



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 298 051**

⑫ Número de solicitud: 200602091

⑬ Int. Cl.:
A61B 17/00 (2006.01)
A61B 19/00 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **28.07.2006**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.05.2008**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.05.2008

⑰ Solicitante/s: **Universidad de Málaga**
Plaza El Ejido, s/n
29071 Málaga, ES

⑱ Inventor/es: **Muñoz Martínez, Víctor Fernando;**
García Morales, Isabel;
Fernández Lozano, Jesús;
Gómez de Gabriel, Jesús Manuel;
García Cerezo, Alfonso;
Pérez del Pulgar, Carlos Jesús;
Serón Barba, Javier;
Domínguez Fernández, Francisco;
Vara Thorbeck, Carlos y
Toscano Méndez, Rafael

⑳ Agente: **No consta**

②④ Título: **Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva capaz de posicionar un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción.**

②⑤ Resumen:

Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva capaz de posicionar un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción. El sistema consta de un robot manipulador de tres grados de libertad activos dotado de un elector final con dos grados de libertad pasivos que permite sujetar un instrumento quirúrgico, un controlador para el robot integrado en la estructura del mismo y capaz de implementar un método que calcula el movimiento que debe imprimirse al instrumento quirúrgico portado para que éste llegue a la localización deseada sin necesidad de calibración previa ni de fijación del conjunto a la mesa de operaciones, y un sistema de interfaz para ordenar las acciones deseadas al sistema. El conjunto robot, controlador y sistema de interfaz se alimenta mediante baterías.

ES 2 298 051 A1

DESCRIPCIÓN

Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva capaz de posicionar un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción.

Sector de la técnica

La presente invención pertenece a los sectores de la cirugía y la robótica, concretamente al de los sistemas de apoyo a la práctica quirúrgica, y con mayor precisión a los robots manipuladores especialmente diseñados como instrumentos quirúrgicos.

Estado de la técnica

Las operaciones quirúrgicas mediante técnicas laparoscópicas consisten en realizar la intervención a través de pequeñas incisiones en el abdomen del paciente. A través de estas incisiones se hacen pasar los instrumentos requeridos por la operación en concreto, así como la óptica de una cámara que permite al cirujano ver la zona en la que se realiza la intervención. Esta técnica permite disminuir drásticamente el tamaño de las incisiones que se necesitan realizar, lo que se traduce en menores riesgos para el paciente, menores tiempos de post-operatorio y menores costes económicos de la intervención, así como un menor impacto estético.

Actualmente el procedimiento normal en estas operaciones consiste en sostener la cámara mediante la ayuda de un asistente, mientras que el cirujano maneja el instrumental quirúrgico insertado en el abdomen del paciente. Esto requiere una gran coordinación entre el ayudante y el cirujano, que por conseguida que esté siempre presenta tres problemas fundamentales:

- 1) El cirujano debe hacer entender en cada instante qué es lo que quiere que haga el ayudante. Esto se encuentra sujeto a todos los problemas propios de la comunicación verbal, y no siempre se consiguen los resultados que espera el cirujano. Por muy compenetrado que esté un cirujano con su ayudante, suelen darse situaciones en las que el cirujano no explica bien su deseo o el ayudante lo malinterpreta.
- 2) La imagen, al ser sujeta la cámara por una persona, no es totalmente estable, resultando afectada por el pulso del ayudante que la maneje. Este efecto se hace más acusado según se va prolongando la intervención.
- 3) El asistente, situado en una posición incómoda, tiene dificultades para mover con precisión la cámara, sobre todo cuando empieza a verse afectado por el cansancio. Esto hace que en ocasiones la óptica de la cámara roce alguna víscera, lo que a su vez obliga a extraerla y limpiarla. Este problema prolonga el tiempo de la operación, y por consiguiente, el tiempo que el paciente está sometido a anestesia, con lo que aumentan los riesgos inherentes a la misma.

Así mismo, hay ocasiones en las que el cirujano necesita usar más de dos instrumentos a la vez, lo que requiere la participación de un segundo cirujano. Esto agrava el primero de los problemas de coordinación detallado más arriba.

