo del quirófano y puede moverse cuando no está unida. También se muestran sistemas de tres coordenadas en la figura 3, es decir el sistema de coordenadas de la base, la brida de herramienta (TF) y la punta de instrumento laparoscópico (LIT). Tal como se observa en la figura 3, el manipulador de robot 14 comprende un brazo de manipulador 26 y una muñeca de manipulador 28.
- 65

En la figura 4, se muestran las partes principales del manipulador de robot 14. El brazo 26 presenta una parte esencialmente vertical 27 y una parte esencialmente horizontal 29. El primer extremo del brazo 26 en la parte vertical 27 debe unirse a la base 24 mientras que la muñeca 28 debe unirse al segundo extremo del brazo 26, es decir el extremo de la parte horizontal 29. Una unidad 30 de efector para instrumentos 18 laparoscópicos adaptados debe conectarse a una brida de herramienta 32 de la muñeca 28. Tal como se indica mediante flechas en la figura 3, el brazo 26 presenta tres grados de libertad (GDL) y la muñeca 28 presenta dos GDL. Por consiguiente, el manipulador de robot 14 es básicamente un manipulador de robot de 5 GDL. Se proporciona un GDL auxiliar para rotar el instrumento 18 laparoscópico montado en la unidad 30 de efector alrededor de su eje longitudinal mediante la unidad 30 de efector. La disposición del GDL del manipulador de robot 14 y la unidad 30 de efector resultará más evidente a partir de la siguiente descripción de la figura 5.

Tal como se observa mejor en el modelo geométrico de la figura 5, el brazo 26 está unido a la base 24 por medio de una primera junta J1 que es una junta deslizando prismática (P) (o junta de traslación rectilínea). La primera junta J1 está conectada a la base 24 por medio de un enlace de base L0 y proporciona un GDL de traslación a lo largo de un eje esencialmente vertical. La primera junta J1 permite por tanto el posicionamiento vertical del primer enlace esencialmente vertical L1 y los componentes posteriores unidos a este último con respecto a la base 24 y el enlace L0. En otras palabras, la junta J1 define la altura de la parte vertical 27. Una segunda junta J2, que es una junta de revolución (R), conecta el primer enlace L1 con un segundo enlace esencialmente horizontal L2 del brazo 26. El eje de rotación de la junta de revolución J2 es esencialmente vertical. La junta J2 permite fijar el ángulo relativo entre el enlace L2 y su posición angular inicial en un plano horizontal. Una tercera junta deslizando prismática (P) J3 conecta el enlace L2 con un tercer enlace esencialmente horizontal L3. La junta (P) J3 proporciona un grado de libertad de traslación a lo largo de un eje esencialmente horizontal y permite fijar el alcance o la extensión del brazo 26, más precisamente la parte horizontal 29, mediante desplazamiento horizontal del enlace L3 con respecto al enlace L2. Los enlaces L2 y L3 junto con la junta (P) J3 forman una viga o pluma extensible esencialmente horizontal o boom del manipulador de robot 14.

Con dos juntas (P) y una junta (R) dispuestas tal como se observa en la figura 5, el brazo 26 presenta un GDL de rotación alrededor de un eje esencialmente vertical, y asociado al mismo dos GDL de traslación a lo largo de dos ejes perpendicular. Por consiguiente, el brazo 26 del manipulador de robot 14 presenta una configuración cilíndrica, es decir la configuración cinemática del manipulador 14 pertenece a la clase de robots cilíndricos de tipo PRP (prismático-revoluto-prismático). Más precisamente, cada junta entre las tres primeras J1, J2, J3 corresponde respectivamente a una coordenada cilíndrica (z, θ, r): siendo z la coordenada de elevación (o altura), siendo θ la coordenada de rotación (o azimut) y siendo r la coordenada de alargamiento radial (o radio).

Tal como se observa adicionalmente en la figura 5, la muñeca 28 comprende dos juntas de revolución J4, J5 y la unidad 30 de efector incluye una junta de revolución J6. Las juntas de revolución J2, J4, J5, J6 definen respectivamente la orientación de un instrumento 18 laparoscópico adaptado unido a la unidad 30 de efector. La junta de revolución J4 conecta el enlace L3 a un enlace L4 y permite rotar el enlace L4 con las partes posteriores, alrededor de un eje esencial vertical que es paralelo al eje de rotación de la junta J2. Por tanto, la junta de revolución J4 permite fijar el ángulo de guiñada de la unidad 30 de efector, en combinación con la fijación real de la junta J2. Debe observarse que el eje de rotación de la junta de revolución J4 es coplanar con el plano formado por el eje de rotación de la junta de revolución J2 y por el eje de traslación de la junta prismática J3. La junta de revolución J5 conecta el enlace L4 a la brida de herramienta 32 y permite rotar la brida de herramienta 32 con las partes posteriores a lo largo de un eje esencialmente horizontal perpendicular al eje de rotación de la junta J4. Por tanto, la junta de revolución J5 permite fijar el ángulo de cabeceo de la unidad 30 de efector. La unidad 30 de efector está conectada a la brida de herramienta 32 a través de un enlace L5. El eje de rotación de la junta de revolución J6 es sustancialmente perpendicular al eje de rotación de la junta J5 y conecta el enlace L5 a un enlace L6. El eje de rotación de la junta de revolución J6 está alineado con el enlace L6 y define el ángulo relativo del enlace L6 con respecto a su posición angular inicial. Un instrumento 18 laparoscópico adaptado está conectado al enlace L6. El instrumento 18, representado mediante el enlace L7, está alineado con el enlace L6. El punto de extremo del enlace L7 representa la punta 17 de instrumento.

La configuración cinemática PRP cilíndrica del manipulador 14 presenta diversas ventajas entre las cuales:

- un espacio contenido relativamente pequeño ocupado por la estructura del manipulador por encima de la mesa de operaciones;
- el hecho de que la base del manipulador está a una distancia suficiente (debido a un desvío de enlace mínimo de la parte horizontal 29 de 800 mm) desde la mesa de operaciones para facilitar al cirujano acceso a la mesa de operaciones y transferir pacientes desde/hacia la mesa de operaciones;
- cálculo de detección de colisión entre manipuladores fácil y rápido.

Estos y otros aspectos resultarán más evidentes a partir de los siguientes párrafos.

Una ventaja resultante de la configuración cinemática PRP elegida del brazo de manipulador 26 de robot es la simplificación del cálculo de detección de colisión entre una pluralidad de manipuladores 14 dispuestos con espacios de trabajo que se cortan alrededor de la mesa 12 de operaciones (figuras 1 y 2). Debido a la configuración cilíndrica, el manipulador de robot 14 puede aproximarse con características geométricas planas sencillas en un plano horizontal bidimensional (2-D). Tal como se observa mejor en la figura 6, los enlaces mecánicos del brazo 26 pueden envolverse por un rectángulo de longitud variable y orientación que corresponde respectivamente a (J3 + L2+ L3) y a J2; el ancho de la envuelta de rectángulo viene dado por la geometría de enlace mecánico más un margen que depende, por ejemplo, del espacio requerido para frenar el robot desde una velocidad máxima hasta la parada más un umbral de seguridad. El margen de cada lado de las envueltas de rectángulo puede dimensionarse dinámicamente según la dirección y velocidad de movimiento, por ejemplo cuanto mayor es la velocidad en la dirección de un lado de envuelta, mayor es el margen para ese lado de envuelta. La muñeca 28 se aproxima mediante un rectángulo que envuelve el cuerpo del enlace L4 y parte del enlace L5 y con una orientación plana variable dada por la posición angular actual de la junta J4. De manera similar, la unidad 30 de efector puede aproximarse mediante un rectángulo que envuelve su proyección en el plano horizontal 2-D en el que el ángulo de proyección corresponde a la posición angular actual de la junta J5. El mismo principio se aplica al vástago del instrumento 18 conectado a la unidad 30 de efector. Tales características bidimensionales geométricas sencillas permiten establecer algoritmos sencillos y eficaces para la detección de colisión basándose en la intersección de sus líneas. En una primera fase, el procedimiento de detección de colisión consiste en comprobar una colisión en la proyección horizontal 2-D. Sólo si cualquiera de estas figuras 2-D colisiona con una figura de un manipulador de robot 14 diferente, se comprueba posteriormente un riesgo efectivo de colisión real incluyendo la tercera dimensión. Tal como se apreciará, por tanto sólo se necesitan realizar cálculos 3-D para los lados que se cortan de las partes afectadas de los manipuladores de robot 14. En este cálculo 3-D simplificado, las partes afectadas se envuelven, por ejemplo, con un modelo de base triangular. Como resultado pueden implementarse fácilmente algoritmos de detección de intersección rápidos, por ejemplo los propuestos en "A Fast Triangle-Triangle Intersection Test" por Moller, Journal of Graphics Tools, 2(2), 1997. En la práctica, la detección de colisión entre vástagos de instrumentos 18 es relevante especialmente para proteger el endoscopio de instrumentos eléctricos.

Para un resultado preciso de la detección de colisión entre manipuladores de robot 14, se determina la posición y orientación de todos el manipuladores de robot 14 con respecto a un sistema de coordenadas de referencia común mediante un procedimiento de calibración tras el posicionamiento de los manipuladores 14 en el quirófano. Desde el punto de vista funcional, tras la detección de un riesgo de colisión, el sistema de control debe detener los manipuladores 14 afectados y alertar al cirujano S mediante información de presentación apropiada y/o una realimentación de fuerza de rechazo en la consola 15 maestra. Entonces, el cirujano S puede lograr sencillamente la recuperación manipulando a distancia uno de los manipuladores en una dirección segura. En una mejora adicional, se implementan varios niveles de seguridad de colisión utilizando al menos dos envueltas con diferentes márgenes para cada uno de los conjuntos de partes, por ejemplo brazo 26, muñeca 28, unidad 30 de efector y/o instrumento 18. Tras detectar un riesgo de colisión con la envuelta más protuberante, el movimiento ordenado por el cirujano S en la dirección de colisión se reduce a escala drásticamente en función de la penetración en la zona de margen.

Otra ventaja referente a la configuración del brazo 26 se refiere a la controlabilidad mejorada de los actuadores asociados con las juntas J1, J2, J3. En comparación con otras clases de robots (por ejemplo robots esféricos o articulados), y como resultado de la configuración del brazo, el control de estos actuadores se mejora porque J1, J2, J3 y J4 no se someten a cargas gravitacionales variables, y porque J1, J3 y J5 no presenten cargas inerciales variables. Esto permite una optimización simplificada de bucles de control (por ejemplo PID con realimentación directa) y lograr errores de rastreo dinámicos de posición muy bajos, por ejemplo de tan sólo unas pocas cuentas de codificador de motor. Además de las ventajas presentadas, el diseño mecánico considerará una estructura rígida pero ligera para los enlaces L2 y L3 para limitar su desviación y oscilaciones en el caso en el que la junta J1 y/o la junta J2 ejecutan un movimiento abrupto.

Deben observarse dos ventajas adicionales resultantes de la geometría del manipulador de robot 14. En primer lugar, con la base 24 de manipulador ubicada a una distancia suficiente de la mesa 12 de operaciones (por ejemplo alejada al menos 600 mm) y el brazo 26 diseñado de tal manera que puede girarse a mano alrededor de la junta J2 (con los frenos liberados) hasta una posición de aparcamiento, el cirujano S puede acceder fácil y rápidamente a la mesa 12 de operaciones para tareas manuales tales como insuflación, extracción de órganos anatómicos, suturas finales, etc. Además, la transferencia del paciente P sobre o fuera de la mesa 12 de operaciones es posible de manera rápida. En segundo lugar, en comparación con una geometría SCARA, utilizada por ejemplo en el brazo de manipulador conocido con el nombre comercial ZEUS, que presenta una junta de rotación de codo que conecta dos enlaces coplanares de longitud similar para alcanzar una determinada ubicación horizontal, la configuración cilíndrica del manipulador 14 presenta una única junta J3 de alargamiento radical que reduce considerablemente el espacio ocupado para posicionar la muñeca 28 por encima del cuerpo del paciente P. Tal como se muestra en la figura 2, esta característica permite posicionar cinco manipuladores 14 y más en la mesa 12 de operaciones siempre que las dimensiones de la muñeca y de la unidad de efector sean lo suficientemente pequeñas, es decir ocupen un espacio suficientemente contenido en el espacio de trabajo disponible encima del cuerpo del paciente.

En los siguientes párrafos se facilitará una descripción más detallada de la construcción del manipulador de robot 14 mediante referencia a las figuras 7 a 15.

La figura 7 muestra varias características de la base 24. La base 24 incluye una placa de base principal 40 y está dispuesta como una estructura móvil por medio de cuatro ruedas 42 instaladas en aberturas en las esquinas de la placa principal 40. Cada rueda 42 está encerrada en una cubierta 43 con una abertura para acceder a un mango para extraer o retraer las ruedas 42. Cuando las ruedas 42 están retraídas, la base 24 descansa estable sobre el suelo del quirófano por medio de soportes de cojinete (no mostrados) de las ruedas 42. Tras extraer las ruedas 42, la base 24 que incluye el manipulador de robot 14 puede moverse manualmente. En un diseño diferente, la base 24 puede montarse sobre un eje de raíl lineal móvil o fijo o en un carro diseñado para soportar varias bases 24 y manipuladores 14 asociados. La placa de base principal 40 está diseñada de tal manera que puede fijarse al suelo si es necesario, por ejemplo atornillando utilizando orificios 44, con el fin de proporcionar estabilidad adicional al manipulador de robot 14. El manipulador de robot 14 está unido a la base 24 a través de pernos en orificios roscados 45. En la placa de base 40, se mecanizan diversas perforaciones 46 de alta precisión. Las perforaciones 46 sirven para soportar reflectores de calibración ópticos que se utilizan para determinar la posición y orientación de la base 24 por medio de un sistema de medición óptico, tal como se describe en "*Robot calibration*" por R. Bernhardt y S. Albright, ed. Chapman & Hall, 1993. Puede observarse que el manipulador de robot 14 se calibra durante los procedimientos de configuración en fábrica con el fin de determinar con precisión su modelo geométrico. Además la base comprende un recinto 48 para el suministro de energía y servoaccionamientos de motores sin cepillos, dispositivos de acondicionamiento de señales, medios para el procesamiento local de sensores montados en brazos, y canales de comunicación con una unidad de control de sistema a distancia. Tal como se muestra en la figura 1 y se observa mejor en la figura 8, se instala un dispositivo 22 de exploración de distancia por láser 2D en la base 24, más precisamente en el recinto 48, para permitir la detección de intrusión, por ejemplo por un ayudante A, dentro del perímetro de seguridad alrededor de los enlaces L2 y L3.

Debe observarse que generalmente se utilizan dos tipos diferentes de manipuladores de robot 14 en el sistema quirúrgico robótico 10. Aunque los dos tipos de manipuladores de robot 14 presentan esencialmente la misma geometría y configuración PRP cinemática del brazo 26, el primer tipo está preferiblemente dispuesto específicamente para manipular un endoscopio utilizado para la visualización mientras que el segundo tipo está dispuesto para gestionar cualquiera de diversas clases de instrumentos 18 laparoscópicos adaptados utilizados para la operación en sí misma. Para la laparoscopia, normalmente se utiliza un manipulador de robot 14 del primer tipo mientras que se utilizan varios manipuladores de robot 14 del segundo tipo. En el sistema quirúrgico robótico 10, las principales diferencias entre estos dos tipos de manipuladores de robot 14 son:

- el desplazamiento de la junta J3 es más largo para un manipulador de endoscopio (aproximadamente 750 mm) porque requiere una rotación de 360° alrededor de su orificio de acceso (habitualmente para fines de exploración)
- el desplazamiento de la junta J4 es infinito para el manipulador de endoscopio porque requiere 360° de rotación alrededor del orificio de acceso. Esto se permite mediante la utilización de un colector de señales en el eje de J4
- no se necesita la junta J6 para el manipulador de endoscopio, es decir el endoscopio puede unirse directamente a la junta J5
- la unidad 30 de efector de un manipulador de endoscopio consiste normalmente en el endoscopio y en un sensor de fuerza/par de torsión para detectar fuerzas complementarias
- los requisitos de velocidad/aceleración para todas las juntas son como mínimo un 60% menores para un manipulador de endoscopio porque sólo requiere la capacidad de posicionamiento para el endoscopio.

Teniendo en cuenta estas diferencias, la presente descripción se centra en el segundo tipo de manipulador de robot 14, ya que este último presenta requisitos de diseño más limitativos.

Haciendo referencia a la figura 9, se proporcionan a continuación detalles referentes a la configuración de las juntas J1 a J3 del brazo de manipulador 26, incluyendo sus respectivos actuadores.

Como actuador lineal asociado, la junta (P) J1 para la elevación del brazo comprende un eje lineal de tornillo esférico 50 (por ejemplo un modelo adecuado de la serie ET producida por Parker Hannifin, Electromechanical Division, Offenburg, Germany & Poole, UK). El eje lineal de tornillo esférico 50 se acciona mediante un servomotor sin cepillos 51 equipado con un codificador de posición de motor incremental y un freno. El eje lineal 50 está dotado adicionalmente de un sensor de posición lineal absoluta (no mostrado) en la fase de salida, con conmutadores de límite y con un amortiguador de final de carrera mecánico (no mostrado). Una guía lineal vertical 52 está operativamente asociada con el eje lineal 50 con el fin de garantizar la rigidez de torsión y linealidad del eje. El eje lineal 50 está unido a abrazaderas 53 para montar el brazo 26 en la base 24. Se guían cables de señal y energía en un canal de cable vertical (no mostrado) dentro de la cubierta de la junta J1. Una cubierta externa 54 encierra los componentes de la junta prismática (P) J1 tal como se observa mejor en la figura 3. Con referencia al conjunto de actuador de la junta J1 puede observarse que se fija la razón de reducción de motor/carga de tal manera que se previene la caída indeseada de la parte horizontal 29 también cuando el freno del motor está desenganchado o

cuando el servomotor 51 no recibe energía. Además, se coloca un botón de parada de emergencia (no mostrado) en la cubierta externa 54, que sirve para detener el movimiento de todas las juntas de robot en caso de una emergencia. Tal como se observa en la figura 9, los componentes mencionados anteriormente del brazo de manipulador 26 constituyen su parte esencialmente vertical 27.

La figura 9 también muestra la junta (R) J2 que forma la junta de hombro del brazo 26. Tal como se observa mejor en la figura 10, la junta J2 comprende un conjunto de un servomotor sin cepillos 61 en línea con un engranaje 62 del tipo Harmonic Drive® para accionar la carga. El motor sin cepillos 61 está equipado con un codificador de posición y un freno a prueba de fallos. Además, el conjunto de actuador comprende un sensor de posición giratoria absoluta adicional 65, que se acciona mediante una correa 66 conectada a la fase de salida del engranaje 62, y amortiguador de final de carrera mecánico y conmutadores de límite (no mostrados). Se proporciona un conmutador de llave (no mostrado) en la cubierta 64, que permite liberar frenos de las juntas J2, J3, J4, J5 y J6 cuando sus respectivos motores no reciben energía. Esto permite mover el brazo 26 y la unidad 30 de efector manualmente a una posición aparcada. Cables de señales y energía desde juntas aguas abajo J3 a J6 y desde la unidad 30 de efector se encaminan desde J3 hasta J1 a través de un conducto de cable flexible (no mostrado) que pasa dentro de la cubierta 64. Alternativamente, tales cables pueden guiarse por ejemplo a través del árbol hueco de un conjunto de motor y engranaje adaptado.

La figura 9 también muestra el diseño de la parte horizontal 29 del brazo 26 incluyendo la junta (P) J3 para fijar la extensión radial, es decir el alcance de la parte horizontal 29. La junta J3 comprende un eje de cilindro lineal 70, por ejemplo un eje lineal de tornillo esférico, como actuador lineal asociado. Por ejemplo, se utiliza un actuador de modelo ET producido por la empresa mencionada anteriormente, accionado por un servomotor sin cepillos 71 equipado con un codificador de posición de motor y un freno a prueba de fallos. El vástago del eje de cilindro lineal 70 mueve una viga 72 que está configurada como tubo rectangular y montada sobre carros de una guía lineal 73. Esta construcción permite reducir la desviación lineal. El eje de cilindro lineal 70 está dotado adicionalmente de un sensor de posición lineal absoluta adicional en la fase de salida, con conmutadores de límite y con amortiguadores mecánicos de final de carrera (no mostrado). Se guían líneas de señales y energía en una cadena de cable colocada horizontalmente. Se fija funda 74 a las partes que forman el segundo enlace L2 y encierra los componentes de la junta (P) J3, en particular el actuador lineal 70 y la guía lineal 73. Tal como se observa en la figura 9, la viga 72, que forma parte del enlace L3, está configurada para desplazarse de manera telescópica respectivamente hacia dentro y hacia fuera de la funda 74. El brazo 26 está por tanto dotado de una parte horizontal 29 que se estrecha en un extremo que sólo requiere una cantidad limitada de espacio encima del paciente P. Además, preferiblemente se proporcionan lámparas en la parte trasera superior de la funda 74 para indicar visualmente el estado de energía y activación.

Mediante la referencia a las figuras 11-13, a continuación se detallará la construcción de la muñeca 28 y más particularmente de las juntas J4 y J5.

El diseño mecánico y de accionamiento de la junta (R) J4 mostrada en las figuras 11-13 comprende una placa de soporte 80 en la que se ha montado verticalmente un servomotor sin cepillos 81. El servomotor 81 está dotado de un codificador de posición 82 y un sensor de Hall en el árbol del motor. Como servomotor 81, se utiliza por ejemplo un modelo adecuado de la serie de motor EC de MAXON MOTOR A.G., Sachseln, Suiza. La junta (R) J4 comprende además un mecanismo de transmisión mediante un engranaje 83 acoplado al servomotor 81 y mediante un sistema de correas de transmisión 84 y poleas 85 para accionar una polea de eje de carga 86 que está acoplada a una brida de conexión 87. Un sensor de un único giro absoluto adicional 88 está conectado a una polea 89, que también se acciona mediante la correa de transmisión 84, y unido al lado inferior de la placa de soporte 80. Con el fin de encaminar fácilmente cables desde la junta J5 hasta la junta J4, el conjunto que comprende la polea de eje de carga 86 y la brida de conexión 87 presenta un árbol hueco y una ventana lateral en la brida de conexión 87. La placa de soporte 80 está unida de manera rígida a la viga 72 por medio de dos placas de montaje 90. Tal como se observa en la figura 14, una cubierta 92 sirve para proteger partes de la junta J4. Dentro de la cubierta los cables de la unidad 30 de efector, de las juntas J5 y J4, están dotados de conectores para hacer que la muñeca 28 pueda desprenderse con fines de mantenimiento. Se proporciona un botón de parada de emergencia en la cubierta 92 de la junta J4. Preferiblemente un freno a prueba de fallos está montado en el árbol del servomotor 81. Con el fin de reducir la desviación lateral O1, que constituiría un factor limitante en una configuración de múltiples robots, el motor también puede alinearse con los ejes de la polea de eje de carga 86 y el sensor 88. En este caso, la placa de soporte 80 presenta preferiblemente un borde redondeado alrededor de la polea de eje de carga 86.