Además, los puntos de entrada en el abdomen de los instrumentos quirúrgicos no pueden, modificarse lateralmente, lo que limita la movilidad de dicho instrumental a dos rotaciones en torno al punto de inserción, una en torno al eje de la herramienta y un desplazamiento a lo largo de dicho eje. La naturaleza de estos movimientos plantea una serie de problemas a la manipulación:

- 1) Inversión del movimiento. El punto de inserción actúa como un fulcro, haciendo que la herramienta pivote en torno a él (salvo en el movimiento de penetración-extracción). Así, un movimiento hacia la derecha de la mano del cirujano se traduce en un movimiento hacia la izquierda del extremo del instrumento.
- 2) Escalado. Como si de una palanca se tratase, la herramienta amplifica o atenúa el movimiento del cirujano en función de la penetración. Para una penetración por encima de un determinado valor, se da la amplificación; por debajo, la atenuación. Hay que destacar que este efecto no se limita a los desplazamientos, sino también a las fuerzas ejercidas.
- 3) Pérdida del tacto. Las texturas de los tejidos y los esfuerzos, de gran ayuda para los cirujanos en los procedimientos de cirugía abierta, se transmiten muy pobremente en las técnicas endoscópicas, pues se pierde el contacto directo con los tejidos. A esto hay que añadir el efecto del fulcro y de la fricción en el trócar, que falsean y filtran la poca información de este tipo que puede llegar al cirujano.

Al igual que los problemas visuales (como por ejemplo reducción del campo de visión, pérdida de profundidad de la imagen, cambios en la iluminación, etc.), los problemas que plantea la manipulación en cirugía mínimamente invasiva pueden superarse en gran parte mediante un intenso aprendizaje. Pero, también del mismo modo, ello persuade a algunos cirujanos frente a la incorporación a estas técnicas.

Como solución al menos parcial de estos inconvenientes se han venido proponiendo últimamente diversos sistemas robotizados de apoyo a la práctica de la cirugía laparoscópica (por ejemplo, en los documentos US5815640

6 US6371952), con objeto de asistir al cirujano en alguna de sus tareas, como por ejemplo el manejo de la cámara laparoscópica. Estos sistemas se diseñan según una de las dos siguientes estrategias:

- 1) Una estructura mecánica tal que su cinemática obliga al instrumento quirúrgico portado a moverse en torno a un centro remoto de rotación que se hace coincidir con el punto de entrada del instrumento en el abdomen del paciente. Esto último se logra mediante un procedimiento de calibración previo al inicio de la participación del sistema robótico en la intervención quirúrgica (por ejemplo, US6371952).
- 2) Un efector final basado en articulaciones pasivas, de manera que mediante el posicionamiento de este efector final y el punto de apoyo que supone el punto de entrada del instrumento en el abdomen del paciente, dicho instrumento se mantiene fijo e idealmente, posicionado y orientado según se desea. La existencia de articulaciones pasivas garantiza que independientemente del movimiento que se ordene al instrumento no se ejercen fuerzas laterales en el punto de entrada aun con un deficiente conocimiento de la localización de tal punto. Pero puesto que no se controla directamente la orientación del instrumento, sino sólo la posición que el efector final que lo porta adopta en el espacio, es necesario conocer la localización del punto de entrada de la herramienta para poder situar ésta con precisión conforme a los deseos del cirujano. Dicha localización se estima mediante métodos geométricos, fijándose además el robot físicamente a la mesa de operaciones para limitar los errores de estimación y evitar que cambien las posiciones relativas del robot y el punto de entrada durante la operación (por ejemplo, US5315640).

Existe un cierto número de antecedentes de sistemas robóticos para cirugía diseñados según alguna de las estrategias anteriores con el propósito de mejorar la práctica quirúrgica. Por ejemplo, en ES2150880 se presenta un manipulador industrial modificado para intervenir en operaciones de cirugía laparoscópica. Las modificaciones del robot consisten en un montaje móvil con ruedas que permite colocarlo convenientemente en el quirófano y un efector final con dos articulaciones pasivas, junto con un ordenador que coordina y actúa de interfaz persona-máquina. Además, se presenta un procedimiento de cálculo del punto de pivote (el punto de entrada de la herramienta laparoscópica portada) mediante una calibración inicial. Sin embargo, el volumen y la complejidad del montaje limitan la aplicación de este sistema.