El diseño mecánico y de accionamiento de la junta (R) J5 también se muestra con más detalle en las figuras 11-13. Un elemento de soporte esencialmente en forma de L 100 une la junta J5 a la junta J4, con una parte horizontal conectada a la junta J4 y una parte vertical como marco fijo para la junta J5. Comprende un servomotor sin cepillos 101, por ejemplo un modelo EC adecuado de MAXON MOTOR A.G., con un codificador de posición 102 y un sensor de Hall en el árbol del motor. Tal como se observa en la figura 13, el servomotor 101 está montado transversalmente al elemento de soporte 100. Tal como se observa en las figuras 12 y 13, la junta (R) J5 comprende además un mecanismo de transmisión mediante un engranaje 103 acoplado con el motor 101 y un sistema de correas de transmisión 104 y poleas 105 para accionar una polea de eje de carga 106. Un sensor de un único giro absoluto adicional 108 está conectado a una polea 109 que también se acciona mediante la correa de transmisión 104, y está

unido al lado interior del elemento de soporte 100. Con el fin de encaminar fácilmente cables desde la unidad 30 de efector hasta la junta J4, se incluyen varias características. Éstas son dos orificios 110 y 112 proporcionados en el elemento de soporte 100, un paso 114 central hueco en la polea 106 y la brida de herramienta 32, y un soporte de encaminamiento de cables 116 para la polea 106. El elemento de soporte en forma de L 100 presenta refuerzos laterales para proporcionar una estructura rígida para soportar la unidad 30 de efector mediante la brida de herramienta 32. Si se requiere, la junta (R) J5 incluye preferiblemente conmutadores de límite y un freno a prueba de fallos (no mostrado). Cuando se proporciona, estos últimos se montan preferiblemente en una polea accionada mediante la correa de transmisión 104 con el fin de reducir la desviación lateral 02, lo que puede constituir un factor limitante en una configuración de múltiples robots.

Las figuras 14 y 15 muestran la unidad 30 de efector, diseñada para conectarse a la brida de herramienta 32 de la junta J5, con sus tres partes principales: un actuador de instrumento laparoscópico 120, un conjunto sensor 122 que incluye un sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL y un acelerómetro lineal/angular de 6 GDL, y una cubierta 124 para la junta J6. La junta J6 está conectada al conjunto sensor 122. El actuador de instrumento laparoscópico 120 está dotado de un asiento 130 para montar un instrumento 18 laparoscópico adaptado al manipulador de robot 14.

Para aliviar, el actuador de instrumento laparoscópico 120 y el conjunto sensor 122 que incluye sensores de medición de fuerza, par de torsión y aceleración se denominarán mediante el acrónimo LIA y FTAS respectivamente. Los componentes de la unidad 30 de efector están alineados de tal manera que la junta J6 gira el instrumento 18 laparoscópico adaptado alrededor del eje de simetría longitudinal de este último, y de manera que este eje coincide con el eje Z normal de los FTAS 122. La posición de la unidad 30 de efector con respecto al eje de rotación de la junta (R) J5 se selecciona en el punto de equilibrio de la unidad 30 de efector de tal manera que se evita la inclinación cuando se detiene la junta J5 y no recibe energía. Por tanto, un marco 140 de soporte principal de la unidad 30 de efector, que se conecta a la muñeca 28, está configurado de tal manera que la unidad 30 de efector ensamblada está equilibrada en el eje de rotación de la junta (R) J5. La razón de reducción de motor/carga para la junta J5 también contribuye a la resistencia a la inclinación. La figura 15 muestra la construcción de la junta J6. En el marco 140 de soporte principal (que va a conectarse a la brida de herramienta 32) se monta un motor sin cepillos 141 con un codificador incremental 142 y un conjunto de engranaje 143. Una polea de motor 145 conectada al motor 141 está acoplada a una polea de carga 146 por medio de una correa 144. La polea de carga 146 proporciona el GDL de rotación de la junta J6. Un sensor de posición absoluta adicional 148 está montado en el eje de la polea de carga 146 que coincide con el eje de la junta (R) J6. El codificador de posición 148 presenta un árbol hueco para pasar líneas de señales y energía del LIA 120 y los FTAS 122 a un colector giratorio 150 del tipo "anillo deslizante" o de contacto deslizante. El anillo 150 deslizante permite una rotación de eje infinita para la junta J6. La polea de carga 146 está conectada a los FTAS 122 mediante una brida de conexión 152. Se guían cables para líneas de energía y señales para el LIA 120 y los FTAS 122 dentro de la cubierta 124 a través de un paso hueco en la brida de conexión 152. Tal como se apreciará, el manipulador de robot 14 en su totalidad está dotado de canales internos para garantizar el guiado protegido de todas las líneas de señales y energía por ejemplo de las juntas J1-J6 y componentes de la unidad 30 de efector tales como el LIA 120 y los FTAS 122. En una mejora adicional (no mostrada) la configuración de la junta J6 implementa las dos modificaciones siguientes: en primer lugar, reducción de la desviación 03 ubicando el conjunto de motor-engranaje-polea 141, 143, 144, 145 a -90 grados con respecto a la orientación mostrada en la figura 15. En segundo lugar, la desviación 04 se reduce configurando el conjunto de motor-engranaje 141, 143 para que se ubique más cerca del LIA 120.

Tal como se apreciará, los ejes de rotación de las juntas J4, J5 y J6 se cortan en el mismo punto en el espacio en la realización presentada. Por tanto, se elimina una posible desviación provocada por el enlace L5.

Sin embargo, tal como se muestra en la figura 23 y la figura 24, un diseño alternativo puede presentar una desviación 05 debida al enlace L5 por ejemplo con el fin de mejorar la maniobrabilidad en caso de insertar dos instrumentos 18 laparoscópicos adaptados en trocares ubicados próximos (orificios de acceso 20). Por ejemplo, el diseño específico mostrado en las figuras 23 y 24 proporciona una muñeca de manipulador 28' modificada que presenta una desviación negativa 05 debido al enlace L5. Esta desviación negativa 05 permite colocar la unidad 30 de efector de un primer manipulador de robot 14 encima de la unidad 30 de efector de un segundo manipulador de robot 14 sin colisión entre la muñecas 28'. Sin embargo, esta configuración modificada requiere un alcance aumentado para la junta J3 y capacidades superiores de velocidad y aceleración para las juntas J2, J3 y J4. Tal como se apreciará a partir de la figura 24, la configuración de la muñeca 28' es ventajosa para operar en múltiples orificios de acceso ubicados cerca unos de otros 20 (trocares 200). Se entenderá que un valor preferido de la desviación 05 entre el eje de rotación de J6 y J4 tal como se muestra en la figura 23 es aproximadamente el diámetro del LIA 120 en su sección transversal más grande. A continuación se detallarán algunos aspectos y ventajas adicionales referentes al diseño del manipulador de robot 14 y sus componentes.

En lo que se refiere a la configuración descrita de transmisiones y motores utilizados para la muñeca 28 y la unidad 30 de efector, otras configuraciones también son posibles utilizando, por ejemplo, cables y poleas como medios de transmisión o conjuntos compactos de engranaje-motor-freno con motores de par de torsión. Sin embargo, cables y poleas como transmisiones son más difíciles de implementar y mantener, mientras que los conjuntos basados en motores de par de torsión son generalmente menos compactos. Para la seguridad del sistema descrito, se seleccionaron servoaccionamientos que presentan una función de "freno dinámico" para permitir detener los motores

51, 61, 71, 81, 101, 141 en caso de una parada de emergencia. La cubierta externa del manipulador de robot 14 se fabrica de un material de plástico que puede limpiarse adecuado y posiblemente en parte de aluminio, pero todas las partes conductoras externas están conectadas a tierra eléctrica. Todos los componentes internos están protegidos frente a EMI con respecto a la recepción y la emisión. Con respecto a la esterilización en el quirófano, normalmente se utiliza una bolsa de plástico estéril para cubrir completamente el manipulador de robot 14, es decir desde la unidad 30 de efector hasta la base 24.

Con respecto al accionamiento, el diseño del manipulador de robot 14 tal como se describió anteriormente presenta dos ventajas adicionales: en primer lugar, las juntas del manipulador de robot 14 pueden accionarse manualmente, excepto por la junta J1 porque presenta una alta fricción estática e inercia invertida. En otras palabras, cuando se desenganchan todos los frenos, la unidad 30 de efector montada en la muñeca 28 en la brida 32 puede moverse manualmente mediante accionamiento manual de las juntas J2, J3, J4, J5 y J6 requiriendo tan sólo una fuerza de empuje inferior a 5 kg (en la dirección horizontal). En segundo lugar, se aumenta la seguridad del sistema mediante redundancia sensorial. Tal como se describió anteriormente, cada una de las juntas J1 a J6 presenta tanto un codificador de posición en el árbol de motor como un sensor de posición adicional (por ejemplo 65, 88, 108, 148) que mide la producción de movimiento eficaz de la junta respectiva. En la práctica, se utiliza esta redundancia sensorial para detectar fallos (por ejemplo de un cable de motor, de una correa o de un servoaccionamiento).

Además, el diseño evita condiciones de final de carrera en cada una de las juntas de J1 a J6. El final de carrera se produce cuando una junta se queda sin límite de movimiento y es una condición crítica particularmente en la cirugía robótica que se manipula a distancia, porque es difícil y molesto para el cirujano S lograr la recuperación con un instrumento 18 insertado en el cuerpo del paciente P. Con el fin de evitar condiciones de final de carrera, las juntas prismáticas J1, J3 del brazo 26 están diseñadas con un desplazamiento suficiente y la junta de alabeo J6 de la unidad 30 de efector está diseñada para una rotación sin límites. Como resultado, evitar las condiciones de final de carrera sólo requiere que se respeten determinadas condiciones de ajuste y configuración iniciales predeterminadas.

La figura 16 muestra esquemáticamente un trocar 200 y su espacio 202 de trabajo externo al cuerpo del paciente P. También se muestra un marco de referencia de fulcro FRF en la figura 16, por medio de un sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z) con el eje z orientado hacia arriba aproximadamente paralelo a la dirección de la gravedad. El trocar 200 se introduce normalmente a través de una pequeña incisión en el abdomen del paciente P, indicado en 204, en la cavidad peritoneal. El trocar 200 junto con la incisión forma un orificio de acceso 20 tal como se muestra en las figuras 1 y 2. Con el fin de alcanzar el órgano o la región en la que debe llevarse a cabo la operación, el eje longitudinal del trocar 200 indicado mediante z' se hace pivotar en el espacio 202 de trabajo alrededor del origen del FRF, denominado punto 206 de pivote. En otras palabras, este origen define un fulcro para el trocar 200. El fulcro se determina preferiblemente entre la pared abdominal y la piel del paciente P, en la ubicación de menor resistencia a la inclinación, con el fin de reducir el riesgo de sacar el trocar 200 tirando del mismo.

Los siguientes intervalos máximos de fuerza y par de torsión se registraron experimentalmente en un sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL colocado en el mango de un instrumento laparoscópico modificado (véase "Surgeon-Tool Force/Torque Signatures – Evaluation of Surgical Skills in Minimally Invasive Surgery" de J. Rosen *et al*, Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality, MMVR-7, IOS Press, San Francisco, CA, enero de 1999):

• Fuerzas: $F_x, F_y = \pm 10 \text{ N}$; $F_z = \pm 30 \text{ N}$;

• Momentos: $M_x, M_y = \pm 1 \text{ Nm}$; $M_z = \pm 0,1 \text{ Nm}$.

En la presente memoria F_i representa la fuerza a lo largo del eje correspondiente $i = x, y$ o z y M_i representa el momento alrededor del eje correspondiente $i = x, y$ o z del FRF en la figura 16. Los intervalos de funcionamiento del sensor de fuerza-par de torsión en los FTAS 122 tendrán en cuenta estos valores más el peso del LIA 120, las cargas de dinámica de movimiento y la resistencia al pivotado y a la penetración ejercidas sobre el trocar 200. En la práctica, el sensor de fuerza-par de torsión en los FTAS 122 se utiliza para reflejar la fuerza/ par de torsión, es decir realimentación fuerza/par de torsión a una interfaz táctil manipulada por el cirujano S, para accionar manualmente la unidad 30 de efector utilizando los FTAS 122 como palanca de mando, y para monitorizar fuerza/pares de torsión que interaccionan con un instrumento 18 conectado a la unidad 30 de efector, por ejemplo las fuerzas/pares de torsión en la punta del instrumento 18 o en el punto 206 de pivote en la figura 4. El acelerómetro lineal y radial en los FTAS 122 se utiliza para compensar la influencia de la gravedad y la aceleración sobre la información de sensor de fuerza-par de torsión. Los ejes de medición del acelerómetro y el sensor de fuerza-par de torsión en los FTAS 122 coinciden geoméricamente.

Durante el funcionamiento, se inserta un instrumento 18 laparoscópico a través del trocar 200. Para la mayoría de los procedimientos quirúrgicos, el cirujano S manipula el instrumento 18 dentro de los siguientes intervalos máximos de espacio de trabajo angular y velocidad alrededor del FRF de la figura 16:

Tabla 1

Eje de fulcro	Desplazamiento máximo	Velocidad máxima
Pivote de guiñada	+/-70°	100°/s
Pivote de cabeceo	[+10° - 80°]	60°/s
Penetración	[0 200mm]	200 mm/s
Balanceo	I [-360° +360°]	300°/s

En el diseño y la configuración de algunos manipuladores de robot de la técnica anterior, el punto de pivote del trocar 200 permanece fijo tras la instalación de la muñeca gracias a la disposición mecánica de la estructura de la muñeca que pivota alrededor de un punto fijo (véase por ejemplo: "Remote center of motion robot" de Taylor *et al.*; patente US nº 5667323 – mayo de 1995). Otros diseños de la técnica anterior implementan un cumplimiento mecánico a lo largo de ejes de pivote con el fin de limitar las fuerzas aplicadas al trocar (véase por ejemplo: "Medical robotic system" de Wang *et al.*; patente estadounidense nº 6102850, agosto de 2000). Al contrario que esto, el manipulador de robot 14 propuesto en la presente memoria no está diseñado ni con cumplimiento mecánico ni con centro de movimiento, sino que se basa en un movimiento resuelto con precisión alrededor de un punto 206 de pivote determinado mediante un procedimiento específico, y en el control en tiempo real de fuerzas y pares de torsión aplicados a la unidad 30 de efector con el fin de optimizar la ubicación del punto 206 de pivote. Además, esta característica proporciona la flexibilidad para trasladar el punto 206 de pivote, si lo requiere el cirujano S, con el fin de mejorar el espacio de trabajo intraabdominal. Otra ventaja es la capacidad para adaptarse a variaciones de la ubicación absoluta del punto 206 de pivote debido, por ejemplo, a la pérdida de presión abdominal.

Tal como resulta evidente, el manipulador de robot 14 debe presentar determinadas capacidades de movimiento con el fin de proporcionar a la unidad 30 de efector una destreza comparable a la manipulación manual de instrumentos laparoscópicos por cirujanos. Basándose en las condiciones de movimiento proporcionadas en la tabla 1, las capacidades cinemáticas preferidas que se han encontrado para las juntas J1 a J6 en este ejemplo específico se resumen en la tabla 2. Los ángulos de balanceo, cabeceo y guiñada pueden definirse con respecto a un sistema de referencia absoluto, por ejemplo en el fulcro.

Tabla 2

Junta	Desplazamiento máximo	Velocidad máxima	Aceleración máxima
J1 – Elevación	700 mm	600 mm/s	4 m/s ²
J2 – Hombro	+/- 90°	60°/s	400°/s ²
J3 – Radial	600 mm	600 mm/s	4 m/s ²
J4 – Guiñada	[-360° +360°]	260°/s	1900°/s ²
J5 – Cabeceo	[-60° +180°]	75°/s	500°/s ²
J6 – Balanceo	Infinito	250°/s	2400°/s ²

En cuanto a las capacidades de velocidad y aceleración para la junta respectiva, los valores facilitados en la tabla 1 son relativamente altos y por tanto requieren actuadores fuertes, una estructura rígida de brazo 26 y muñeca 28 y una fijación al suelo apropiada por medio de la base 24. Obviamente, pueden elegirse valores inferiores lo que conduce a requisitos reducidos, pero esto es a costa de una reducción de la dinámica en el punto 206 de pivote.

Otro aspecto relevante, especialmente en la cirugía robótica manipulada a distancia con reflejo de fuerza, es el requisito de precisión para el manipulador 14. Una precisión suficiente contribuye para reducir tensiones en la incisión de trocar, y permite llevar a cabo una compensación precisa de fuerza/par de torsión.

En el diseño elegido, la precisión estática del manipulador 14 en la conexión a la unidad 30 de efector, es decir en la brida de herramienta 32 (véase la figura 4) será mejor que 2 mm para la posición y mejor que 0,1° para la orientación en el FRF (véase la figura 16). En la presente memoria se supone una carga externa de 1,5 kg en la punta de un instrumento 18 laparoscópico conectado y se supone que el FRF está a 280 mm del eje de la junta (R) J5. La precisión dinámica será mejor que 4 mm para la posición y 0,5° para la orientación en el FRF. Estas características se obtienen, entre otras, mediante un mecanizado mecánico preciso de partes estructurales, rigidez de enlaces L1-L6 y juntas J1-J6, resolución suficiente de los sensores de posición, ajuste apropiado de bucles de control del motor PID, calibración de cinemática del manipulador, etc.

En este contexto, los sensores de posición absoluta mencionados anteriormente (por ejemplo 65, 88, 108, 148) proporcionados en la salida de cada junta J1 a J6 proporcionan las siguientes ventajas:

- Direccionar las juntas J1 a J6 del manipulador de robot 14 sin accionar las juntas; esto significa que el valor inicial de los sensores incrementales utilizados para controlar los motores se proporciona por los sensores absolutos. Si no hubiera sensores absolutos disponibles, podría implementarse un procedimiento de direccionamiento moviendo cada junta en una dirección dada para encontrar una señal de referencia. No realizar

movimientos automatizados para el direccionamiento en el inicio garantiza un procedimiento de ajuste rápido y una seguridad mejorada.

- 5 • Determinar en tiempo real la posición y la orientación de la unidad 30 de efector evitando errores de elasticidad de las juntas provocados por mecanismos de transmisión.
- Monitorizar desviaciones del manipulador de robot 14 desde el FRF.
- 10 • Detectar un fallo de transmisión de la junta (por ejemplo rotura de correa) u otro fallo de hardware monitorizando la consistencia de datos utilizando las posiciones indicadas por el codificador de motor respectivo proporcionado en cada junta J1-J6.

Otro aspecto en la robótica es el modelo matemático utilizado para controlar el manipulador de robot 14. Apartándose de un modelo teórico del manipulador de robot 14, el modelo “concreto” eficaz y preciso, incluyendo parámetros tales como desviaciones de la disposición cinemática, elasticidad de las juntas J1 a J6, elasticidad de los enlaces L1 a L7, contragolpes de actuadores y otros errores de linealidad se determina necesariamente durante un procedimiento de calibración. El modelo de manipulador “concreto” identificado se utiliza con tres fines: en primer lugar, para mejorar la precisión del manipulador de robot 14 utilizando el modelo teórico en el controlador de movimiento (lo que simplifica el cálculo de cinemática inverso) con longitudes de enlaces y desviaciones de las juntas reales; en segundo lugar, para calcular con precisión, en tiempo real a lo largo de la formulación directa, la posición y la orientación de los FTAS 122 de 6 GDL y las cargas unidas, (se requieren estos valores para compensar cargas gravitacionales y de aceleración); en tercer lugar, para determinar, en tiempo real mediante la formulación directa, la posición y la orientación de la punta del instrumento y deducir parámetros requeridos para el reflejo de fuerza (por ejemplo la penetración del instrumento 18).

Los siguientes párrafos proporcionan una descripción más detallada del actuador de instrumento laparoscópico (LIA) 120.

Tal como se observa en las figuras 14 y 15, el LIA 120 forma parte de la unidad 30 de efector. El LIA 120 proporciona una superficie de contacto de accionamiento genérica para utilizar instrumentos laparoscópicos convencionales tales como pinzas de agarre/disección, tijeras, herramientas de succión/ irrigación, etc. con el manipulador de robot 14. Por tanto, el LIA 120 forma el extremo del manipulador 14 y representa su parte de mano ya que reproduce las acciones de la mano de un cirujano. El LIA 120 comprende un alojamiento 154 cuyo extremo trasero forma una brida de superficie de contacto 156 para su conexión a los FTAS 122 mientras que su extremo frontal forma el extremo del manipulador de robot 14. En una configuración diferente de una unidad de efector, un LIA puede incluir la junta J6. Sin embargo, esta configuración requiere un diseño mecánico más complejo del adaptador de instrumento que incluirá un mecanismo de rotación junto con el mecanismo de apertura-cierre y transmisión de energía. Además, debe mantenerse el campo estéril incluso con el mecanismo de rotación.

El LIA 120 mostrado en la figura 14-15 y la figura 18-22 está adaptado para su utilización con cualquier instrumento laparoscópico convencional que puede dividirse en un mango en un lado, y un vástago en el otro lado. En la presente memoria el vástago se define como un tubo comparativamente delgado y alargado que presenta en su punta, por ejemplo, elementos de inserción de mandíbulas de pinzas/tijeras, medios de succión/irrigación, herramientas básicas tales como un cuchillo o un dispositivo de cauterización/corte eléctrico. El extremo opuesto a la punta comprende un receptáculo que está diseñado para conectar el vástago al mango para el cirujano. La compatibilidad del manipulador de robot 14 con instrumentos convencionales se logra mediante el diseño del LIA 120 y el diseño de adaptadores de vástago de instrumento correspondientes, denominados a continuación con el acrónimo ISA, del cual se muestra un ejemplo en vista en sección parcial en la figura 17.