EP0571827 presenta un sistema robótico quirúrgico basado en centro remoto de rotación. Como tal, presenta el inconveniente de necesitar una cuidadosa calibración inicial para asegurarse de que coincide el punto de entrada de la herramienta con el centro remoto de rotación del mecanismo del robot. Este inconveniente dificulta enormemente el empleo de robots en operaciones en las que debe cambiarse el punto de entrada de la herramienta portada, como por ejemplo en aquellos casos en los que se opera más de una dolencia (hernia inguinal y colecistectomía, por poner un caso frecuente).

En ES2181526, el objeto de la patente es un robot quirúrgico de diseño específico, basado en la transmisión del movimiento mediante cables de tracción, y con siete grados de libertad en total (con sólo tres actuadores). Incluye también la posibilidad de recibir órdenes a través de internet con lo que supone un sistema de teleoperación quirúrgica básico. Además, presenta la posibilidad de registrar las posiciones que el robot adopta en el transcurso de la operación. No obstante todo esto, y además de la complejidad del sistema de transmisión del movimiento mediante cables, sigue necesitando un procedimiento de calibración inicial del punto de pivote como el de ES2150880.

WO9403113 describe un sistema robótico para cirugía basado en articulaciones pasivas, que cuenta con cuatro articulaciones activas (y por tanto, cuatro motores). Presenta dos grandes limitaciones: debe anclarse el robot a la mesa de operaciones y debe realizarse un procedimiento de calibración inicial antes de operar para averiguar la localización del punto de entrada de la herramienta. Las mismas limitaciones se encuentran presentes en WO9729690, donde se presenta un sistema de teleoperación quirúrgica basado en el manipulador robot de WO9403113.

US5734542 describe un sistema de teleoperación bilateral, en el que se establece una correspondencia directa entre una herramienta adosada a un robot y un joystick manejado por un operador humano. El sistema se dedica a la microcirugía, en cuyo contexto la teleoperación se emplea como medio para aumentar la destreza de un cirujano presente en la sala, y no como medio para permitir la intervención de un cirujano localizado en un emplazamiento remoto. Su arquitectura de teleoperación no contempla por ello esta posibilidad y depende fuertemente de la comunicación en tiempo real entre los diferentes elementos del sistema, que en el caso mencionado de un cirujano remoto sería poco realista.

WO9825666 describe un sistema quirúrgico de telepresencia, con un enfoque parecido a US5784542, pero en el que el cirujano recibe mayor información del campo quirúrgico, en busca de un efecto de *inmersión*. Contempla sólo parcialmente el caso en el que un cirujano se encuentra en una localización remota, por cuanto los requisitos de comunicaciones del sistema exigen el empleo de redes dedicadas, y descarta el uso de redes generales como internet.

En ES2203318 se presenta un sistema de teleoperación de robots en el que el componente robot es un manipulador de diseño específico, con una configuración distinta de las de ES2150880 y ES2181526 (consistiendo en este caso en tres grados de libertad activos más dos pasivos). Este manipulador tiene además características inalámbricas (batería, micrófonos), y se integra en un sistema de teleoperación, mediante módulos con diversas funciones y localizaciones físicas, y con intercambio de información gráfica entre un cirujano presente en el quirófano y un cirujano que se encuentra en una localización remota. Un sistema similar, pero basado en un manipulador industrial y dedicado a la resección transuretral de la próstata se describe en ES2200679.

Resumiendo, el estado de la técnica presenta varias limitaciones:

- 1) Fijar el robot asistente a la mesa de operaciones requiere modificar la misma, con lo que se limita el impacto de los sistemas de asistencia robotizados y su difusión.
- 2) Fijar el robot asistente a la mesa de operaciones dificulta o incluso imposibilita retirarlo en caso de que se produzca un mal funcionamiento del mismo, o de que su concurso no sea necesario (como en el caso de conversión del procedimiento quirúrgico desde laparoscopia a laparotomía o cirugía convencional “abierta”).
- 3) La necesidad de realizar un procedimiento de calibración previo a la operación para que el sistema conozca la localización del punto de entrada (en ambas estrategias) incluye una tarea adicional en las operaciones quirúrgicas, lo que puede alargar el tiempo de operación (en el que el paciente está bajo anestesia) o reducir la ventaja que pueda obtenerse por utilizar un robot asistente.
- 4) La necesidad de calibración previa implica que si durante la operación es necesario introducir el instrumento por un punto de entrada diferente del inicial (algo habitual cuando se somete al paciente a más de un procedimiento quirúrgico durante la misma operación), es preciso repetir dicha calibración para averiguar la localización del nuevo punto de entrada, lo que alarga aún más la operación y limita la versatilidad de los sistemas robóticos.