La figura 17 muestra el ISA (adaptador de vástago de instrumento) 300 al que puede conectarse un vástago de instrumento 302. El ISA 300 puede conectarse al LIA 120 montándolo en el asiento 130 mostrado en la figura 15. Para ello, el ISA 300 comprende una carcasa 303 con una superficie exterior esencialmente cilíndrica. Tal como se observa en la figura 17, el ISA 300 está diseñado como elemento de acoplamiento entre el vástago de instrumento 302 de un instrumento (laparoscópico) convencional, y el LIA 120. Para ello, el ISA 300 comprende un conector de vástago 304 en su extremo frontal. El conector de vástago 304 está diseñado para su conexión a un receptáculo 306 de tipo específico del vástago 302, que depende del instrumento real. Originalmente, el receptáculo 306 está diseñado para su conexión a un mango de instrumento laparoscópico (no mostrado). Tal como se observa en la figura 17, el conector de vástago 304 reproduce el conector del mango original para el que se diseñó el vástago 302. El ISA 300 comprende además como medios de acoplamiento un elemento de acoplamiento 308 para fijar la conexión con el LIA 120. El elemento de acoplamiento 308 está dispuesto lateralmente en la carcasa 303 y sobresale radialmente de la misma para impedir la rotación del ISA 300 cuando está montado en el LIA 120. Se incluye un pequeño bloque 309 metálico en el elemento de acoplamiento con el fin de proporcionar una superficie de detección metálica para un conmutador de presencia inductivo (véase la parte 404 descrita a continuación) del LIA 120. Un pistón 310 linealmente desplazable está dispuesto en una guía cilíndrica 312 interna en el ISA 300. Un pasador cilíndrico 314 deslizante está unido transversalmente al pistón 310 y sobresale de la carcasa 303 para hacer funcionar el pistón 310. La operación de deslizamiento del pistón 310 acciona una varilla en el interior del

vástago de instrumento 302 para manipular la herramienta en la punta del vástago de instrumento 302. Tal como se apreciará, el ISA 300 reproduce la funcionalidad del mango originalmente conectado al vástago 302 con respecto a manipular el vástago de instrumento 302, mientras proporciona junto con el LIA 120 una superficie de contacto de conexión con el manipulador de robot 14.

5 Se entenderá que la forma de realización específica del ISA 300 mostrado en la figura 17 está diseñada para un instrumento que requiere un accionamiento mecánico tal como una función de apertura/cierre para la punta del instrumento, por ejemplo, tijeras y pinzas con o sin transmisión de energía eléctrica unipolar o bipolar. Una variedad de otros tipos de adaptadores análogos también queda abarcada por la presente descripción, estando cada adaptador adaptado para un tipo específico de instrumento laparoscópico, es decir un tipo específico de vástago (por ejemplo 302), que debe conectarse al LIA 120. Por consiguiente, el ISA comprende, dependiendo de los requisitos del instrumento, un pasador 314 lineal deslizante por ejemplo para el accionamiento de las mandíbulas del instrumento, uno o más conectores eléctricos 318, por ejemplo para energía de cauterización unipolar o bipolar, etc. y/o una o más conexiones de conductos, por ejemplo para instrumentos de irrigación o succión. Aunque la figura 17 se muestra con conectores eléctricos 318, se entenderá que para un instrumento 18 puramente mecánico, no se necesita proporcionar las partes del ISA 300 que forman los conectores eléctricos 18 (dibujados en ancho de línea delgada en la figura 17). Puede observarse que el material constituyente de cualquier tipo de ISA se elegirá de tal manera que pueda esterilizarse por ejemplo mediante un autoclave de vapor. De hecho, gracias al diseño del LIA 120, el ISA es la única parte del sistema quirúrgico robótico 10 que necesita esterilizarse (obviamente además del vástago de instrumento). Durante el funcionamiento, el alojamiento 154 del LIA 120 y las otras partes de la unidad 30 de efector están encerrados en una bolsa de plástico estéril. Aunque no se muestra, resulta evidente que para instrumentos no accionados mecánicamente pero alimentados con energía eléctrica tales como electrobisturís o cuchillos, el ISA no necesita presentar el pasador deslizante 314 y una transmisión mecánica asociada. Para instrumentos tales como una cánula de irrigación o succión, el ISA está equipado con dos tubos que se controlan a distancia mediante electroválvulas accionadas eléctricamente mediante el sistema de control del robot.

El LIA 120 mostrado en la figura 18 está diseñado ligero (por ejemplo menos de 800 g de peso total) y para ajustarse dentro de una envuelta cilíndrica relativamente pequeña de aproximadamente 90 mm o preferiblemente de 75 mm de diámetro para aumentar el espacio de trabajo disponible de dos herramientas adyacentes con orificios de acceso 20 próximos. La longitud total del LIA 120 (aproximadamente 130 mm en un ejemplo específico) se determina principalmente mediante la longitud del ISA 300. La longitud del LIA 120 se minimiza con el fin de limitar la distancia entre el eje de rotación de la junta J5 y el punto 206 de pivote del FRF (véase la figura 17). De hecho, esta desviación de distancia es determinante para el intervalo de desplazamiento y las capacidades de velocidad/aceleración de todas las juntas J1 a J5 de manipulador. Sin embargo se recomienda que la longitud del LIA 120 sea de al menos 6 cm con el fin de permitir agarrar el LIA 120 con la mano en el modo manual (es decir utilizando el alojamiento 154 conectado a los FTAS 122 como una "palanca de mando").

Tal como se observa en la figura 18, la superficie exterior del alojamiento 154 presenta bordes suavizados. Se fabrica de un material fácil de limpiar, ligero y no conductor. Además, el LIA 120 presenta un diseño con simetría rotacional parcial con respecto al vástago 302 de un instrumento 18 adaptado montado utilizando un ISA 300. Cuando el ISA 300 está apropiadamente conectado al LIA 120, el eje del vástago 302 coincide con el eje de alabeo de la junta J6 y con el eje normal de los FTAS 122.

Tal como se observa adicionalmente en la figura 18, el alojamiento 154 del LIA 120 comprende un mecanismo actuador lineal 400 para accionar un instrumento 18 montado por medio del ISA 300 tal como se detallará a continuación. El asiento 130 está formado como un rebaje semicilíndrico alargado cóncavo en una superficie de acceso 401 del LIA 120 para facilitar la inserción y extracción del ISA 300. El asiento 130 para recibir el ISA 300 es aproximadamente coaxial al eje de rotación de la junta J6 y se extiende a lo largo del eje central del alojamiento 154. Tal como se apreciará, la dirección de montaje y desmontaje del ISA 300 con respecto al LIA 120 es radial con respecto al eje de rotación de la junta J6. El LIA 120 está configurado de tal manera que el asiento 130 queda accesible desde el plano medio total por encima de la superficie de acceso 401. Tal como se observa en la figura 18, el asiento 130 comprende un surco longitudinal 402 que profundiza el asiento 130 radialmente al interior del cuerpo del LIA 120. El surco 402 adicional está configurado para recibir el elemento de acoplamiento 308 del ISA 300. La parte de enganche de un mecanismo de bloqueo 406 asociado al asiento 130 está dispuesta en el surco 402 y actúa conjuntamente con el elemento de acoplamiento 308. El asiento 130 está formado como un rebaje semicilíndrico con una parte de extremo redondeada conformada a la forma cilíndrica exterior de la carcasa 303 del ISA 300. Un detector de presencia 404, por ejemplo un conmutador de presencia inductivo, está dispuesto en el asiento 130 para la detección de la presencia del ISA 300 detectando el bloque 309 metálico (véase la figura 17). Un botón de conmutador de seguridad 408 permite conmutar el sistema de control del manipulador de robot 14 a modo manual. En el modo manual, el LIA 120 (y, si está conectado, el instrumento 18) se colocan y se orientan mediante el manipulador de robot 14 utilizando la información producida por el ayudante que manipula el alojamiento 154 del LIA 120 y leída por los FTAS 122. El modo manual es particularmente útil para insertar o extraer un instrumento a través de un trocar.

Los detalles del mecanismo actuador lineal 400 se observan mejor en la figura 20. El mecanismo actuador 400 comprende un motor sin cepillos en miniatura 411 conectado mediante una caja de engranajes 412 y poleas 414 y

416, que están acopladas mediante una correa 418, a un tornillo esférico 420. El tornillo esférico 420 actúa conjuntamente con una tuerca 422 dispuesta en el mismo para transformar la rotación en movimiento lineal tal como se observa en la figura 19. La tuerca 422 se guía mediante una guía lineal 424 con el fin de reducir los esfuerzos transversales sobre el tornillo esférico 420. Se colocan conmutadores de límite conductivos 426 y 428 en ubicaciones de final de carrera de la tuerca 422 y se conectan a una unidad de control para limitar el desplazamiento del mecanismo actuador 400.

Tal como se observa en la figura 19, el mecanismo actuador 400 comunica el movimiento lineal a un carro deslizante 430 del LIA 120, tal como se detallará a continuación. En una realización preferida, se eligieron los siguientes parámetros para el mecanismo actuador 400:

- desplazamiento mecánico máximo del carro deslizante 430: 7 mm (normalmente 5 mm son suficientes para instrumentos convencionales, pero se ha encontrado que varios vástagos del mismo tipo pueden presentar longitudes de desplazamiento que varían en hasta 2 mm);
- intervalo de velocidad de desplazamiento: desde 1 mm/s hasta 20 mm/s;
- fuerza de accionamiento máxima: 200 N;

Preferiblemente se evitan motores de velocidad gradual en el LIA 120 porque producen vibraciones que serían una fuente considerable de ruido para los FTAS 122. Por tanto, se utiliza un motor sin cepillos en miniatura 411 equipado con un codificador de posición de árbol. Tales motores están disponibles por ejemplo de Faulhaber GmbH, Schoenaich, Alemania. Sin embargo no se excluyen otros mecanismos de movimiento lineal no vibratorios tales como la transmisión impulsada por cables. La figura 20 muestra una unidad de potencia y control 440 para el motor 411 que está incrustada en el alojamiento 154 del LIA 120 y se le suministra por ejemplo una potencia de 24 VDC. Con el fin de reducir adicionalmente el diámetro del alojamiento 154, la unidad de potencia y control 440 puede colocarse en un alojamiento adicional o bien entre la brida 156 y los FTAS 122, o entre los FTAS 122 y una brida de conexión a la junta J6 (no mostrada), o dentro de la cubierta 124 de la junta J6, por ejemplo detrás del colector de anillo deslizante 80 cerca del motor 141. La unidad de potencia y control 440 está diseñada entre otras cosas para accionar el carro deslizante 430 con un perfil de velocidad dado según comandos de posición recibidos, para limitar la corriente del motor a petición del usuario, para gestionar el movimiento basándose en señales de conmutadores de límite 426, 428, para direccionar el motor 411 utilizando un conmutador de límite, y para monitorizar el detector de presencia 404 en el alojamiento 154. Otras funciones de seguridad, por ejemplo funciones de parada de emergencia, también se implementan utilizando un error de servo del motor 411, es decir posición objetivo menos la posición efectiva, y protección térmica del motor 411. Con el fin de reducir el espacio requerido para el LIA 120, el mecanismo actuador lineal 400 no está equipado con un sensor de posición absoluta. No obstante, se garantiza un procedimiento de direccionamiento automatizado utilizando conmutadores de límite 426 y 428 como sensores de direccionamiento. Durante el funcionamiento, puede registrarse periódicamente la posición absoluta del carro deslizante 430, por ejemplo en una memoria adecuada del sistema de control de robot para una rápida recuperación del sistema tras un fallo o pérdida de energía. La presencia del ISA 300, es decir si está correctamente montado en el LIA 120, se detecta mediante el conmutador de presencia inductivo 404 (véase la figura 18) dispuesto en el asiento 130. La salida del conmutador de presencia inductivo 404 se alimenta a una entrada disponible de la unidad de control 440.

Tal como se observa mejor en figuras 7 y 19, el carro deslizante 430 del mecanismo actuador 400 está adaptado para recibir el pasador deslizante 314 del ISA 300. Mediante acción del motor 411, el carro deslizante 430 se reposiciona de modo que se acciona el pasador deslizante 314 de un ISA 300 conectado. El pasador deslizante 314 a su vez acciona el pistón manipular un elemento de trabajo o herramienta en la punta del vástago 302 (no mostrado), por ejemplo un mecanismo de apertura/cierre de mandíbulas. En otras palabras, la combinación de mecanismo actuador lineal 400 e ISA 300 simula la acción del mango que se ha retirado del vástago 302 y sustituido por el ISA 300. La inserción del pasador deslizante 314 en el carro deslizante 430 se facilita mediante superficies de guiado achaflanadas 434.

La figura 21 y la figura 22 muestran en más detalle la configuración del mecanismo de bloqueo 406 del LIA 120 mostrado sólo parcialmente en la figura 18. El mecanismo de bloqueo 406 está configurado como cierre y comprende un trinquete 450 deslizante dispuesto en el surco 402 (mostrado en la figura 18) del asiento 130. Se entenderá que el trinquete 450 se guía mediante medios adecuados en el surco 402. El surco 402, junto con el trinquete 450 deslizante, están configurados para recibir de manera enganchada el elemento de acoplamiento 308 del ISA 300 mostrado en la figura 17. El trinquete 450 comprende dos narices 452 para enganchar dos salientes 316 formados por ranuras en el elemento de acoplamiento 308 (véase la figura 17). Los bordes del elemento de acoplamiento 308 están redondeados para facilitar la inserción y retirada en/del surco 402.

El diseño del trinquete 450 se observa mejor en la figura 22. Un muelle 454 impulsa de manera elástica el trinquete 450 hacia los FTAS 122. Un pomo 456 guiado linealmente permite rotar un pivote 458 que está acoplado al trinquete 450 guiado linealmente con el fin de desenganchar manualmente el trinquete 450 del elemento de acoplamiento 308 cuando debe desmontarse el ISA 300. Las narices 452 del trinquete 450 están achaflanadas para permitir la

inserción del ISA 300 simplemente empujando. Las partes de enganche de las narices 452 y los salientes 316 están redondeadas según un perfil conjugado con el fin de limitar daños a una lámina de plástico estéril utilizada para cubrir el LIA 120. Tal como se entenderá, también pueden utilizarse otros mecanismos de acoplamiento o de bloqueo equivalentes, por ejemplo utilizando imanes permanentes instalados en el LIA con placas metálicas y una palanca basada en leva montada en el ISA para sustituir el mecanismo de pestillo. Se prefiere que el mecanismo de fijación, por ejemplo el mecanismo de bloqueo 406 y el elemento de acoplamiento 308, estén diseñados para garantizar que el ISA 300, cuando está montado en el LIA 120, pueda resistir a las siguientes fuerzas y momentos sin desconectarse del LIA 120:

- fuerzas de tracción y compresión de 100 N;
- momentos de torsión correspondientes a fuerzas radiales de 15 N en la punta del instrumento;
- momentos de flexión de hasta 5 Nm.

Se apreciará que el LIA 120 y cada ISA que actúa conjuntamente (por ejemplo, 300) están diseñados para la instalación y desmontaje manuales rápidos y sencillos de un instrumento 18 laparoscópico adaptado, es decir un vástago (por ejemplo 302) ensamblado en un ISA (por ejemplo 300), por el ayudante de cirujano A. La forma exterior esencialmente cilíndrica del ISA 300, su elemento de acoplamiento 308, el asiento 130, el surco 402 y el mecanismo de bloqueo 406 tal como se describieron anteriormente proporcionan una inserción guiada y un procedimiento de conexión sencillo del ISA 300 en el LIA 120. El diseño garantiza la rigidez requerida cuando se inserta el ISA y un procedimiento de extracción sencillo por medio de unos pocos movimientos manuales. Por medio de este diseño, puede llevarse a cabo la inserción y extracción del instrumento 18 adaptado (es decir vástago e ISA) esencialmente tan rápido como en operaciones quirúrgicas manuales, en las que el ayudante sustituye un instrumento convencional para el cirujano en aproximadamente 6-9 segundos.

Debe observarse que la inserción o desmontaje de un instrumento 18 adaptado que comprende el ISA (por ejemplo 300) y el vástago (por ejemplo 302) puede realizarse de manera segura en ambos casos, cuando el instrumento esta fuera del cuerpo del paciente P o cuando el instrumento está insertado en el cuerpo del paciente P. También es posible llevar a cabo el desmontaje mientras se acciona el pasador deslizante 314.

Antes de montar el instrumento adaptado en el LIA 120, deben cumplirse varias condiciones preliminares. En primer lugar, si el instrumento está parcialmente insertado en el trocar (sin superar la longitud del trocar), el LIA 120 debe colocarse previamente y orientarse mediante el manipulador 14 en una posición enseñada que alinea el eje de rotación de la unidad 30 de efector (junta J6) con el trocar. En segundo lugar, el carro deslizante 430 debe colocarse en la "posición de referencia de inserción" mediante el sistema de control de robot, por ejemplo una posición lo más próxima a la brida de superficie de contacto 156. Cuando se desmonta un ISA (por ejemplo 300), el carro deslizante 430 debe moverse automáticamente a esta "posición de referencia de inserción" mediante el sistema de control de robot. Tal como se mencionó anteriormente, la presencia, ausencia o liberación anómala de un ISA puede detectarse mediante el detector de presencia 404. En tercer lugar, y si está presente, el pasador deslizante (por ejemplo 314) del ISA (por ejemplo 300) debe estar en una "posición de referencia de inserción" correspondiente a la del carro deslizante 430. Esta posición del pasador deslizante 314 se define preferiblemente de tal manera que el instrumento está en la configuración "cerrada", por ejemplo, las mandíbulas de un instrumento de pinzas/tijeras están flojas pero lo suficientemente cerradas en esta posición. Tal como se ilustra mejor en la figura 14, el procedimiento de inserción de un instrumento 18 laparoscópico adaptado que incluye un ISA (por ejemplo 300) y un vástago (por ejemplo 302) puede llevarse a cabo mediante sólo un movimiento manual sencillo según la flecha 460 que consiste en colocar el ISA (por ejemplo 300) en su asiento 130 y empujar ligeramente el ISA a lo largo de la misma dirección para enganchar el elemento de acoplamiento 308 con el mecanismo de bloqueo 406. El detector de presencia 404 proporciona una salida afirmativa cuando el elemento de acoplamiento 308 está correctamente instalado en el surco 402. Durante este procedimiento de inserción, el carro deslizante 430 se engancha con el pasador deslizante 314 sin necesidad de medidas adicionales, si se han cumplido las condiciones mencionadas anteriormente.

Cuando el cirujano S solicita un cambio de instrumento mediante su consola 15 maestra, normalmente se llevan a cabo automáticamente cuatro operaciones por el sistema de control de robot. En primer lugar, el sistema de control de robot controla el instrumento 18 para liberar cualquier tejido. En segundo lugar, mueve el instrumento cerca del orificio de trocar siguiendo la dirección de eje de instrumento. En tercer lugar, se lleva la punta de herramienta, por ejemplo las mandíbulas del instrumento, a una configuración que evita el enganche de la punta en el trocar. En cuarto lugar, libera el motor de la junta J6 de tal manera que el ayudante de cirujano A puede girar libremente el LIA 120 para facilitar el desmontaje del instrumento del LIA 120. Tras estas operaciones, puede llevarse a cabo de manera segura el desmontaje de un instrumento 18 laparoscópico adaptado en dos movimientos sencillos y en cualquier momento.

El primer movimiento de extracción consiste en empujar el pomo 456 de modo que se desbloquea el mecanismo de cierre 406. El segundo movimiento de extracción consiste en pivotar el ISA (por ejemplo 300) y el vástago (por ejemplo 302) alrededor de la punta del vástago mediante rotación alrededor de un eje perpendicular al eje del

vástago de modo que ambos se desmontan del asiento 130 como posteriormente, si todavía está insertado, para extraer el vástago (por ejemplo 302) del cuerpo del paciente P.

Tal como resulta evidente a partir de los procedimientos de inserción y desmontaje anteriores, el diseño del LIA 120 e ISA (por ejemplo 300), permite la inserción o extracción del instrumento incluso cuando el vástago (por ejemplo 302) de un instrumento 18 adaptado todavía está parcialmente insertado en el cuerpo del paciente P a través del trocar 200 (véase la figura 16). Tal como se apreciará, los movimientos requeridos para la extracción no son en la dirección de penetración con respecto al paciente P ya que consisten en un movimiento de pivotado perpendicular al eje longitudinal del asiento 130 y un movimiento de extracción posterior. Además, en el caso de que un movimiento en una dirección de pivotado dada pueda dañar al paciente, esta dirección puede cambiarse rotando el LIA 120 manualmente mediante la junta J6. Además, en el caso de un fallo de alimentación, puede liberarse y extraerse manualmente un ISA (por ejemplo 300) junto con su vástago (por ejemplo 302).

Con respecto al LIA 120 tal como se describió anteriormente, se apreciará que puede utilizarse una amplia variedad de instrumentos laparoscópicos convencionales existentes en el sistema 10 robótico por medio de sencillos adaptadores de vástago de instrumento (ISA) (por ejemplo 300). El LIA 120 en combinación con un ISA correspondiente sustituye a la parte de mango de un instrumento laparoscópico dado sin pérdida de capacidad de accionamiento o suministro de energía. El LIA 120 se diseña de manera genérica, es decir, independiente del tipo de instrumento que debe acoplarse al manipulador de robot 14. Por tanto, sólo se necesita diseñar el ISA (por ejemplo 300) específicamente según los requisitos del instrumento. Tal como se describió anteriormente, el LIA 120 puede proporcionar entre otras cosas las siguientes funciones:

- accionamiento “abierto/cerrado” de puntas de herramienta de instrumento, por ejemplo de mandíbulas de instrumento, utilizando el mecanismo actuador lineal 400;
- adaptación de la longitud de desplazamiento “abierto/cerrado” requerida para cada tipo de instrumento;
- manipulación de instrumentos no accionados tales como cuchillos mediante acción del manipulador de robot 14.

Además, el LIA 120 permite una rentabilidad beneficiosa en la laparoscopia robótica debido a varios factores. En primer lugar, al contrario que dispositivos de la técnica anterior que requieren diversos actuadores por manipulador porque el instrumento y el actuador asociado se ensamblan como una única unidad en un único recinto, sólo se necesita un LIA 120 para cada manipulador 14. Esto permite ahorros entre otras cosas en costes de actuadores. En segundo lugar, se reducen los costes de instrumento utilizando los vástagos (por ejemplo 302) de instrumentos laparoscópicos convencionales y los adaptadores de vástago de instrumento correspondientes (por ejemplo 300) de construcción sencilla. Por tanto, el coste de un instrumento 18 adaptado para su utilización con el LIA 120 es casi idéntico al coste de un instrumento laparoscópico manual convencional (es decir que incluye el mango). En tercer lugar, los costes de mantenimiento de instrumentos son esencialmente iguales a los de instrumentos laparoscópicos convencionales porque el diseño del ISA (por ejemplo 300) es robusto frente a ciclos de esterilización.

Haciendo referencia a la figura 25, se describirá una realización alternativa de un LIA 1120. Dado que muchos aspectos y ventajas del LIA descrito anteriormente en la presente memoria también se aplican al LIA 1120, sólo se detallarán a continuación en la presente memoria las principales características y diferencias.

El LIA 1120 mostrado en la figura 25 presenta un alojamiento 1154 semicilíndrico que presenta una superficie de acceso superior sustancialmente plana 1401 para facilitar el montaje y desmontaje de un ISA en el LIA 1120. La superficie opuesta 1155 del alojamiento 1154 es semicilíndrica de conformidad con una envuelta cilíndrica que es coaxial al eje de rotación de J6. El diámetro de la superficie semicilíndrica 1155 se elige ergonómicamente para permitir la manipulación por un operario humano, por ejemplo en el intervalo de 50-135 mm, preferiblemente de aproximadamente 90 mm, especialmente para controlar el manipulador de robot 14 en el modo manual mencionado anteriormente. Dado que el alojamiento semicilíndrico presenta una sección transversal sustancialmente menor que la brida de superficie de contacto 156 por medio de la cual se une el LIA 1120 a los FTAS 122, el alojamiento 1154 incluye además nervaduras 1157 de refuerzo gradual. Las nervaduras de refuerzo presentan una forma gradual es decir que crece suavemente partiendo de la superficie de acceso 1401 hasta el borde superior de la brida de superficie de contacto 156. Las nervaduras 1157 de refuerzo están curvadas adicionalmente de conformidad con la envuelta cilíndrica de la superficie semicilíndrica 1155. Las nervaduras 1157 de refuerzo conectan la superficie de acceso 1401 a la brida de superficie de contacto 156 y por tanto refuerzan y aumentan la rigidez de la unión del alojamiento 1154 a la brida de superficie de contacto 156. Por tanto, las nervaduras 1157 de refuerzo garantizan una transmisión de fuerzas y pares de torsión más precisa desde un ISA mediante el LIA 1120 a los FTAS 122. Puede observarse que también se proporcionan nervaduras de refuerzo similares en el LIA 120 de la figura 14. La figura 25 muestra además un mecanismo de acoplamiento alternativo para el montaje de un adaptador de vástago de instrumento en el LIA 1120 y por tanto en la unidad 30 de efector. En el LIA 1120, tal como en el LIA 120, se forma un asiento 1130 como un rebaje semicilíndrico alargado cóncavo en la superficie de acceso 1401 para proporcionar el autocentrado de un adaptador en el eje de rotación de J6. Además, el mecanismo de acoplamiento comprende una pluralidad de dispositivos magnéticos 1423, dos en el lado del carro deslizante 1430 y uno en el otro lado del

asiento 1130, estando este último dispuesto en una elevación 1425 desde la superficie de acceso 1401. La elevación 1425 proporciona una limitación de retención adicional en una dirección axial a un adaptador montado y permite una colocación autoajustada en la dirección axial del adaptador mediante pendientes hacia la superficie de acceso 1401. Tal como se entenderá, los dispositivos magnéticos 1423, que pueden ser electroimanes, imanes permanentes o una combinación de ambos, garantizan la fijación de un ISA diseñado de manera correspondiente por medio de atracción magnética. Evitando una unión de acción rápida mecánica se elimina el riesgo de daño a una cubierta de plástico estéril utilizada para envolver el manipulador 14 o al menos la unidad 30 de efector.

La figura 25 ilustra una pluralidad de sensores de presencia inductivos 1431 para identificar un instrumento montado en la unidad 30 de efector por medio de un patrón de material identificable por inducción proporcionado en un ISA. Cuatro sensores de presencia inductivos 1431 están dispuestos en una fila y permiten distinguir e identificar 16 tipos de instrumento al utilizar un código binario (palabra de 4 bits) basándose en la presencia o ausencia de material conductor en una fila de ubicaciones correspondientes en el ISA orientadas hacia los sensores de presencia inductivos 1431. Además, los sensores de presencia inductivos 1431 también permiten la detección de presencia si se utiliza para ese fin el código de patrón (palabra de 4 bits) que corresponde a un instrumento ausente, es decir cuando ningún material conductor está orientado hacia ningún sensor inductivo 1431.

Un elemento de enganche 1433 se muestra por separado en la figura 25. El elemento de enganche 1433 es parte del mecanismo actuador que incluye el carro deslizante 1430 y presenta superficies de captura achaflanadas 1434 que conducen a una ranura para enganchar el pasador deslizante 314 de un ISA. Las superficies achaflanadas 1434 facilitan la inserción del pasador deslizante 314 de un ISA. Tal como se apreciará, el elemento de enganche 1433 puede desprenderse del carro deslizante 1430 y fabricarse de un material compatible con la esterilización. El elemento de enganche puede instalarse por tanto en el carro 1430 sólo después de que una envuelta estéril cubra el LIA 1120. Ya que el intervalo de movimiento del carro 1430 es limitado, no puede producirse ningún daño a la envuelta estéril.

La figura 26 muestra una realización alternativa de un ISA 1300 montado en el LIA 1120 de la figura 25. El ISA 1300 está diseñado para ser compatible con el diseño alternativo de LIA 1120 y se detallará a continuación en la presente memoria. El ISA 1300 está dimensionado de tal manera que su base está confinada a la superficie de acceso 1401. La función del ISA 1300 es la misma que la del ISA 300 mostrado en la figura 17, concretamente proporcionar una superficie de contacto que permite utilizar vástagos 302 de instrumentos laparoscópicos manuales convencionales en el manipulador de robot 14 sin pérdida de ninguna funcionalidad disponible en intervenciones manuales. La figura 26 también muestra un botón de conmutador 408 proporcionado en el LIA 1120 para conmutar el sistema a modo manual. El ISA 1300 está dotado de una palanca 1301 para su desmontaje manual sencillo, es decir, separar el ISA 1300 del LIA 1120. El ISA 1300 también presenta un conector eléctrico 1308 para conectar instrumentos eléctricos (por ejemplo instrumentos de coagulación o corte) directamente a una fuente de energía eléctrica sin cables que pasen a través del LIA 1120.

Tal como resulta evidente a partir de la figura 25 y 26, el diseño es de tal manera que todos los componentes del LIA 1120, incluyendo el alojamiento 1154, la brida 156, las nervaduras 1157 de refuerzo, el conjunto sensor FTAS 122 y todas las partes del ISA 1300 montado, incluyendo la palanca 1301, se encuentran situados dentro de la envuelta cilíndrica definida por la superficie semicilíndrica 1155. Esto es para reducir el riesgo de colisión y daño cuando se gira el LIA 1120 mediante J6. La figura 27 muestra un mecanismo actuador 1400 alternativo para comunicar movimiento lineal al carro deslizante 1430, diferente en cuanto al diseño del mecanismo de la figura 19. Comprende un motor sin cepillos en miniatura 1411 conectado mediante una caja de engranajes 1412 y un engranaje de tornillo sin fin o tornillo esférico 1420 a un elemento de tuerca 1422. El carro 1430 está fijado al elemento de tuerca 1422 por medio de un sensor de fuerza 1427. El sensor de fuerza 1427 permite medir fuerzas ejercidas por el carro 1430 sobre el pasador deslizante 314 y viceversa. También se apreciará que gracias a montar el carro deslizante 1430 en el lado del asiento longitudinal 1130, el motor 1411 y los engranajes conectados pueden disponerse en paralelo al eje longitudinal del ISA 1300 y del vástago 302. Esto permite minimizar la longitud total del LIA 1120 mediante lo cual se reducen los requisitos sobre la dinámica de actuador para determinadas juntas (por ejemplo J4). Además, se apreciará que este mecanismo actuador 1400 está optimizado con respecto a la producción de vibración perjudicial. Otros aspectos y ventajas del mecanismo de accionamiento 1400 sin similares a los del mecanismo 400 descrito anteriormente en la presente memoria.

La figura 28 muestra el lado inferior del ISA 1300 de la figura 26 cuando se desprende del LIA 1120. El ISA 1300 comprende una carcasa alargada 1303 con un conector de vástago 1304 en su extremo frontal (véase la figura 30). El conector de vástago 1304 permite la conexión de manera desprendible a un tipo de receptáculo 306 fijado al vástago 302 (sólo mostrado parcialmente) de un instrumento laparoscópico manual convencional siempre que se proporcione cualquier tipo de conexión desprendible. Por supuesto, el conector y el receptáculo pueden ubicarse respectivamente en el vástago y el ISA. De manera similar a la carcasa 303, la carcasa 1303 presenta una superficie semicilíndrica en su lado inferior para actuar conjuntamente con el asiento 1130. Tal como se observa en la figura 28, alas 1305 laterales sobresalen de ambos lados de la carcasa 1303. Las alas 1305 laterales presentan una superficie inferior plana que está conjugada a la superficie de acceso 1401 en el LIA 1120 (por ejemplo también a la elevación 1425). Se proporciona un espacio 1307 cortado en un ala 1305 encima del pasador deslizante 314 para proporcionar visibilidad y acceso, por ejemplo para mover manualmente el pasador deslizante 314 cuando el ISA

1300 está acoplado al LIA 1120. La figura 28 también muestra elementos ferromagnéticos planos 1311 dispuestos en cada ala 1305 en cada lado de la carcasa 1303. Los elementos ferromagnéticos 1311 forman medios de acoplamiento que actúan conjuntamente de manera respectiva con un dispositivo magnético 1423 correspondiente en el LIA 1120 tal como se muestra en la figura 25. En la región 1313, se proporciona un patrón identificable por inducción en el ISA 1300 para identificar, por medio de los sensores inductivos 1431 mostrados en la figura 25, el instrumento que se utiliza. En esta realización mostrada en la figura 25 una placa metálica completa corresponde a una palabra de 4 bits dada (por ejemplo 1111 ó 0000) mientras que en otros adaptadores pueden proporcionarse huecos, por ejemplo perforando orificios en una o más de las posiciones orientadas hacia los sensores inductivos 1431 para proporcionar una palabra de bits diferente para su identificación.

La figura 29 muestra el ISA 1300 de la figura 28 en vista parcialmente desmantelada. Tal como se observa en la figura 29, el ISA 1300 presenta un hueco interno que sirve como guía 1312 cilíndrica para un pistón 310 de un determinado instrumento laparoscópico manual. El pistón 310 se utiliza normalmente en el instrumento manual para comunicar movimiento desde el mango del instrumento hacia el árbol guiado en el vástago 302. Se apreciará que el pistón existente de un instrumento manual puede disponerse para deslizarse en la guía 1312. Tal como se observa en la figura 28, se proporciona un orificio pasante oblongo 1315 en la carcasa 1303 permitiendo al pasador deslizante 314 unido transversalmente al pistón 310 sobresalir de la carcasa 1303 y desviarse hacia delante y hacia atrás en la dirección axial de la carcasa 1303 para manipular el pistón 310. El pistón 310 mostrado en la figura 29 es una parte original de un instrumento bipolar manual, utilizado para proporcionar energía eléctrica bipolar al instrumento y para bloquear/desbloquear el instrumento.

La figura 30 es para ilustrar que puede utilizarse el mismo tipo de adaptador para adaptarse a diferentes pistones de diferentes tipos de instrumentos laparoscópicos comercialmente disponibles para una intervención manual, por ejemplo el pistón 1310 para un instrumento manual monopolar tal como se muestra en la figura 30. Se desprende que los adaptadores tales como el ISA 1300 (o ISA 300) permiten utilizar las partes esenciales de cualquier instrumento manual comercialmente disponible relativamente económico en el manipulador de robot 14. La figura 29 también muestra una de las dos espigas 1317 de la palanca 1301 y el árbol 1319 sobre las que pivota. Empujando hacia abajo la palanca 1301, las espigas 1317 levantan la superficie inferior, y en particular los elementos ferromagnéticos 1311, del ISA 1300 alejándose de la superficie de acceso 1401 del LIA 1120 de tal manera que el ISA 1300 puede desmontarse manualmente en una dirección perpendicular al eje de rotación de J6 es decir el eje del vástago de instrumento.

Además de los aspectos descritos anteriormente en la presente memoria, el sistema quirúrgico robótico 10 presenta además las siguientes características:

- los manipuladores de robot 14, gracias a su diseño, pueden retraerse rápida y fácilmente para permitir al cirujano S acceder a la mesa 12 de operaciones o para permitir la instalación de un instrumento radiológico;
- los manipuladores de robot 14, gracias a su diseño y utilizando información de un sensor externo, pueden adaptarse fácilmente sin aumento significativo del tiempo de intervención a variaciones angulares de la mesa 12 de operaciones durante la intervención, para la orientación de (anti-) Trendelenburg (-/+20-35 grad.) o para la orientación lateral del paciente;
- los manipuladores de robot 14, gracias a su diseño y utilizando información de un sensor externo, pueden gestionar fácilmente variaciones de posición del trocar debidas a cambios de la presión intraabdominal;
- el sistema quirúrgico robótico 10 permite tiempos de cambio de instrumentos cortos con el fin de minimizar el tiempo total de intervención, el diseño del LIA 120; 1120 y el manipulador de robot 14 permite tiempos de cambio de instrumento esencialmente tan cortos como en procedimientos de laparoscopia manuales (que oscilan desde 6 hasta 9 segundos), cuando se utilizan con un endoscopio, el diseño del manipulador de robot 14 también permite una rápida extracción y reinserción de endoscopio, por ejemplo para limpiar la óptica;
- el sistema quirúrgico robótico 10 permite un ajuste rápido y sencillo del sistema, incluyendo la configuración de una pluralidad de manipuladores de robot 14 alrededor de la mesa 12 de operaciones;
- el manipulador de robot 14 está diseñado de manera versátil con el fin de ser adecuado para una variedad de aplicaciones como cirugía mínimamente invasiva, ortopedia, biopsia, terapia percutánea, recogida de piel, diagnósticos por ultrasonidos, etc.

REIVINDICACIONES

1. Sistema quirúrgico robótico para realizar procedimientos médicos mínimamente invasivos que comprende un manipulador de robot (14) para el manejo asistido por robot de un instrumento laparoscópico (18), presentando dicho manipulador de robot un brazo de manipulador (26), una muñeca de manipulador (28) soportada por dicho brazo de manipulador y una unidad de efector (30) soportada por dicha muñeca de manipulador, en el que:
- dicho brazo de manipulador (26) proporciona tres grados de libertad por medio de una primera junta (J1), una segunda junta (J2) y una tercera junta (J3), presentando cada una un actuador (51, 61, 71), para posicionar robóticamente dicha muñeca;
- dicha muñeca de manipulador (28) proporciona dos grados de libertad por medio de una cuarta junta (J4) y una quinta junta (J5), siendo dichas cuarta y quinta juntas unas juntas de revolución y presentando un actuador (81, 101) asociado, para fijar robóticamente el ángulo de guiñada y el ángulo de cabeceo de dicha unidad de efector respectivamente;
- dicha unidad de efector (30) comprende un actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120) y proporciona un grado de libertad por medio de una sexta junta de revolución (J6) que presenta un actuador (141) asociado para fijar robóticamente el ángulo de balanceo de dicho actuador de instrumento laparoscópico;
- dicho actuador de instrumento laparoscópico comprende un asiento (130; 1130) con un mecanismo de acoplamiento (406; 1423) asociado para montar un adaptador de vástago de instrumento (300; 1300) en dicha unidad de efector, y un mecanismo actuador (400; 1400) que coopera con dicho adaptador de vástago de instrumento para accionar un instrumento laparoscópico conectado a dicho adaptador,
- dicha unidad de efector (30) está configurada de tal manera que el eje de rotación de dicha sexta junta de revolución (J6) coincida con el eje longitudinal de un instrumento laparoscópico cuando se monta en dicha unidad de efector por medio de dicho adaptador de vástago de instrumento; y
- dicha unidad de efector comprende un conjunto sensor (122) que incluye un sensor de fuerza/par de torsión de seis grados de libertad (GDL) y un acelerómetro de seis grados de libertad, conectando dicho conjunto sensor (122) dicho actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120) a dicha sexta junta de revolución (J6).
2. Sistema quirúrgico robótico según la reivindicación 1, en el que dicha unidad de efector (30) está configurada de tal manera que un eje de sensor de dicho sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL (122) y un eje de sensor de dicho acelerómetro (122) de 6 GDL coincide con el eje de rotación de dicha sexta junta.
3. Sistema quirúrgico robótico según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120) comprende un alojamiento (154; 1154) con una superficie de acceso (401; 1401) en la que está dispuesto dicho asiento (130; 1130), una brida de superficie de contacto (156) que une dicho alojamiento a dicho conjunto sensor (122) y unas nervaduras de refuerzo (1157) gradual que conectan dicha superficie de acceso a dicha brida de superficie de contacto para reforzar la rigidez de unión de dicho alojamiento a dicha brida de superficie de contacto.
4. Sistema quirúrgico robótico según la reivindicación 3, en el que dicho alojamiento (1154) es semicilíndrico y presenta una superficie sustancialmente semicilíndrica (1155) opuesta a dicha superficie de acceso (1401), estando dicha superficie semicilíndrica de conformidad con una envuelta cilíndrica de 50 a 135 mm, preferiblemente de aproximadamente 90 mm de diámetro y coaxial al eje de rotación de dicha sexta junta (J6) y en el que dicho alojamiento (1154), dicha brida (156), dichas nervaduras de refuerzo (1157) y dicho conjunto sensor (122) están dimensionados para ajustarse en dicha envuelta cilíndrica.
5. Sistema quirúrgico robótico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho asiento comprende un rebaje alargado esencialmente semicilíndrico (130; 1130) dispuesto, esencialmente coaxial al eje de rotación de dicha sexta junta (J6), en una superficie de acceso (401; 1401) de dicho actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120), estando configurados dicho asiento y dicho mecanismo de acoplamiento para montar y desmontar un adaptador de vástago de instrumento (300; 1300) mediante movimiento perpendicular al eje de rotación de dicha sexta junta (J6).
6. Sistema quirúrgico robótico según la reivindicación 5, en el que dicho mecanismo de acoplamiento comprende al menos un dispositivo magnético (1423), en particular imanes permanentes y/o electroimanes, dispuestos respectivamente en cada lado de dicho rebaje semicilíndrico (1130) para sujetar un adaptador de vástago de instrumento (300; 1300) a dicho actuador de instrumento laparoscópico por medio de atracción magnética.
7. Sistema quirúrgico robótico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho mecanismo actuador (400; 1400) comprende un carro deslizante (430; 1430) configurado para recibir de manera enganchada y para deslizar linealmente un pasador deslizante (314) de un adaptador de vástago de instrumento (300; 1300)

montado en dicha unidad de efector, siendo dicho asiento (130; 1130) preferiblemente alargado a lo largo del eje de rotación de dicha sexta junta y estando dispuesto dicho carro deslizante (430; 1430) preferiblemente lateralmente a dicho asiento.