Descripción detallada de la invención

El presente documento describe un sistema robótico que permite manejar con seguridad una cámara laparoscópica en las operaciones de cirugía mínimamente invasiva sin fijación física del sistema a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción de la cámara en el abdomen del paciente, mediante la configuración general de los diferentes grados de libertad del brazo robot, y de la configuración general del propio sistema robotizado en su conjunto, y un método apropiado de cálculo del movimiento que debe imprimirse a la cámara para que ésta llegue a la localización deseada sin necesidad de fijación física a la mesa de operaciones o de un procedimiento de calibración previo al comienzo de la intervención del sistema en la operación quirúrgica.

El sistema consta de un robot manipulador de tres grados de libertad activos y un efector final con dos grados de libertad pasivos especialmente diseñado para sujetar una cámara para cirugía laparoscópica, un controlador para el robot integrado en la estructura del mismo y capaz de implementar un método que calcula el movimiento que debe imprimirse a la cámara para que ésta llegue a la localización deseada sin necesidad de calibración previa ni de fijación del conjunto a la mesa de operaciones, y un sistema de interfaz para ordenar las acciones deseadas al sistema.

El efector final está diseñado de modo que añade dos grados de libertad pasivos al robot. Esto hace que el movimiento del útil de laparoscopia dentro del abdomen del enfermo sea más seguro, por cuanto la utilización del instrumental quirúrgico empleado en laparoscopia habitualmente (cuando es usado directamente por los cirujanos) se basa en movimientos en torno a un punto de pivote constituido por el lugar en el que el instrumental atraviesa la piel del paciente. El uso de estas dos articulaciones pasivas permite que el punto de pivote sea establecido de un modo natural por el movimiento del instrumento, al igual que pasa cuando quien maneja la herramienta es un humano, frente a lo que pasaría si el instrumento estuviese fijado directamente a la muñeca del robot, pues el establecimiento del punto de pivote vendría determinado por los cálculos que se hiciesen para estimarlo. En este caso, cualquier error tendría como resultado que el sistema robótico tendiese a forzar el punto de pivote desde su situación real a la estimada empujando la piel del enfermo. En función de la magnitud de ese error, un fallo en la estimación del punto de pivote podría dar lugar a situaciones peligrosas, como desgarros en la piel del paciente. En cambio, en el caso de un sistema que incluye articulaciones pasivas, el error en la estimación del punto de pivote limita las prestaciones del sistema, por cuanto para situar el efector final de acuerdo con las necesidades de la operación es preciso calcular la posición del mismo de acuerdo con el punto de apoyo adicional que proporciona el punto de pivote o punto de entrada. En la presente invención, en lugar de recurrir a fijar la posición relativa del robot y el paciente mediante amarres o fijaciones físicas del robot a la mesa de operaciones, o de realizar un cálculo previo de la localización del punto de pivote, se cuenta con un método de cálculo del movimiento que debe imprimirse a la cámara para que ésta llegue a la localización deseada que evita las dos alternativas anteriores. Así se facilita la integración del sistema en el quirófano (por cuanto no requiere modificar la mesa de operaciones para fijarla) y aumenta la seguridad de la operación (ya que puede retirarse con facilidad y rapidez el sistema en caso de necesidad, y se elimina la vulnerabilidad del sistema ante cambios en la posición del paciente en la mesa de operaciones, o de cambios en el punto de entrada de la cámara por necesidades de la operación).

Todo el sistema está dotado de alimentación eléctrica mediante baterías, y cuenta con ruedas dotadas con frenos que permiten inmovilizar el conjunto durante la operación, al tiempo que facilitan desplazarlo con el concurso de un asa, bien para su transporte, bien si se precisa retirarlo de la mesa de operaciones durante una intervención.