- 5 8. Sistema quirúrgico robótico según la reivindicación 7, en el que dicho mecanismo actuador (400; 1400) comprende un sensor de fuerza (1427), que conecta dicho carro deslizante (430; 1430) a unos medios de accionamiento, para medir las fuerzas ejercidas por dicho carro deslizante o sobre el mismo.
- 10 9. Sistema quirúrgico robótico según la reivindicación 7 u 8, en el que dicho carro deslizante (1430) comprende un elemento de enganche (1433) que puede desprenderse de dicho carro deslizante y presenta superficies de captura achaflanadas (1434) para engancharse con dicho pasador deslizante (314).
- 15 10. Sistema quirúrgico robótico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120) comprende un detector de presencia (404; 1431) para detectar si un adaptador de vástago de instrumento (300; 1300) está correctamente montado en dicha unidad de efector, en particular, una pluralidad de sensores de presencia inductivos (1431) para identificar un instrumento montado en dicha unidad de efector (30) por medio de un patrón (1313) identificable por inducción previsto en el adaptador de vástago de instrumento.
- 20 11. Sistema quirúrgico robótico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema está configurado para funcionar en un modo manual, en el que dicho actuador de instrumento laparoscópico puede posicionarse y orientarse por dicho manipulador robótico utilizando información leída por dicho sensor de fuerza/par de torsión de 6 GDL, y que comprende además unos medios de conmutación (408) dispuestos en dicho actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120) para conmutar dicho sistema al modo manual.
- 25 12. Adaptador de vástago de instrumento laparoscópico (300; 1300) montado en un manipulador de robot (14) en un sistema quirúrgico robótico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, para utilizar un vástago (302) de un instrumento laparoscópico manual en dicho manipulador robótico, comprendiendo dicho adaptador una carcasa alargada (303; 1303) que presenta un conector de vástago (304; 1304) dispuesto en un extremo frontal y unos medios de acoplamiento (308; 1311) dispuestos lateralmente en dicha carcasa, estando configurado dicho conector de vástago (304; 1304) para su conexión desprendible a un vástago de instrumento laparoscópico manual (302), y cooperando dichos medios de acoplamiento (308; 1311) con el mecanismo de acoplamiento (406; 1423) en el actuador de instrumento laparoscópico de dicho manipulador robótico.
- 30 13. Adaptador de vástago de instrumento laparoscópico según la reivindicación 12, en el que dichos medios de acoplamiento (308; 1311) comprenden una superficie semicilíndrica, estando conformada dicha superficie a un rebaje semicilíndrico del asiento (130; 1130) en el actuador de instrumento laparoscópico (120; 1120) de dicho manipulador de robot para centrar el adaptador de vástago de instrumento (300; 1300) en el eje de rotación de dicha sexta junta.
- 35 40 14. Adaptador de vástago de instrumento laparoscópico según la reivindicación 12 ó 13, que comprende un hueco cilíndrico interno a modo de guía (312; 1303) para un pistón (310; 1310) de un instrumento laparoscópico manual, que puede disponerse para deslizarse en dicha guía, y un orificio pasante (1315) para un pasador deslizante (314) unido transversalmente a dicho pistón y que sobresale desde dicha carcasa para hacer funcionar el pistón.
- 45 15. Adaptador de vástago de instrumento laparoscópico según una de las reivindicaciones 12 a 14, en el que dichos medios de acoplamiento comprenden al menos un elemento ferromagnético (1311) dispuesto en cada lado de dicha carcasa (1303), actuando dichos elementos ferromagnéticos conjuntamente, respectivamente, con un dispositivo magnético (1423) correspondiente del mecanismo de acoplamiento en dicho actuador de instrumento laparoscópico para sujetar dicho adaptador de vástago de instrumento a dicho actuador de instrumento laparoscópico por medio de atracción magnética y en el que dicho adaptador de vástago de instrumento comprende una palanca (1301) para desprender dicho adaptador (1300) de dicho actuador de instrumento laparoscópico.
- 50 16. Adaptador de vástago de instrumento laparoscópico según una de las reivindicaciones 12 a 15, que comprende además un patrón (1313) identificable por inducción previsto en el adaptador de vástago de instrumento para identificar un instrumento montado en dicho adaptador.
- 55 17. Adaptador de vástago de instrumento laparoscópico según una de las reivindicaciones 12 a 16, que comprende además un conector eléctrico (308; 1308) dispuesto opuesto a dichos medios de acoplamiento para transmitir energía eléctrica a un instrumento conectado a dicho conector de vástago.
- 60

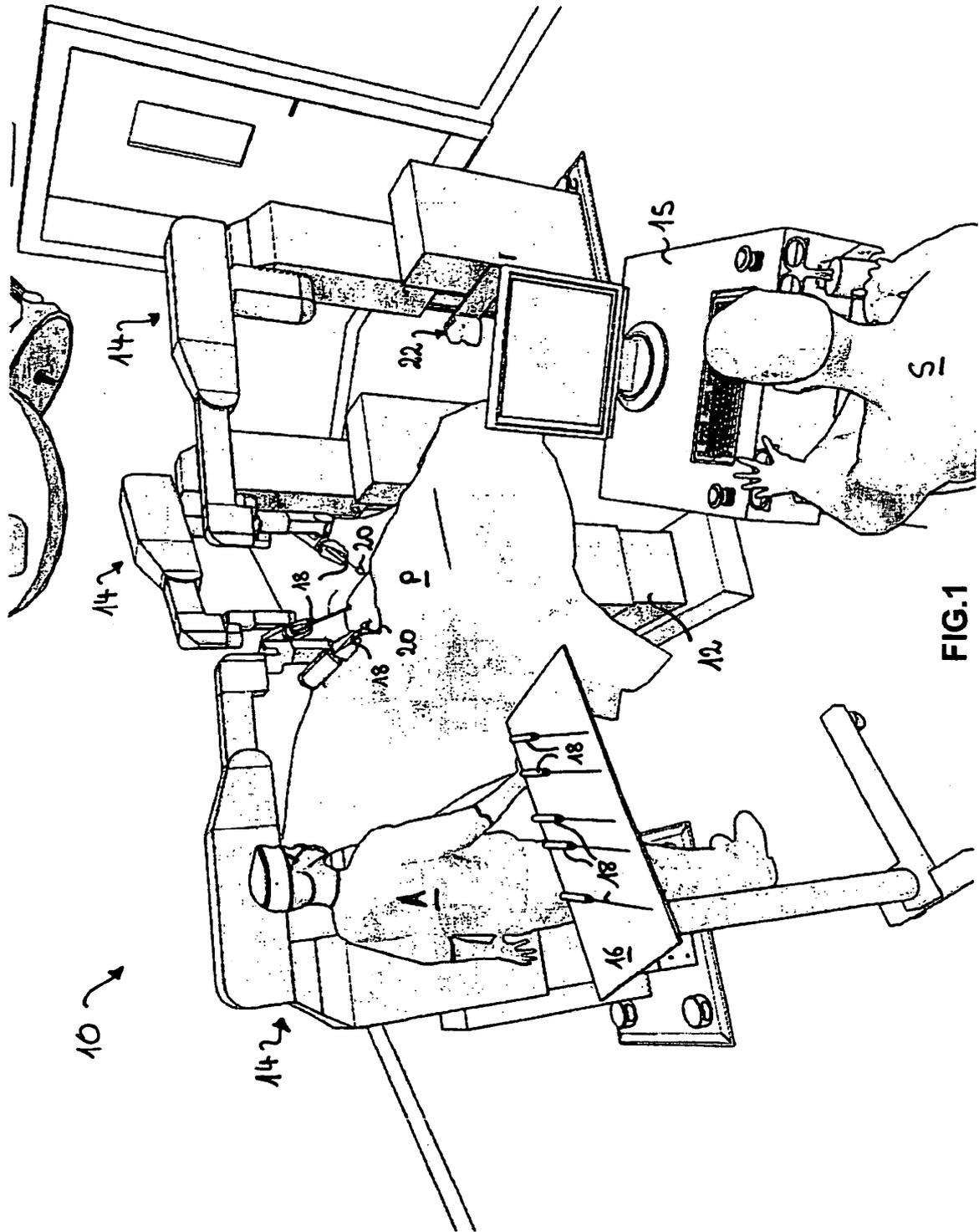


FIG.1

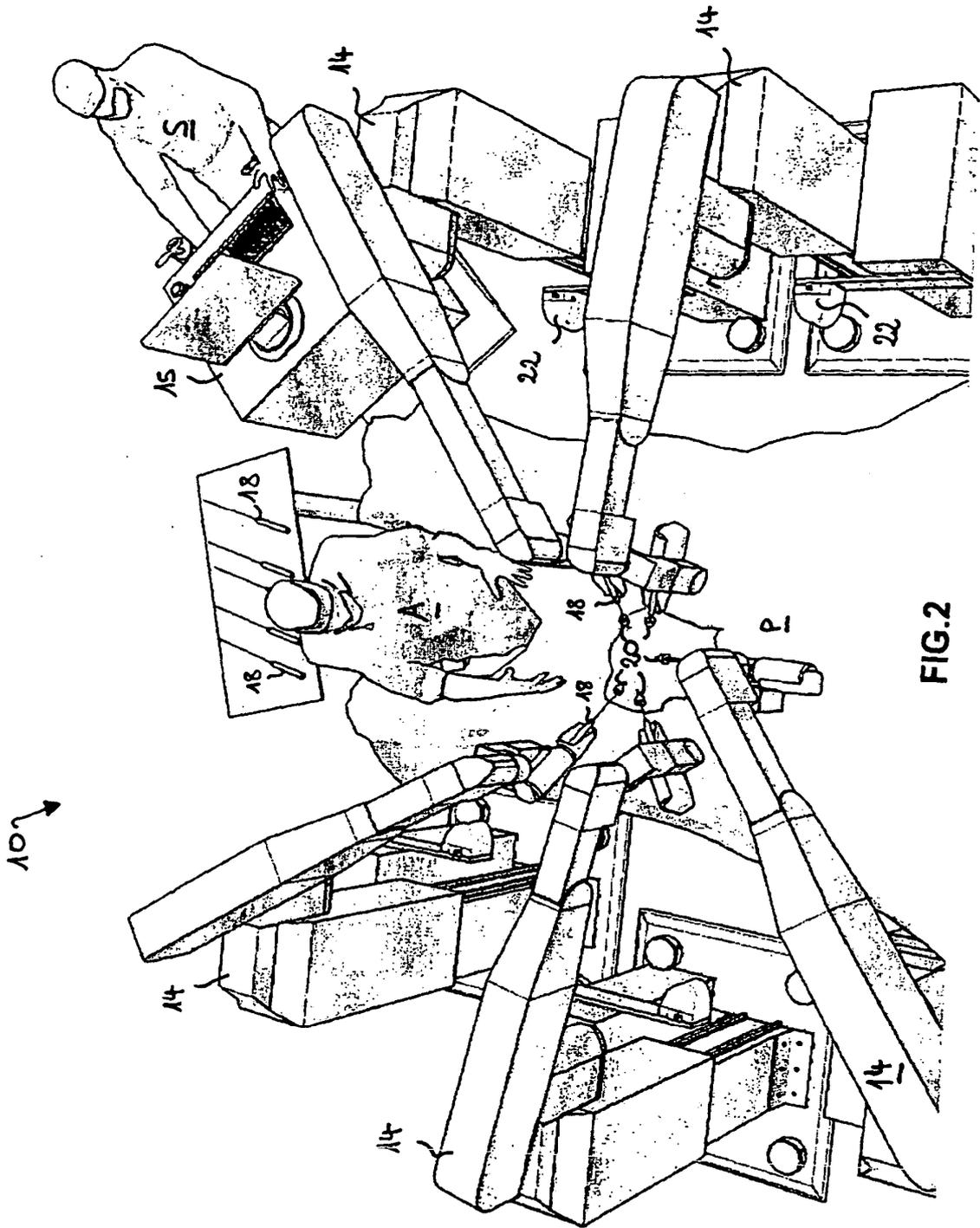


FIG.2

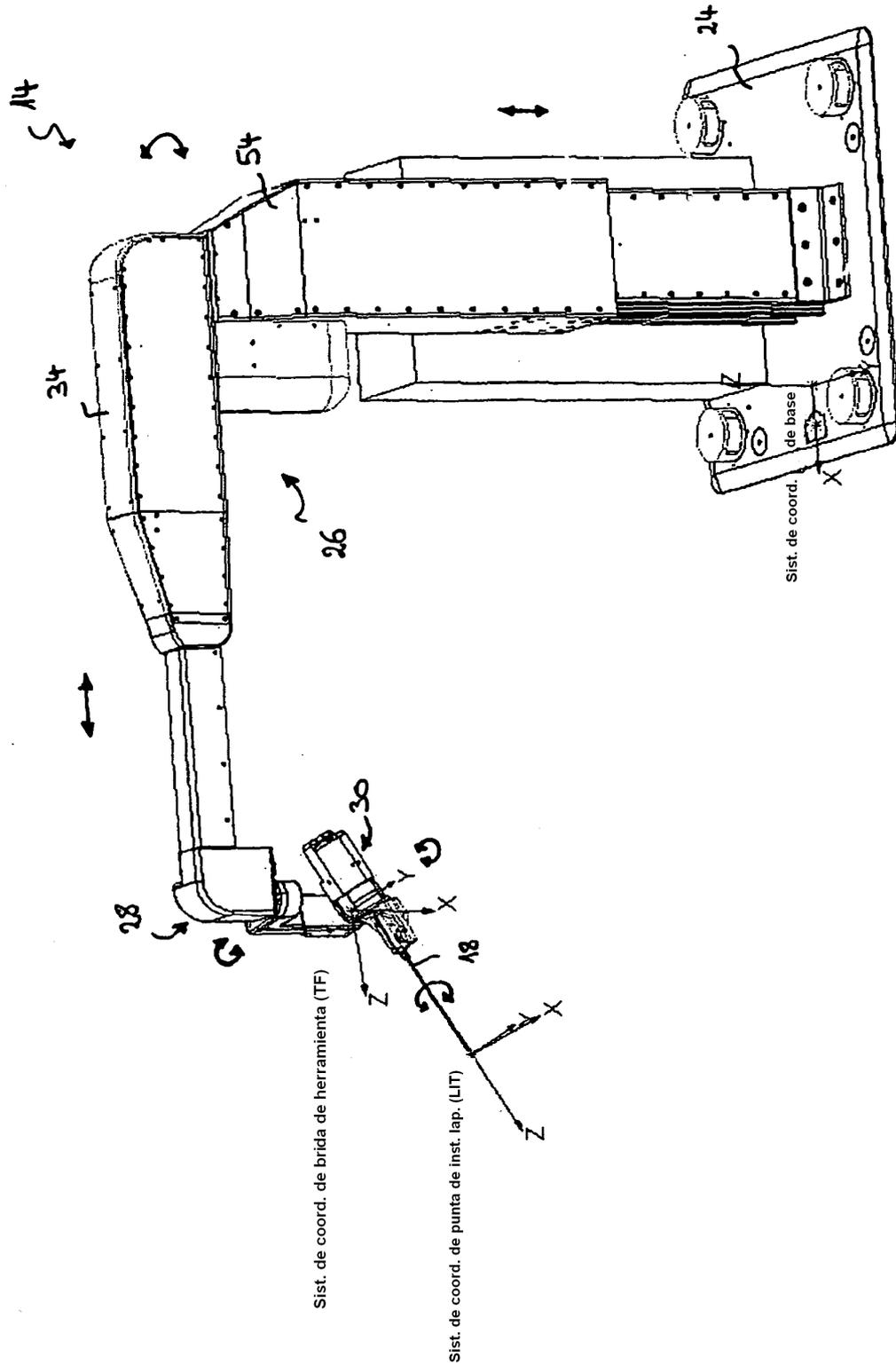


FIG.3

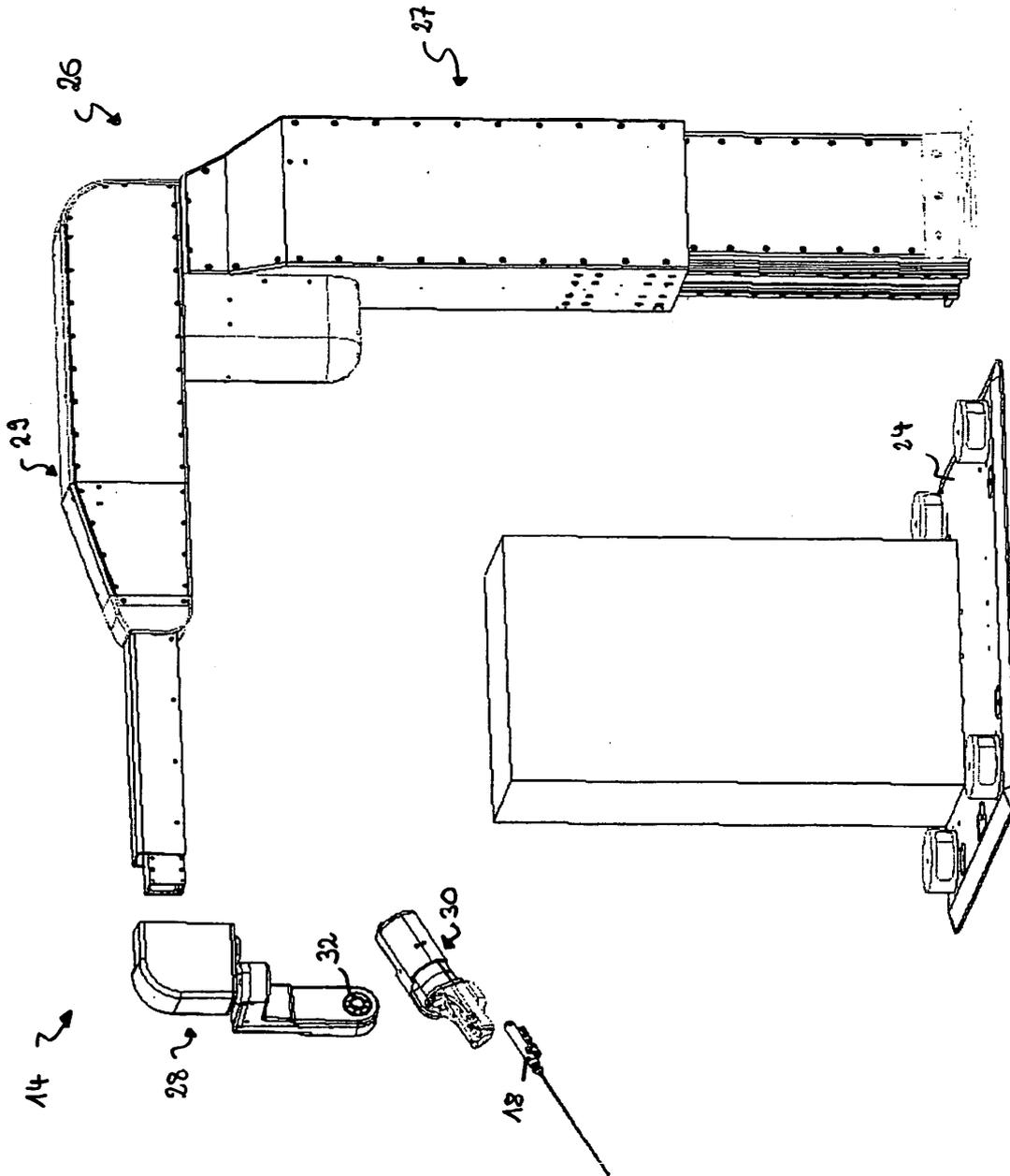


FIG.4

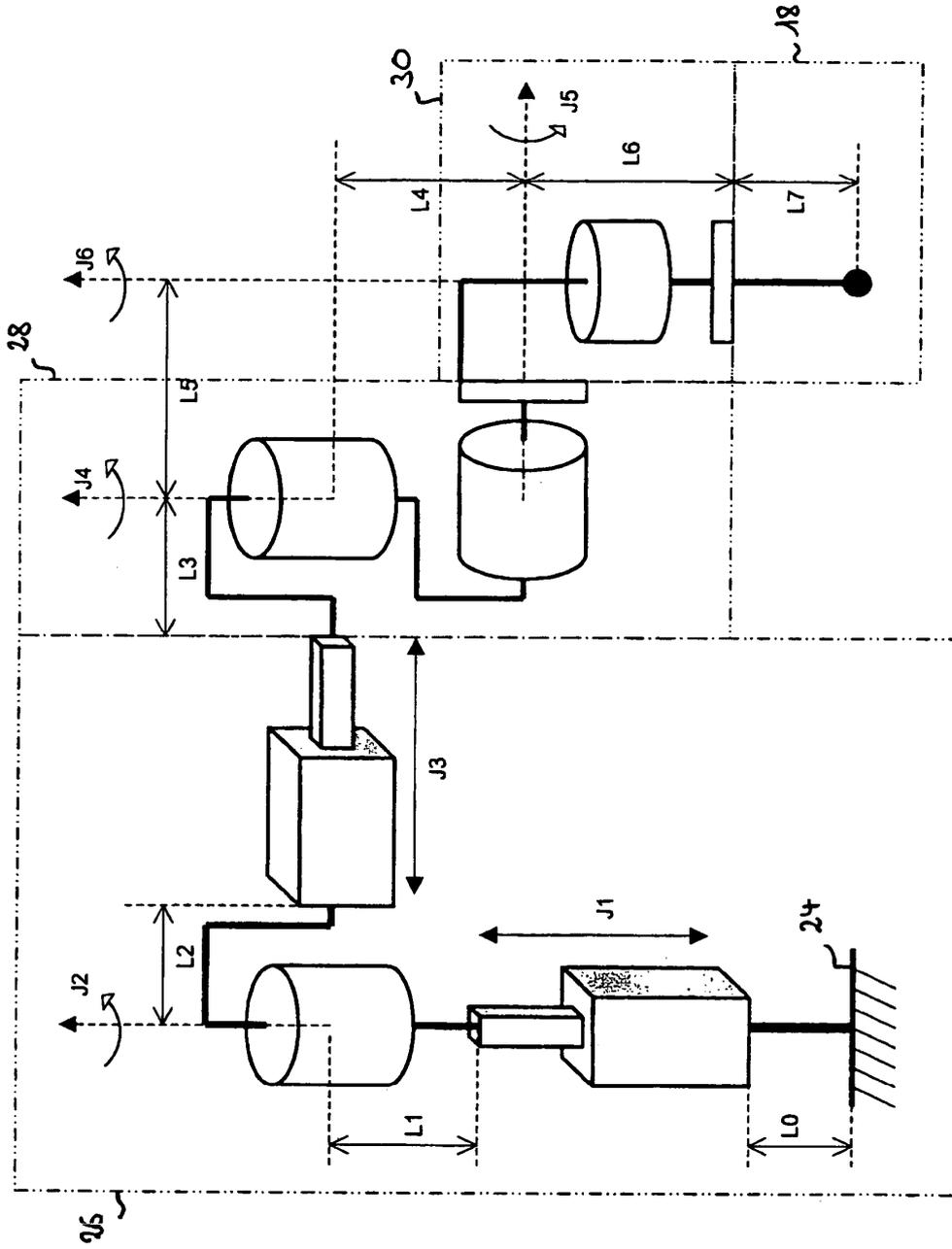
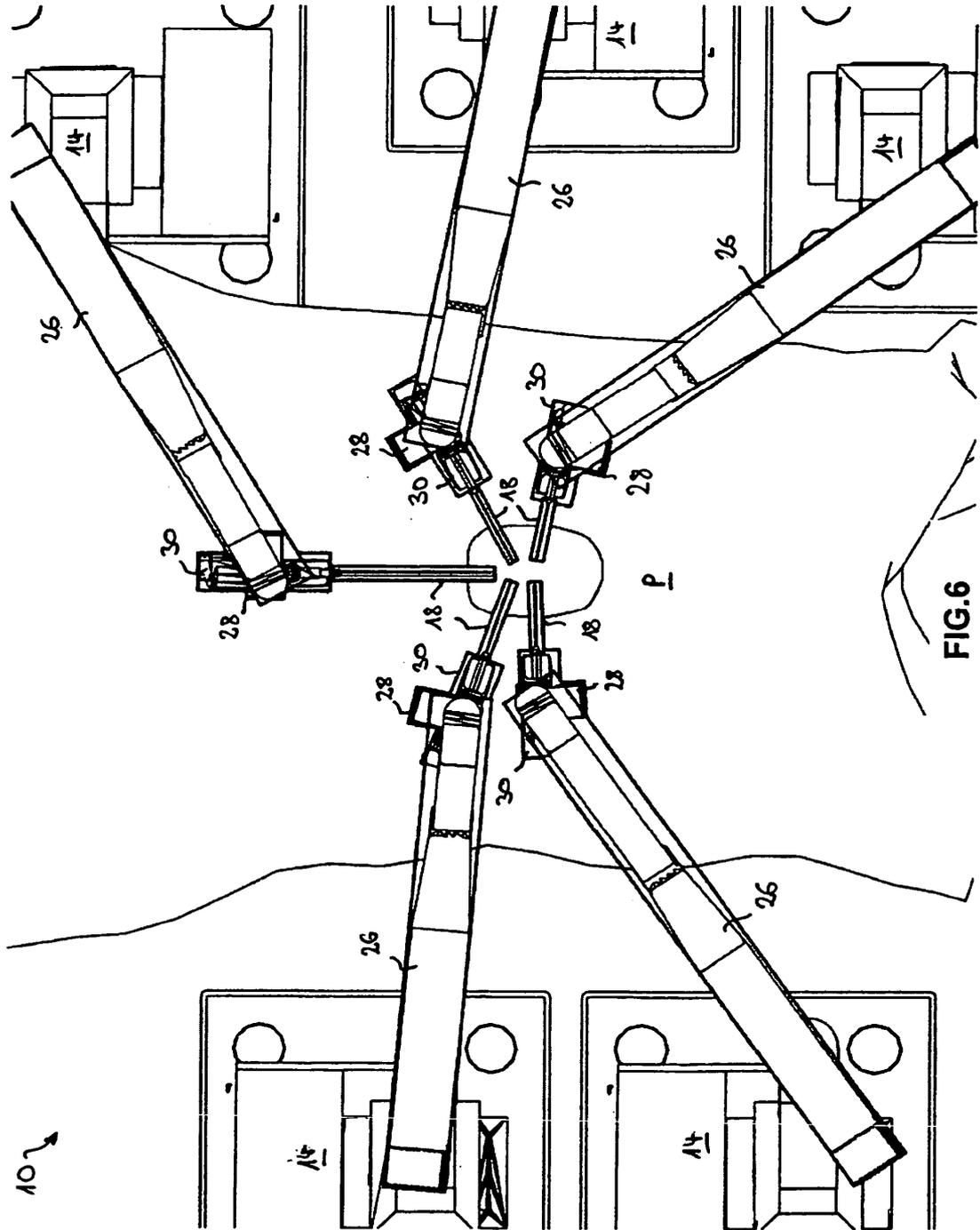


FIG.5



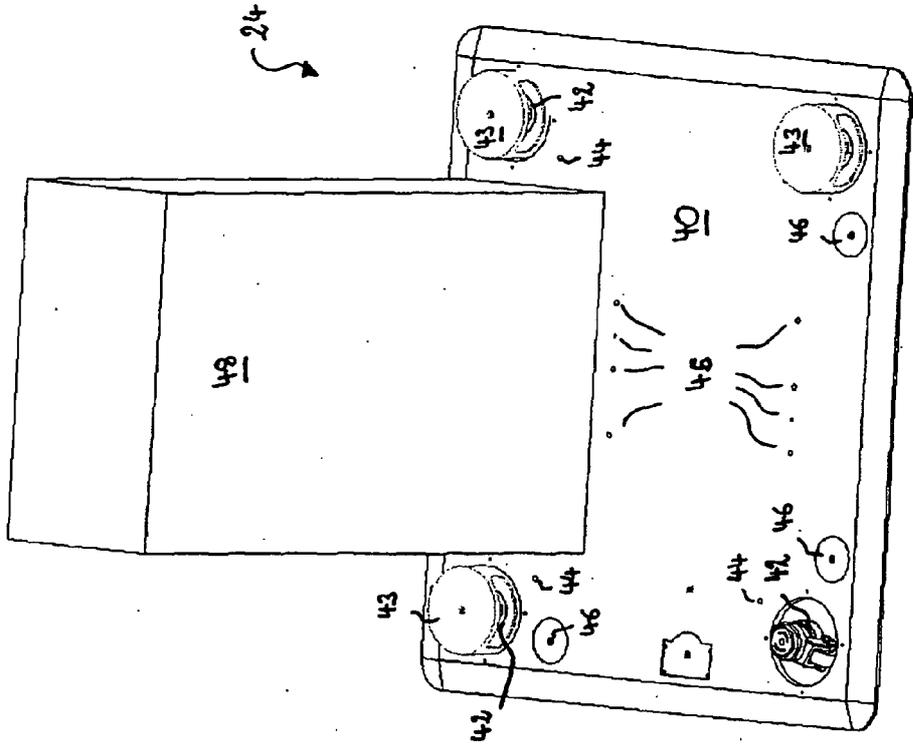


FIG.7

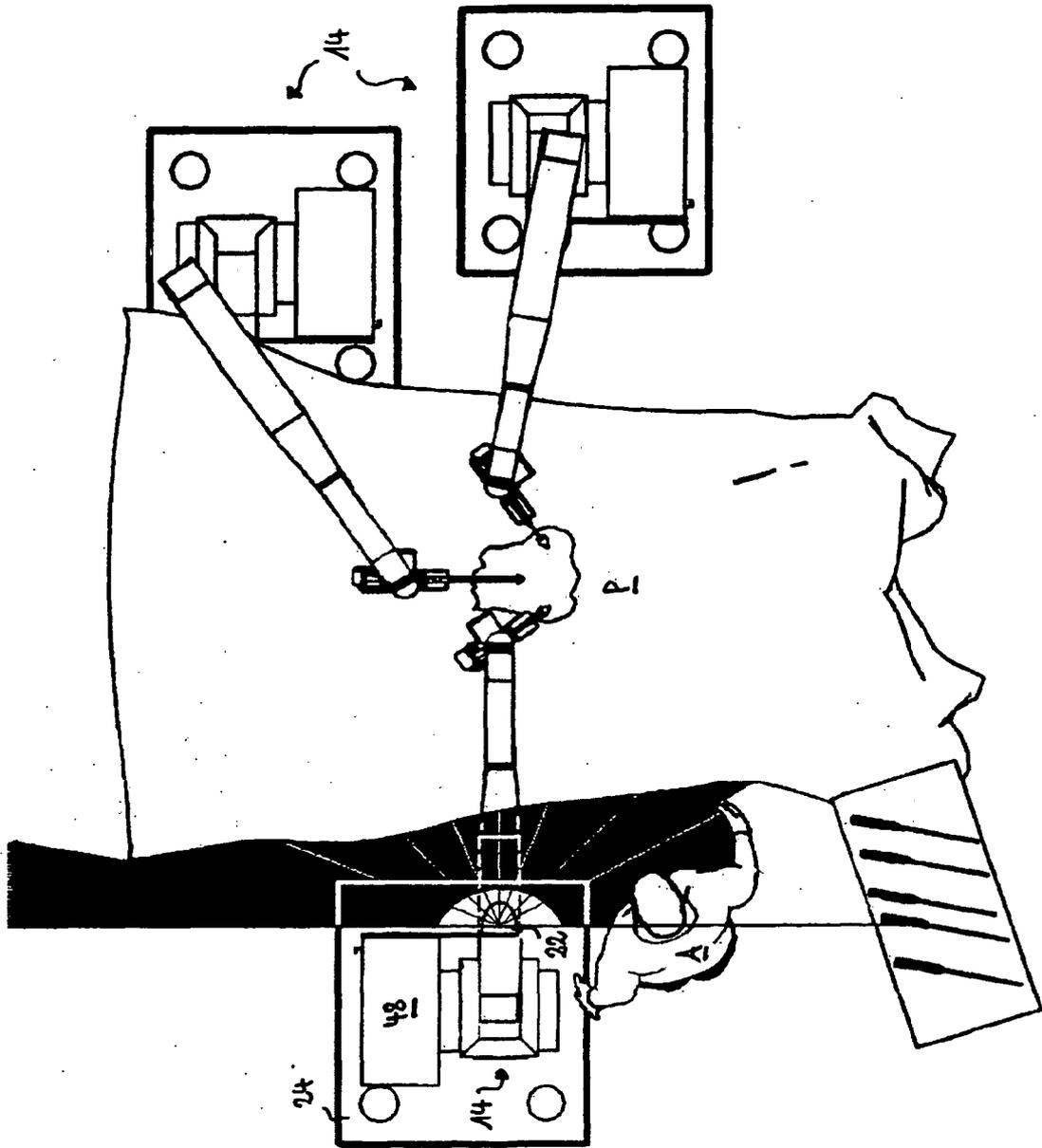


FIG.8

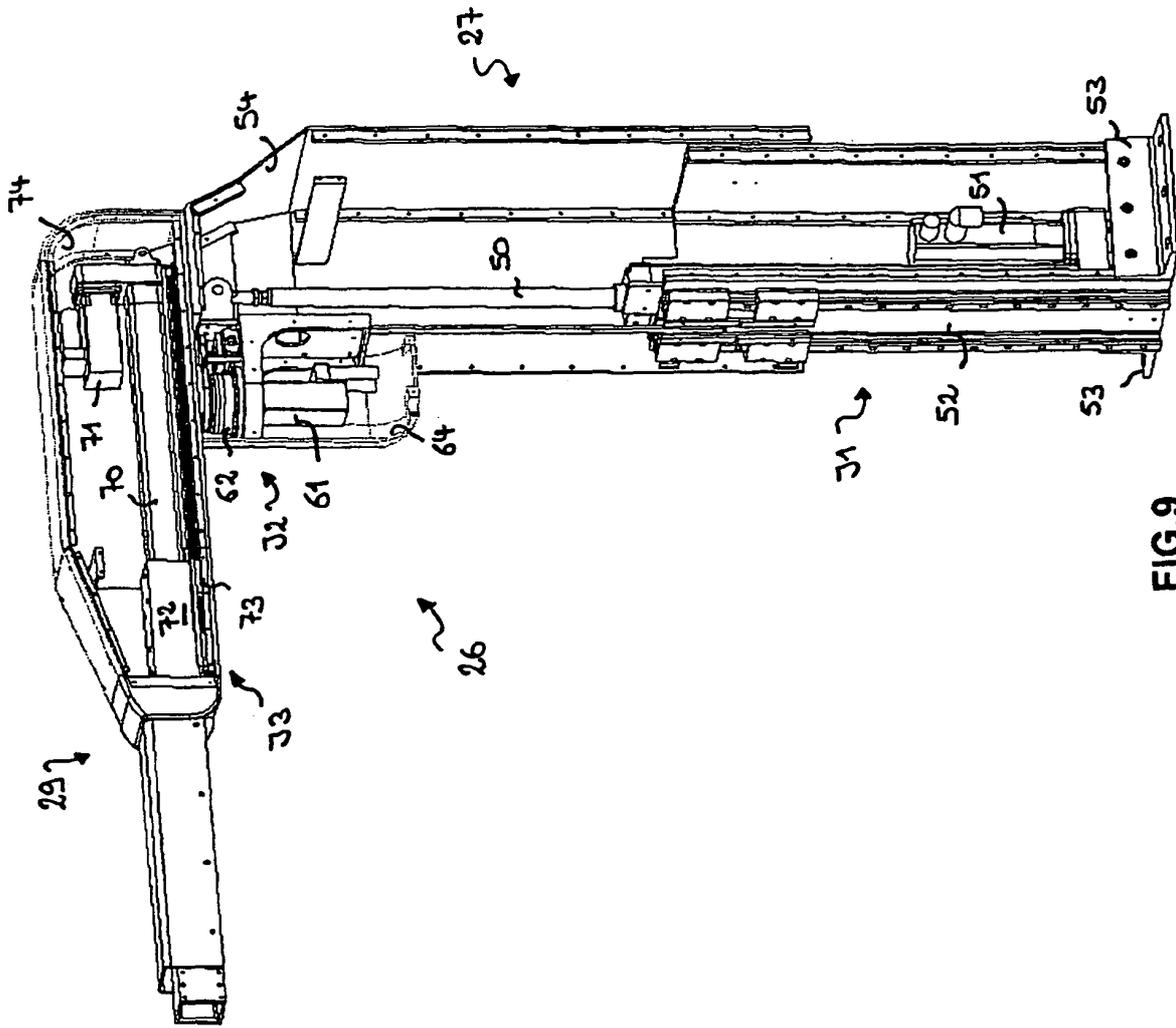
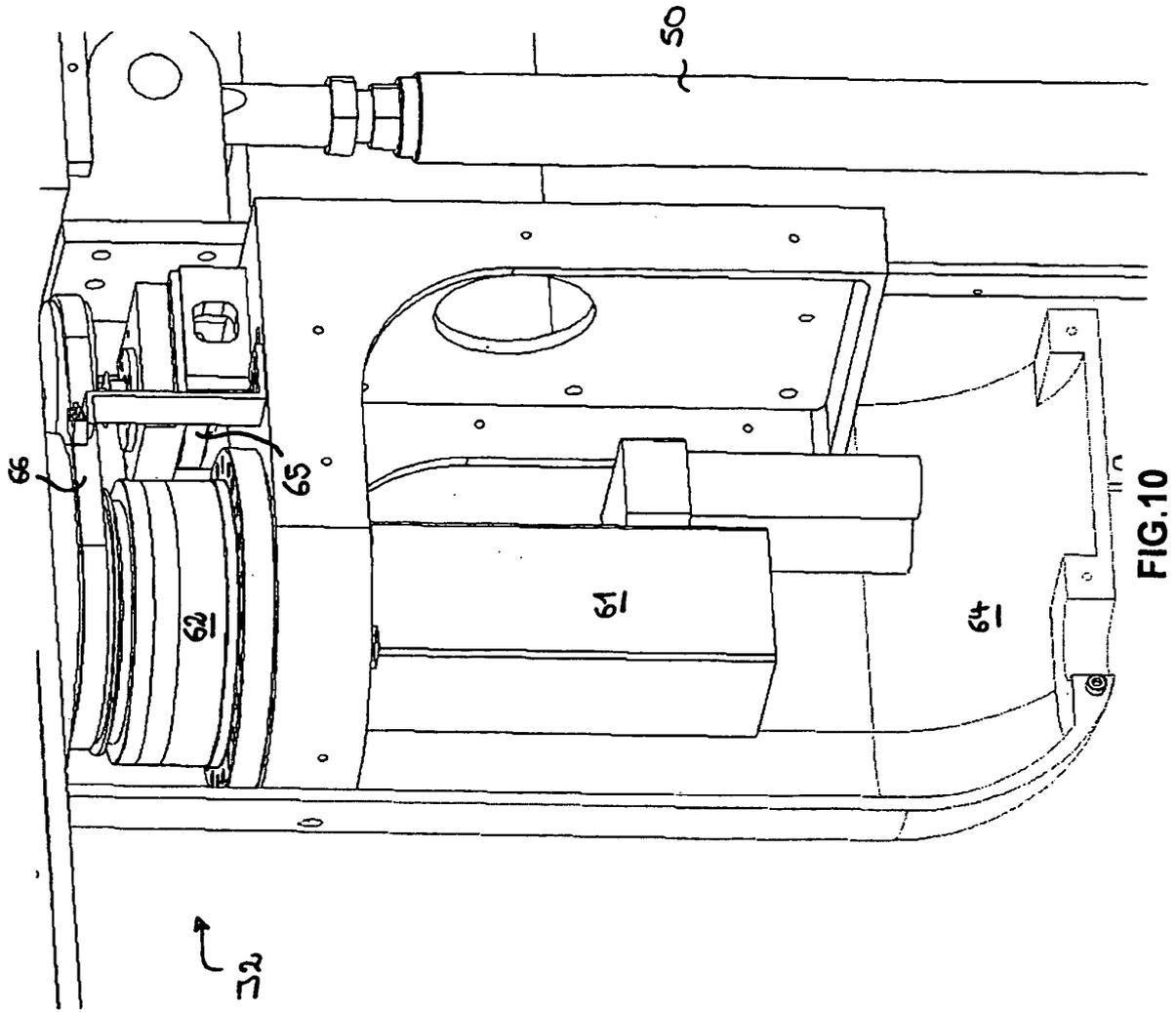