Descripción de los dibujos

Figura 1: esquema general del sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva capaz de posicionar un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción. Se muestra una representación simplificada del manipulador quirúrgico, con un instrumento quirúrgico instalado mediante un adaptador, situado junto a la mesa de operaciones.

Figura 2: esquema articular del brazo robot, incluyendo el efector final que sujeta el instrumento quirúrgico (representado como una flecha).

Figura 3: esquema articular del efector final que sujeta el instrumento quirúrgico. Incluye dos articulaciones pasivas (g) y (h) que permiten que el instrumento quirúrgico (i) se mueva con dos grados de libertad. La primera está dispuesta con su eje de rotación paralelo a los de las articulaciones actuadas del manipulador, y la segunda con su eje de rotación perpendicular a las mismas.

Figura 4: adaptador del instrumento quirúrgico en el efector final. En el esquema aparece representado sujetando la óptica (j) (no representada en su longitud total) de una cámara de laparoscopia. Las articulaciones pasivas están designadas (g) y (h).

Figura 5: esquema articular del brazo robot incluyendo la representación de los sistemas de referencia empleados para obtener el modelo cinemático directo del mismo. Estos sistemas se han escogido y situado según el método de Denavit-Hartenberg.

Figura 6: representación del efecto que se produce si no se conoce con precisión la localización del punto de entrada del instrumento quirúrgico cuando se planifica el movimiento de éste en un robot con articulaciones pasivas en el efector final. En a) se muestra una vista en planta, y en b) una vista lateral. Si el punto de entrada (l) real está mal estimado, y en su lugar se toma (k), El sistema parte del punto (m) para llegar al (n) como objetivo deseado, pero al ser el punto de apoyo real y por tanto el radio de giro real distintos a los considerados para calcular la posición de destino, la posición objetivo que se calcula no es la (n) sino la (o). Esto resulta en una orientación y posición finales deficientes que degradan las prestaciones del sistema.

Figura 7: diagrama de bloques del método empleado en la presente invención para calcular la posición objetivo del instrumento dinámicamente durante el tránsito de la posición inicial a la final realimentando la posición del punto de entrada del instrumento de manera que se elimina la necesidad de anclajes a la mesa de operaciones, o de calibraciones previas. A partir de la orientación deseada una ley de control de acomodación calcula la longitud de arco requerida en cada instante del tránsito entre la posición inicial y la final para que se alcance el objetivo, usando también la longitud de arco real recorrida, la orientación real y el radio de giro estimado (esto es, la distancia estimada según el eje del instrumento hasta el punto de entrada), todo ello en cada instante. Este arco requerido se emplea en un generador dinámico de trayectorias junto con el radio de giro estimado, de manera que en cada instante se generan las referencias articulares para las articulaciones motorizadas del brazo robot corregidas según los nuevos cálculos, lo que por último imprime un movimiento al instrumento portado que a través de las articulaciones pasivas alcanza la orientación deseada.

Figura 8: diagrama de bloques de la arquitectura de control empleada en el controlador del brazo robot de la presente invención. El cirujano emite las órdenes a través de unos medios dispuestos a tal fin, que las envían a un módulo interno del sistema de interfaz anexo al controlador del brazo robot. Este elemento las transmite al supervisor, que calcula, según el método descrito, la posición final que las articulaciones motorizadas del robot deben adoptar para que el instrumento portado alcance la localización deseada. Esta posición deseada se envía a los controladores que se encargan de conseguir que cada articulación alcance su objetivo. Junto a los controladores se disponen medios para recibir las señales enviadas por los sensores del efector final, y enviarlos al supervisor.

Modos de realización de la invención

El sistema consta de un brazo robot de tres grados de libertad activos (es decir, motorizados), un efector final que incorpora dos grados de libertad pasivos (sin motores) y especialmente diseñado para sujetar una cámara estándar de las empleadas habitualmente en cirugía laparoscópica, un controlador para el brazo robot integrado en la estructura del mismo y capaz de implementar un método que calcula el movimiento que debe imprimirse a la cámara para que ésta llegue a la localización deseada sin necesidad de calibración previa ni de fijación del conjunto a la mesa de operaciones, y un sistema de interfaz que permite interpretar las órdenes del cirujano y transmitir las al controlador antes mencionado, así como proporcionar información del sistema al usuario. El sistema de interfaz consta a su vez de un módulo interno, anexo al controlador, y unos medios de entrada de órdenes que permiten al cirujano mover el instrumento quirúrgico, por medio del robot, de acuerdo con sus deseos. El módulo interno genera las órdenes de movimiento apropiadas para el robot en respuesta a las consignas del cirujano, que las expresa a través de los medios de entrada.