FIG.9



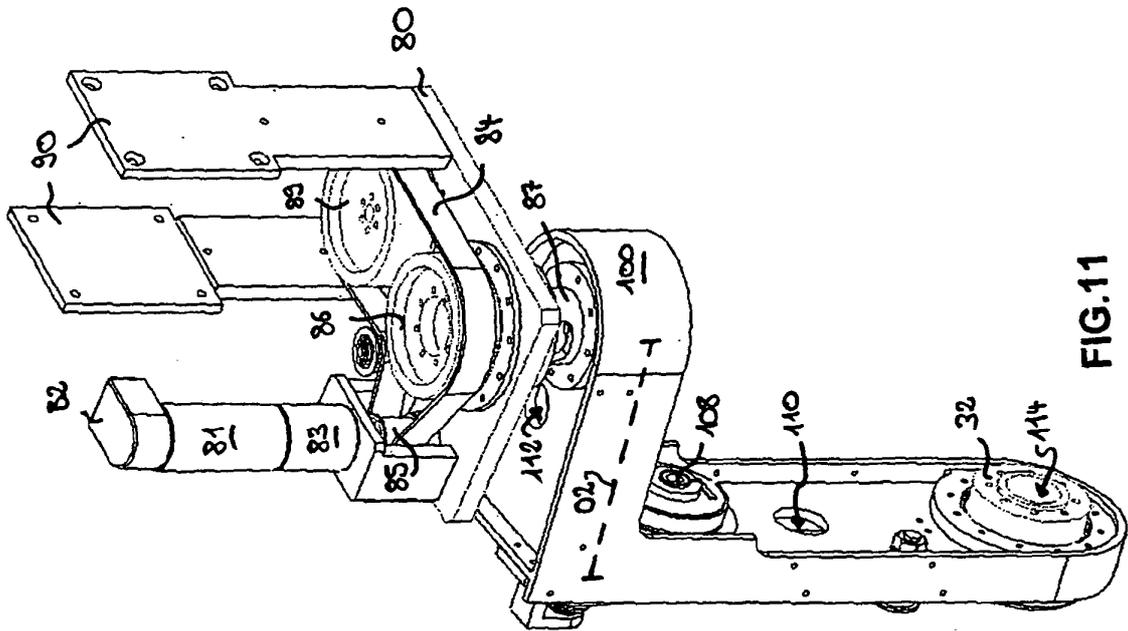


FIG.11

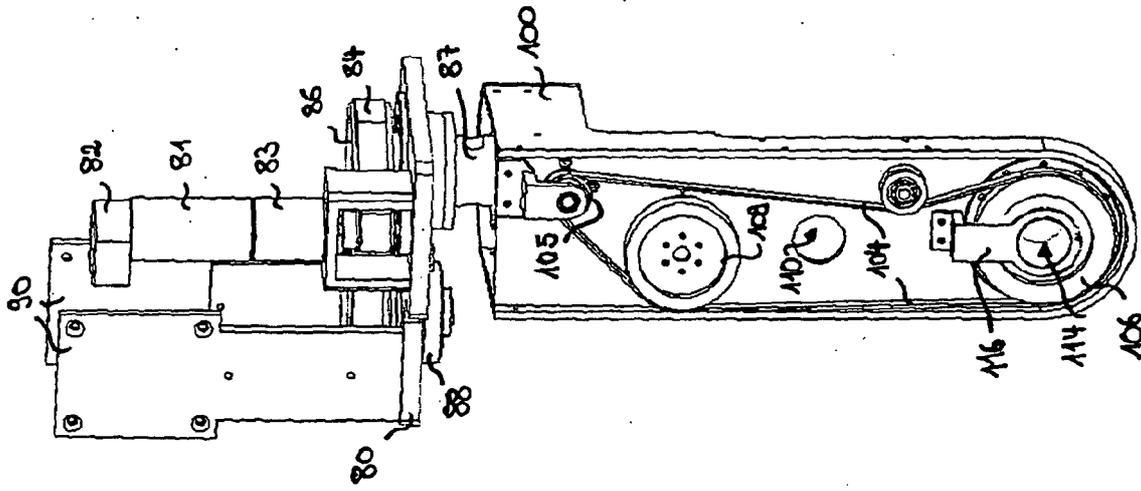


FIG.12

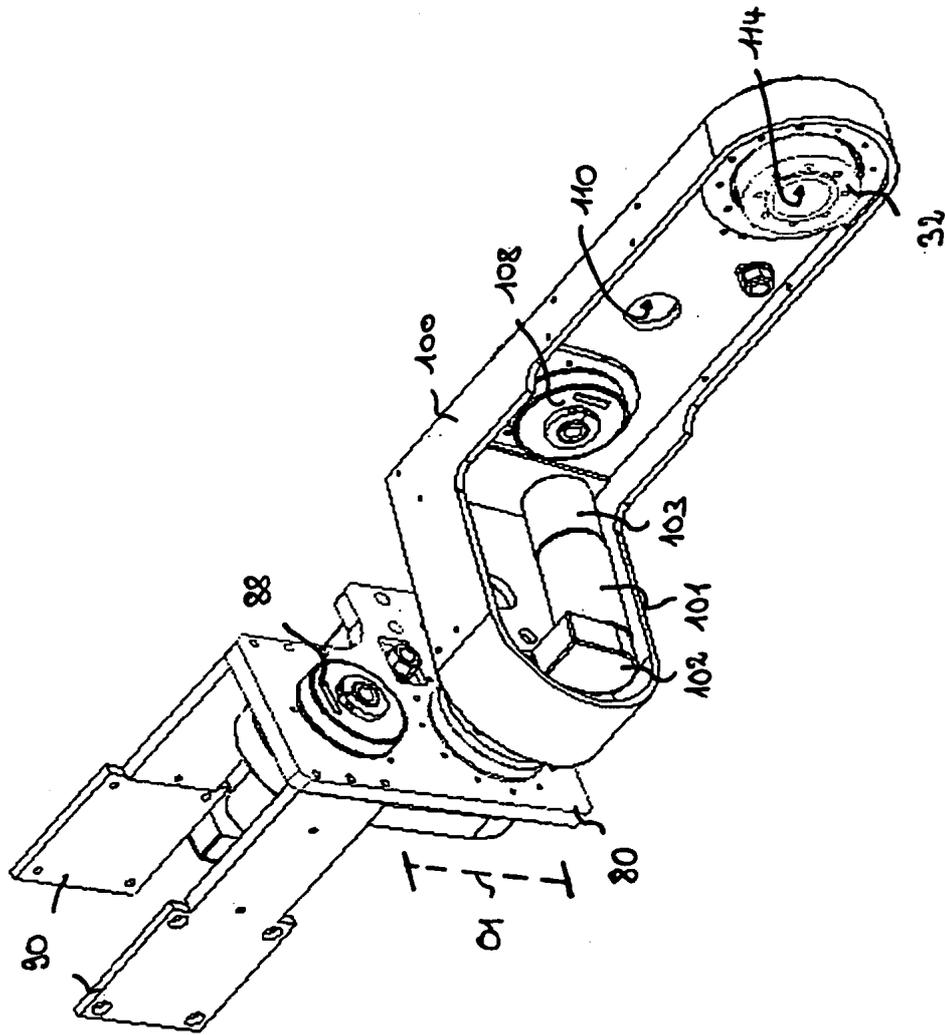


FIG.13

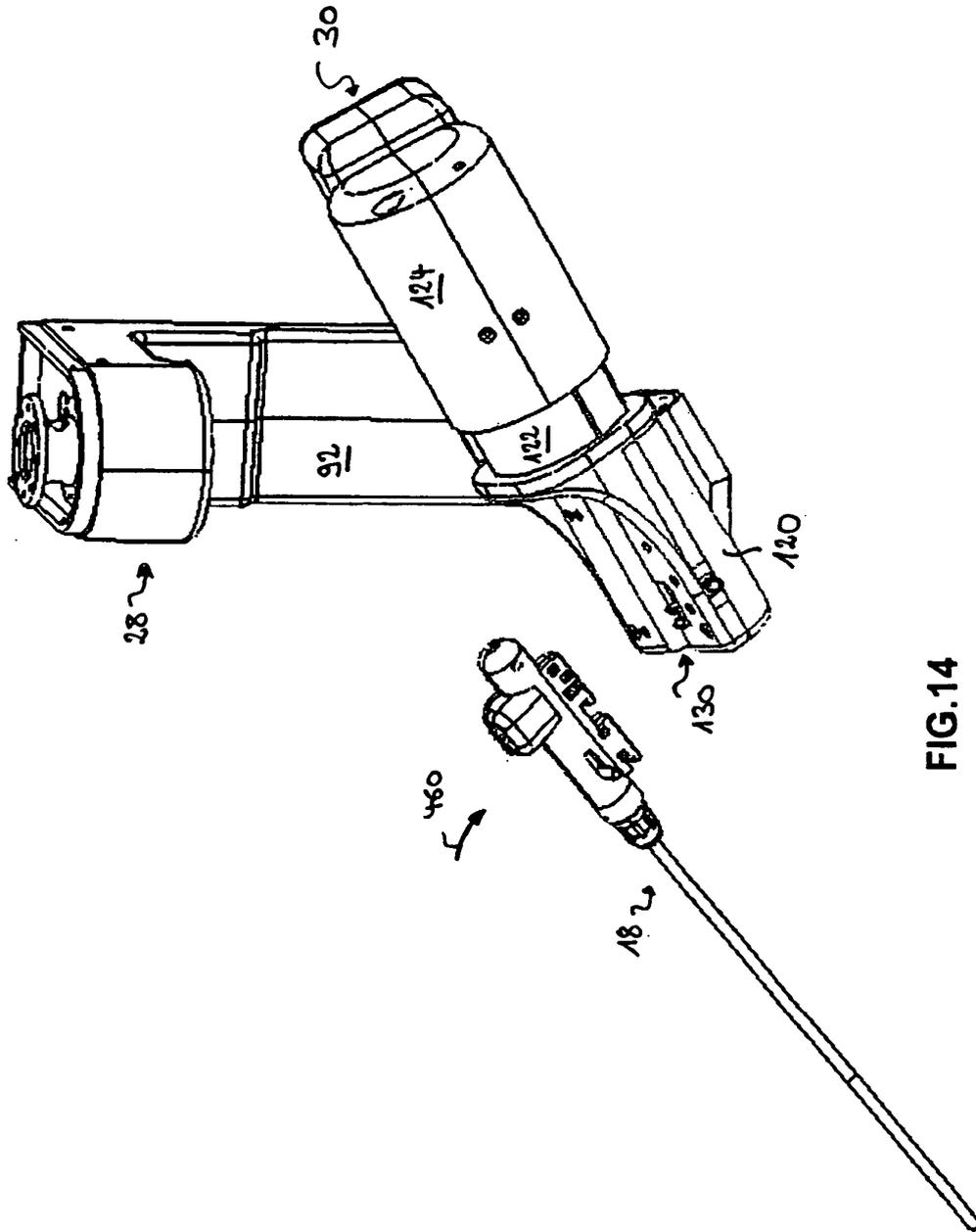


FIG.14

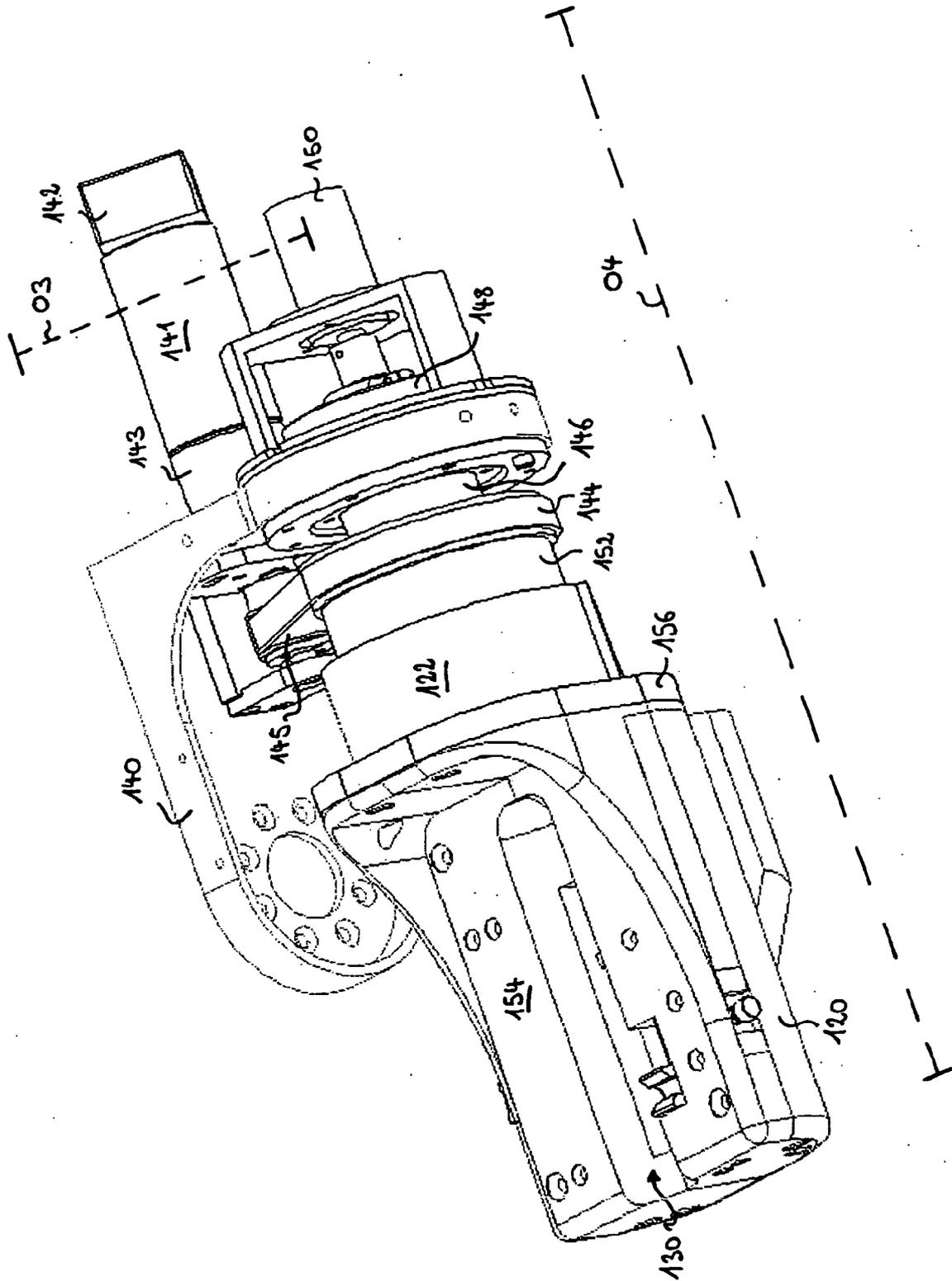


FIG.15

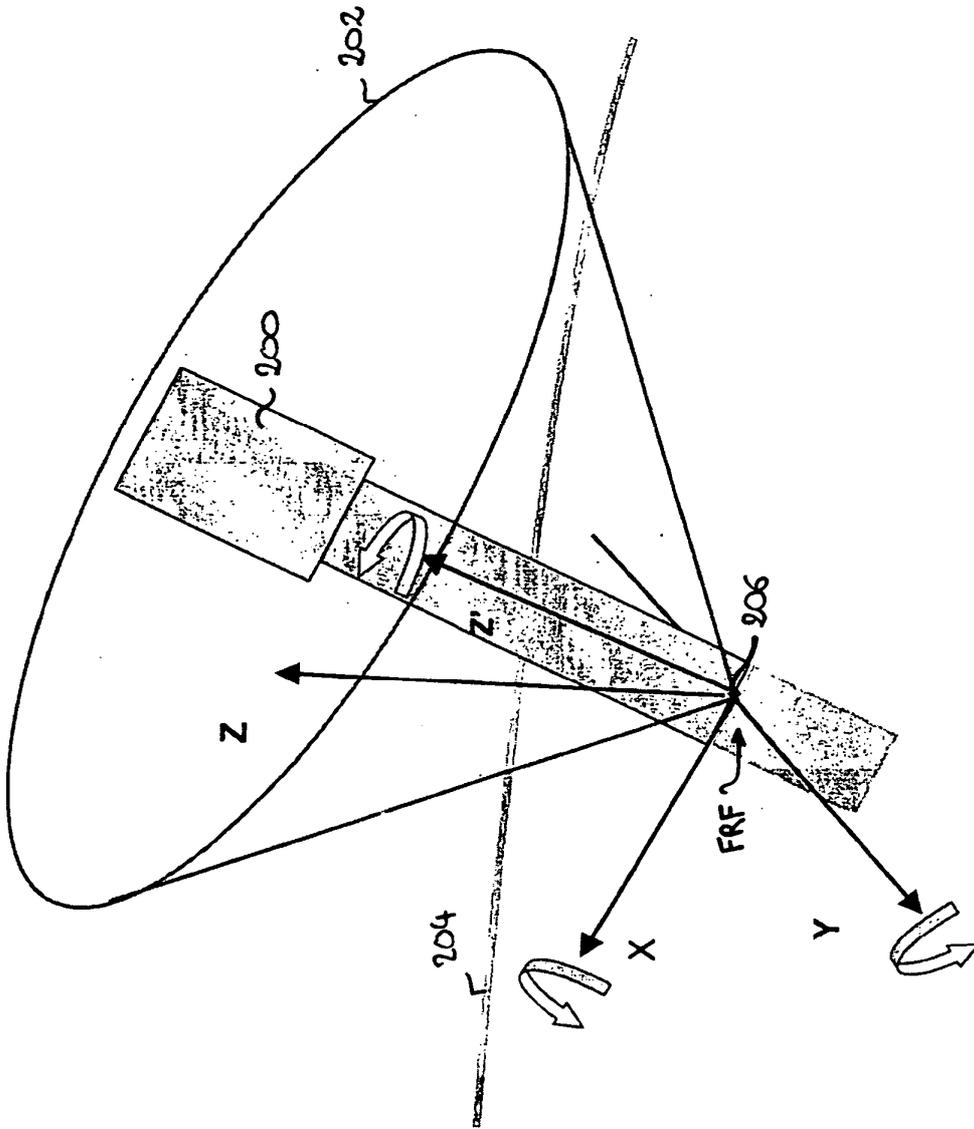


FIG.16

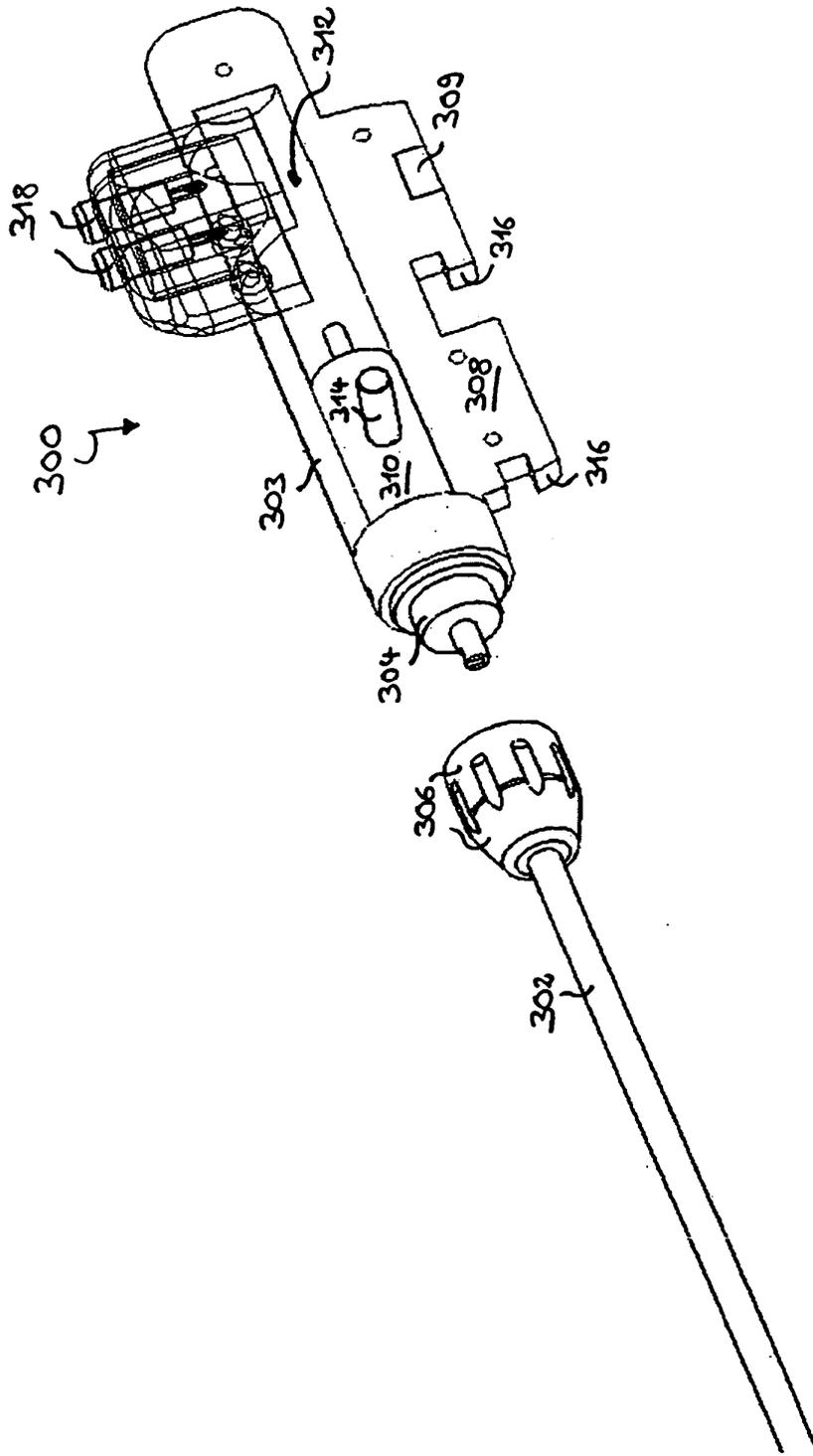


FIG.17

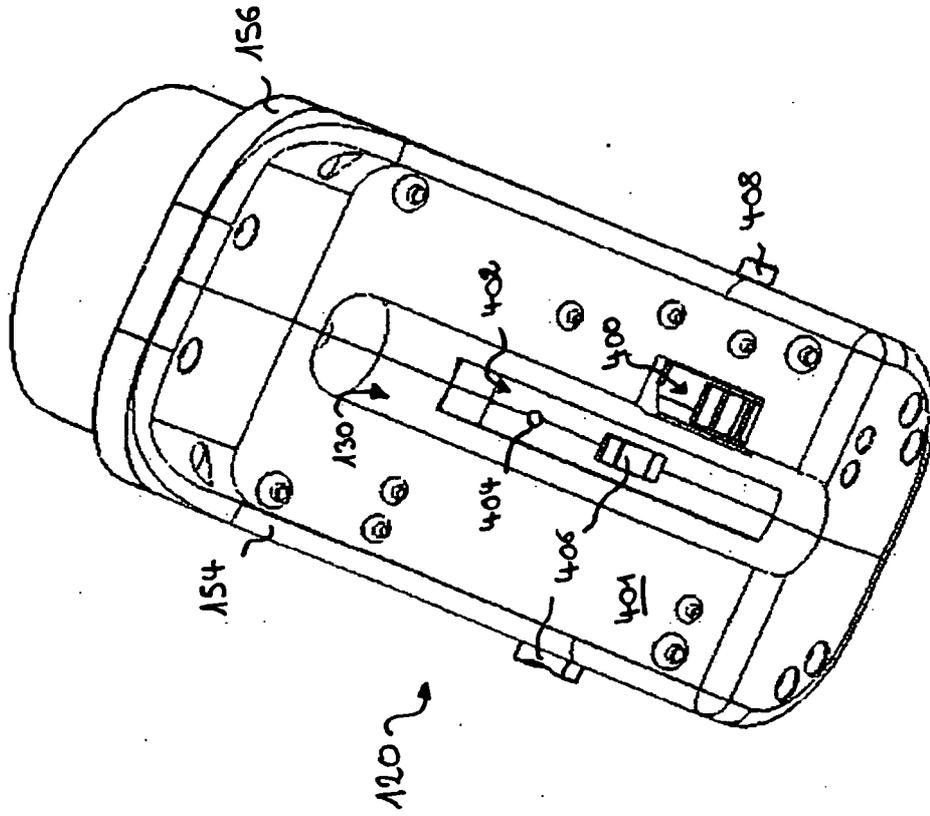


FIG.18

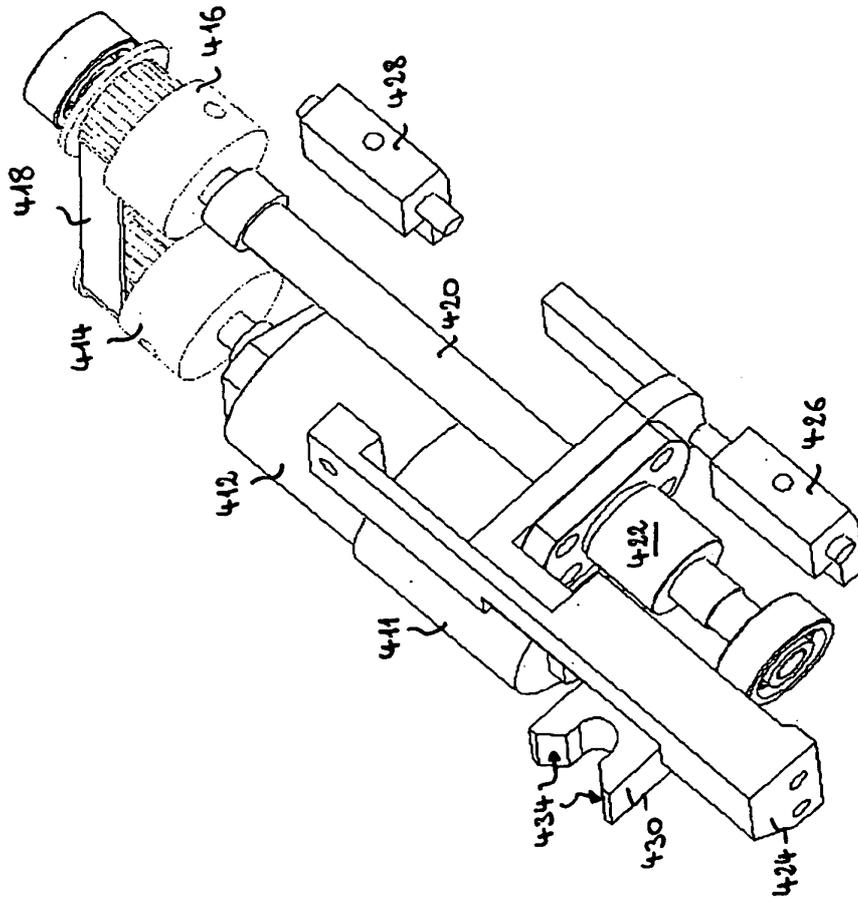


FIG.19

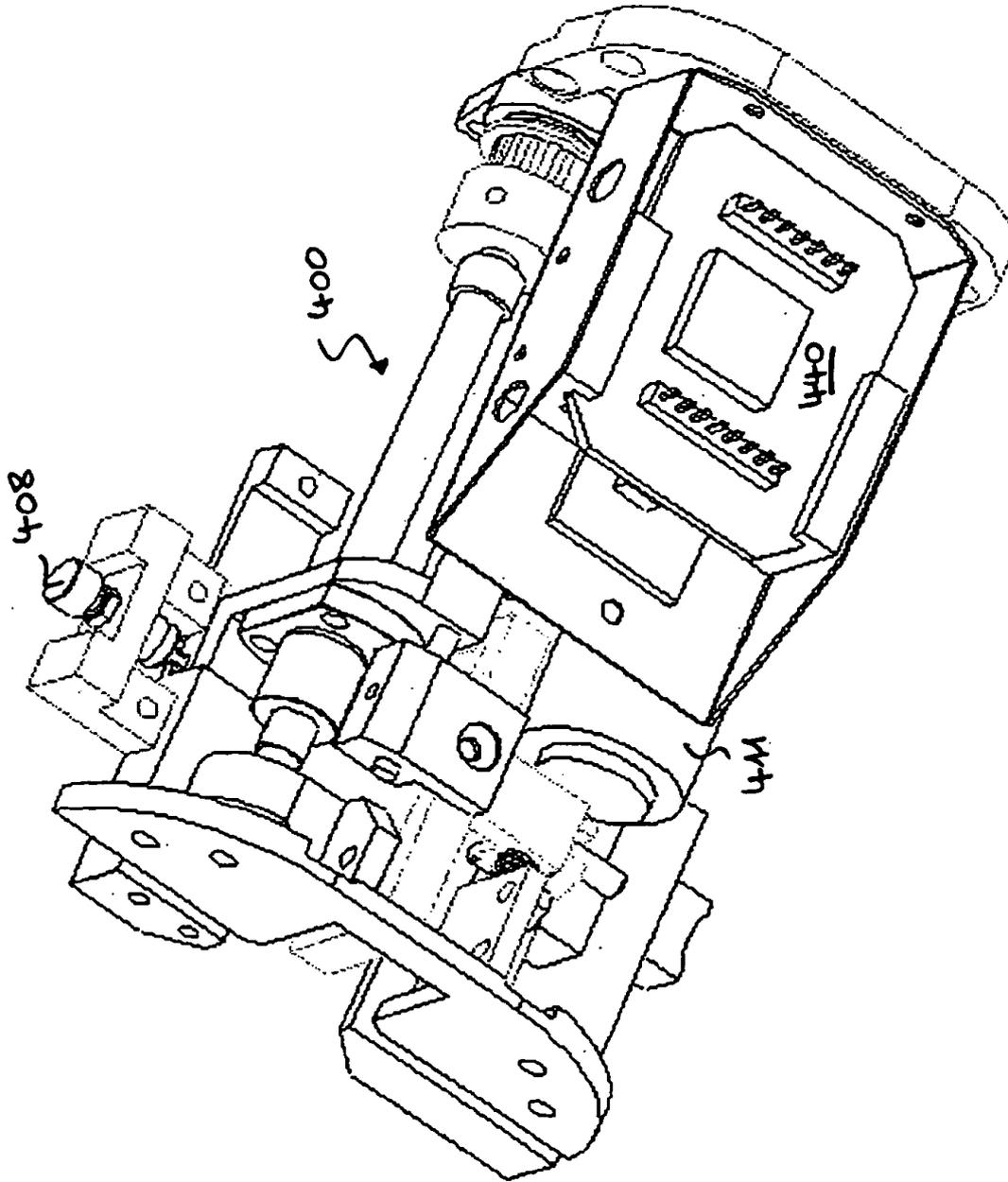


FIG.20

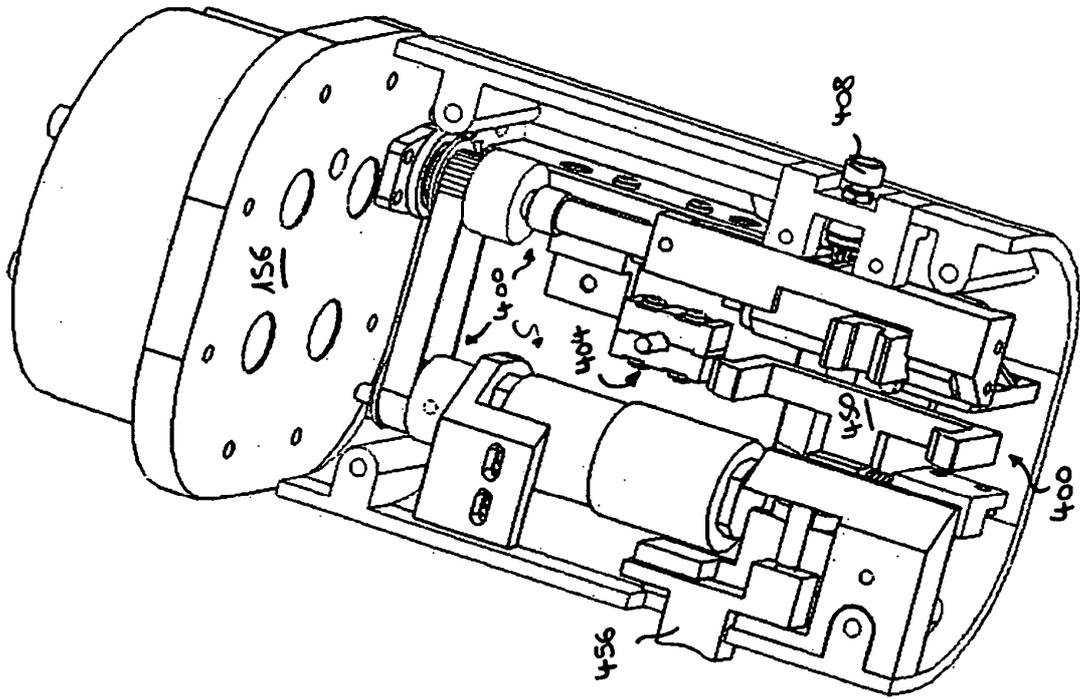


FIG.21

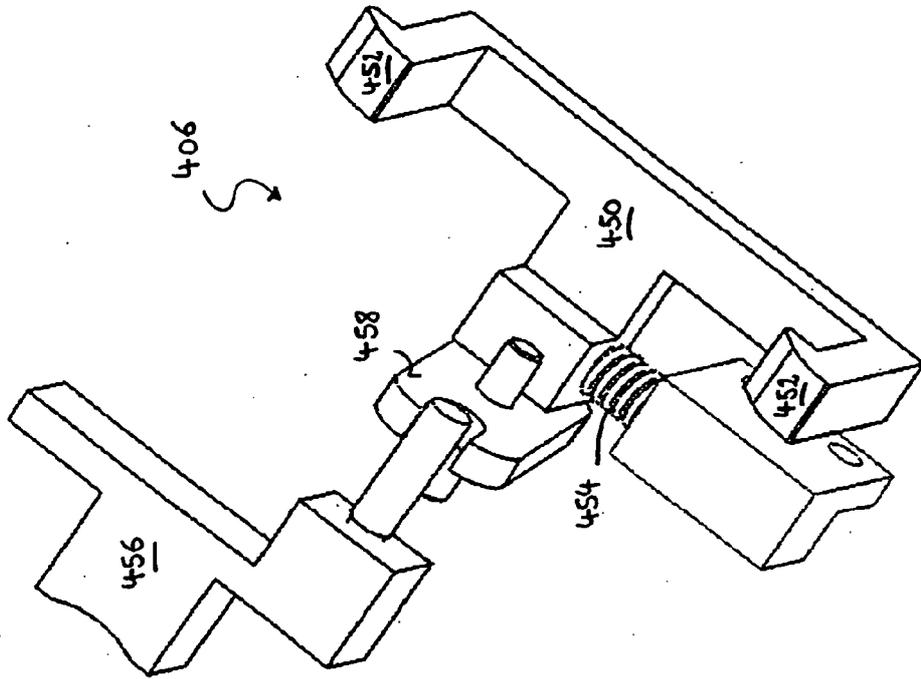


FIG.22

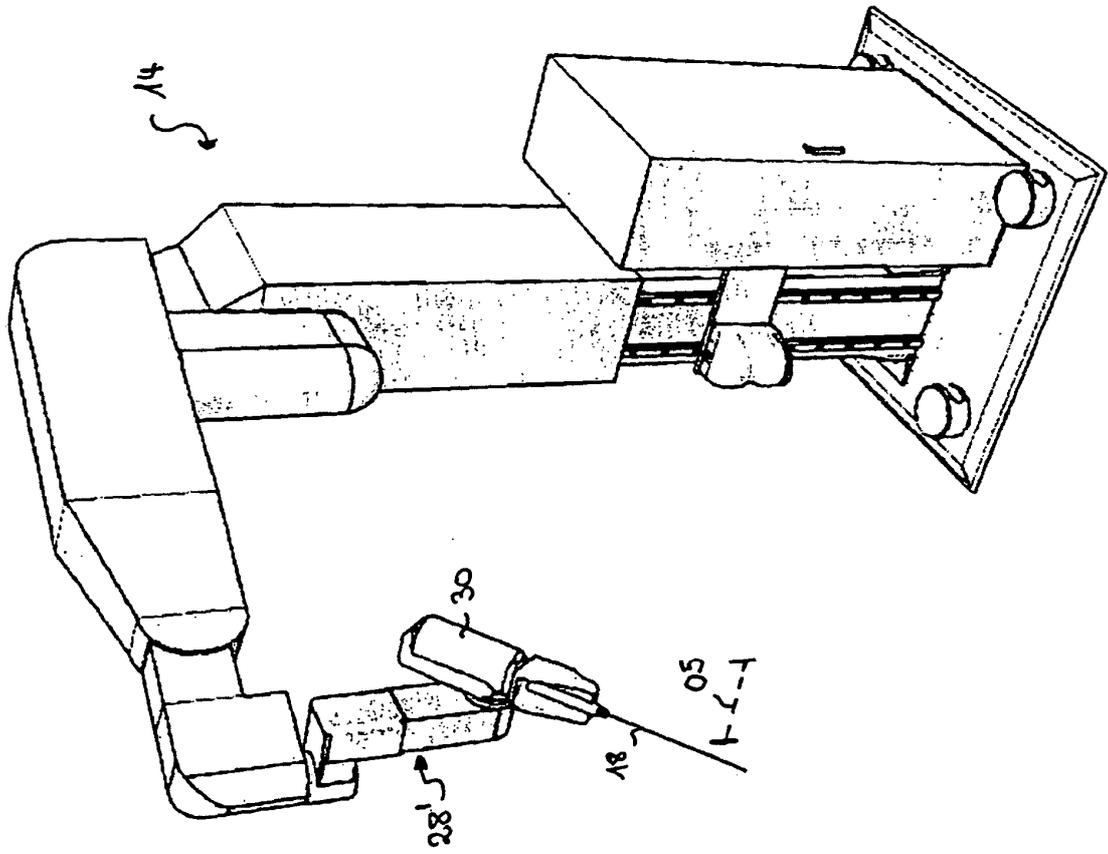


FIG.23

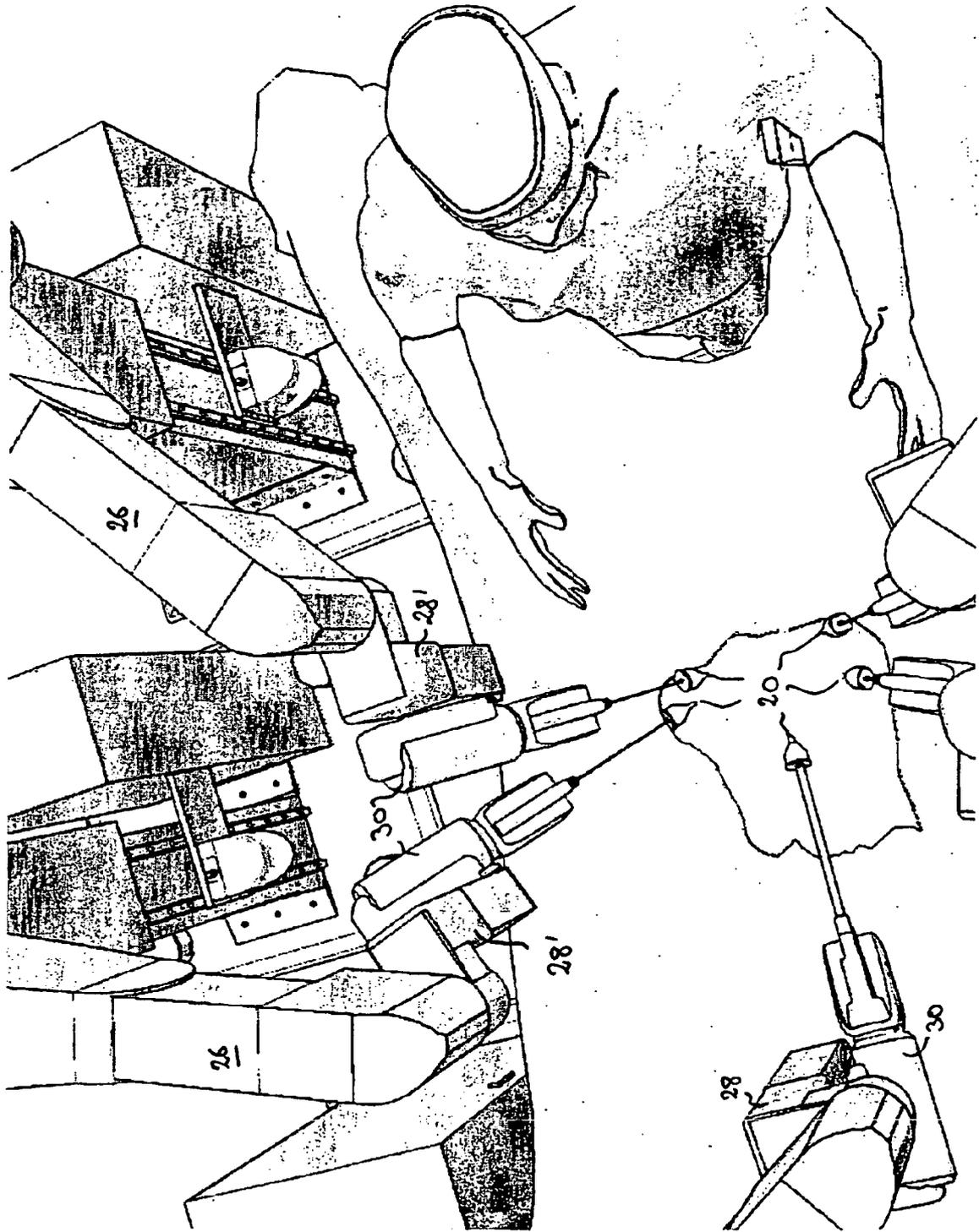


FIG.24

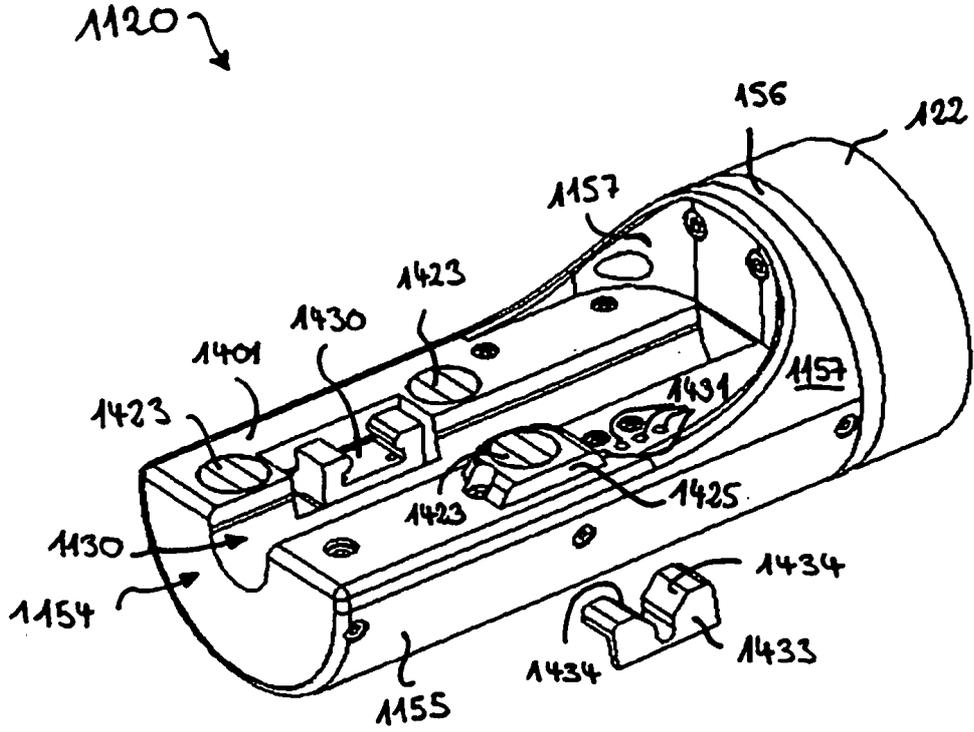


FIG. 25

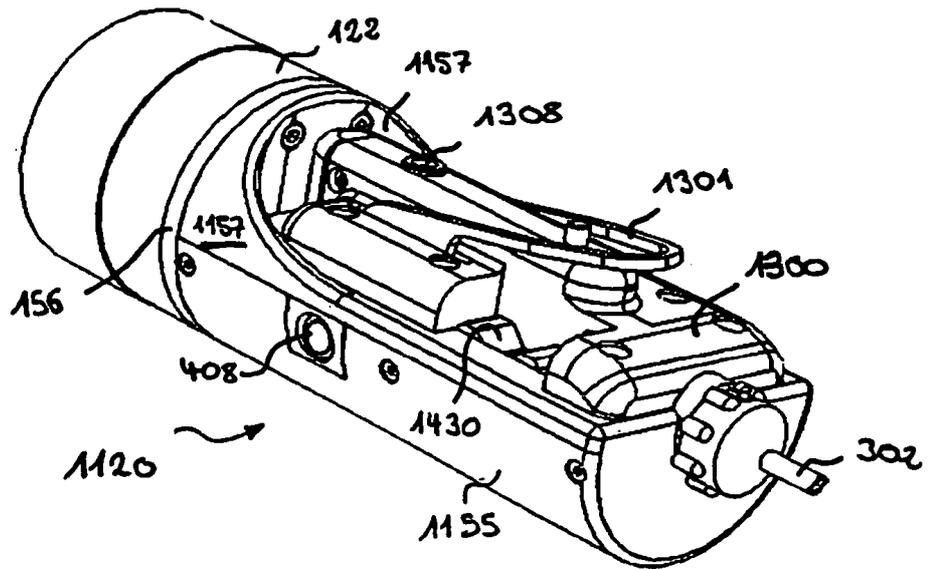


FIG. 26

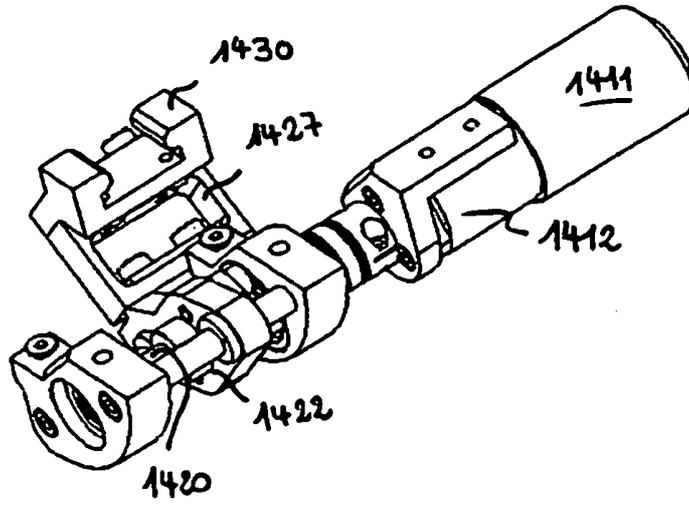


FIG.27

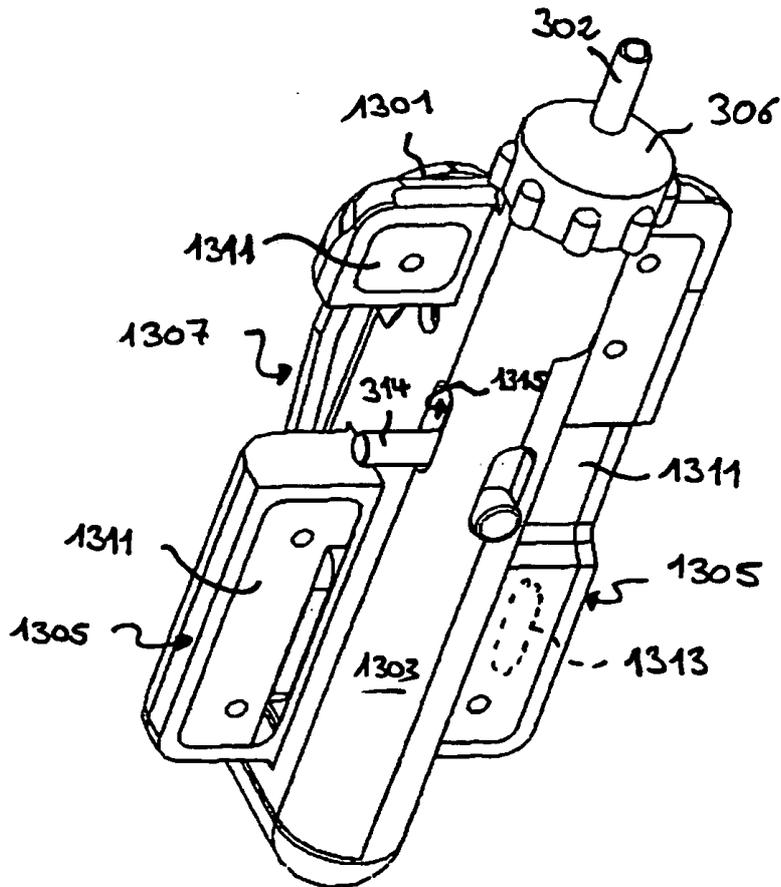


FIG.28

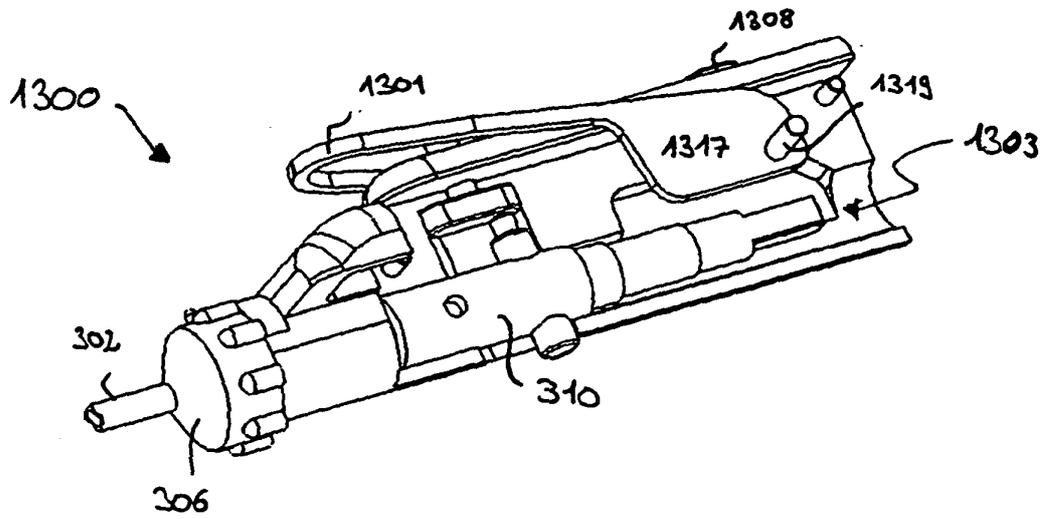


FIG. 29

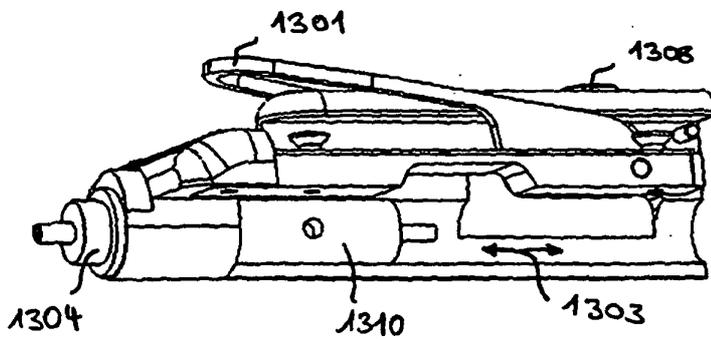


FIG. 30