El brazo robot está instalado sobre un montaje móvil por medio de ruedas que se puede situar al lado de la mesa de operaciones (Figura 1). El montaje dispone de frenos o un sistema análogo que permite inmovilizarlo, y cuenta con un asa que facilita mover y dirigir el brazo robot sobre el montaje móvil. Tanto el montaje como el propio brazo

pueden cubrirse con una funda estéril. En la base de dicho montaje móvil se encuentra el controlador, junto con un sistema de baterías que provee alimentación eléctrica al conjunto. También en la estructura del brazo manipulador se sitúa el módulo interno del sistema de interfaz, encargado de generar las órdenes de movimiento apropiadas para que el robot mueva el instrumento quirúrgico adosado según los deseos que el cirujano expresa a través de los medios de entrada de órdenes. El conjunto de controlador, baterías y módulo interno del sistema de interfaz se localizan en una caja adosada a la base del brazo robot que puede desmontarse completamente y sustituirse por otra con conexiones similares con el resto del robot para facilitar las reparaciones, o bien para cambiar entre diferentes realizaciones de los elementos mencionados anteriormente.

El brazo robot (Figura 2) consta de una primera articulación prismática (a). Esta articulación prismática se mueve en el eje Z de un primer sistema de coordenadas. Una segunda articulación (b), de revolución, mueve el segundo miembro del robot (c) en un plano paralelo al plano X-Y definido por el primer sistema de coordenadas. Al segundo miembro del robot (c) está unida una tercera articulación (d) también de revolución, que mueve al tercer miembro del robot (e) en el mismo plano que la articulación (b). A este miembro (e) va unido un efector final (f) que permite sujetar con seguridad un endoscopio, y que añade dos grados de libertad pasivos al conjunto. Estos dos grados de libertad pasivos permiten usar con seguridad el endoscopio, puesto que impiden que se fuerce la piel del paciente cuando se mueve este instrumento, aun a pesar de que se pudiera cometer algún error en el movimiento. En la realización preferida, la articulación (a) está actuada mediante un motor acoplado al eje de un desplazador lineal vertical, en cuyo patín móvil está fijado el resto del brazo robot; la articulación (b) cuenta con actuación directa mediante un motor coaxial con el eje articular; mientras que la articulación (d) se mueve mediante una correa de transmisión que transmite el movimiento desde el motor, situado en el mismo eje que el de la articulación (b), hasta la articulación (d). Dicha correa de transmisión se oculta dentro de la estructura del segundo miembro del brazo robot, de manera que no queda accesible desde el exterior.

En la muñeca del robot se fija el efector final antes mencionado (Figura 3). Consta de dos articulaciones pasivas (g) y (h) que permiten que el instrumento quirúrgico se mueva con dos grados de libertad cuando no está insertado en el abdomen del paciente. Estos dos grados de libertad dotan al sistema de mayor seguridad, por cuanto permiten que el punto de pivote se establezca de un modo natural por el movimiento del instrumento, al igual que cuando lo maneja un humano. Además, las dos articulaciones disponen de medios para averiguar la magnitud del ángulo que han girado (no mostrados en el esquema de la Figura 3), de modo que este valor pueda quedar disponible para el sistema. Estos sensores pueden ser, por ejemplo, potenciómetros o codificadores angulares, pero siempre de una resolución que permita aplicar el método de cálculo del movimiento que debe imprimirse a la cámara para que ésta llegue a la localización deseada, descrito más adelante. Igualmente pueden disponerse dos sensores por eje, lo que permite tener redundancia en las medidas, bien para promediar éstas, bien para detectar el posible fallo de un sensor. Las dos articulaciones pasivas están dispuestas de modo que la primera (g) es paralela a las dos articulaciones de revolución del brazo, mientras que la segunda (h) es perpendicular a la primera, y ambas se cortan en el eje del instrumento quirúrgico que porta el robot. Esta disposición permite prescindir de una tercera articulación de revolución y su actuador, necesarios para dar al sistema la capacidad de alcanzar todo el espacio de trabajo del instrumento quirúrgico con la orientación adecuada. Esto revierte en una mayor simplicidad y economía del sistema. Así mismo, el adaptador que sujeta el instrumento quirúrgico dispone de medios para sujetar con seguridad y firmeza dicho elemento pero que igualmente permiten retirar con rapidez la óptica del endoscopio sin necesidad de herramientas. La Figura 4 muestra una posible realización del adaptador, en el que pueden apreciarse las articulaciones pasivas (g) y (h) y la óptica (j) de una cámara laparoscópica.

Para mejorar la seguridad, el brazo robot cuenta con espacio en su interior para hacer pasar todo el cableado necesario para el funcionamiento del sistema y para ocultar los conectores, de manera que no se produzcan enganches con otro material del quirófano u otros objetos, o incluso personal de quirófano, que puedan provocar una malfunción en el sistema.

Con objeto de conocer la posición inicial del brazo robot cuando éste se conecta, se dispone de medios que permitan identificar dicha posición inicial de las articulaciones sin que estos medios supongan obstáculo al desempeño normal del sistema ni queden accesibles desde el exterior. Estos medios consisten, en las articulaciones motorizadas primera (a) y segunda (b) (prismática y primera de revolución), en un sensor situado en un eje paralelo al de giro de la articulación (o, en la prismática (a), paralelo al eje del actuador que se disponga), que detecta una parte de una pieza circular situada en un plano perpendicular al de dicho eje y solidaria al segundo miembro (c) del brazo robot (que une la articulación segunda (b) con la tercera (d)). En la realización preferida de la invención, tal pieza consiste en un disco con un sector del mismo de radio mayor al del resto, y el mencionado sensor es un detector de presencia, de modo que en una parte del espacio de giro de la articulación el mencionado sensor detecta el mencionado sector de radio mayor, y en el resto no detecta nada. En otras realizaciones alternativas de la invención, el sensor puede ser (a modo de ejemplo, pero no exclusivamente) un sensor de imagen, un sensor magnético o un sensor de contacto. En consecuencia, la pieza montada en el eje articular debe ser apropiada a las características del sensor dispuesto, por ejemplo, y respectivamente, disponiendo un disco en el que hay dos sectores de colores diferentes, dos materiales de propiedades magnéticas diferentes o dos niveles diferentes que hagan contacto o no con el sensor de contacto antes mencionado.

Para identificar la posición inicial de la articulación, se combina la disposición descrita con un método:

- 1) Al encender el brazo robot, se comprueba si el sensor detecta la presencia del sector distintivo de la pieza montada en el eje articular (en la realización preferida de la invención, el sector de radio mayor del disco).
- 2) Si se detecta, se mueve la articulación hasta que deje de detectarse.
- 3) Si no se detecta, se mueve la articulación hasta que se detecte, en el sentido opuesto al que se mueve en el otro caso.

Con este método, y conociendo la amplitud del sector distintivo de la pieza, puede hallarse la posición inicial del brazo robot.

En el caso de la tercera articulación motorizada (d) (segunda de revolución), se dispone un arreglo similar, pero la pieza que detecta el sensor se fija solidariamente a un punto de la correa de transmisión que va del motor de la tercera articulación (d) al eje articular de la misma, y el sensor se fija en una localización conocida del interior del miembro (c) del robot que une las articulaciones segunda y tercera actuadas (respectivamente, (b) y (d)). De esta manera, al conectar el brazo robot, se mueve la tercera articulación motorizada (d) de acuerdo con el método antes descrito, e igualmente puede hallarse la posición inicial de la articulación conociendo la situación del sensor y la situación del elemento solidario a la cadena de transmisión. En la realización preferida de la invención el elemento que detecta el sensor es una pieza en forma de "L" con un lado pegado a la correa de transmisión, y el sensor es un detector de presencia.

El controlador del brazo robot está situado en la base del montaje móvil de éste. Este controlador recibe las señales procedentes de sensores de posición situados en cada una de las articulaciones activas y pasivas del robot (incluyendo por tanto el efector final), lo que le permite conocer en cada momento la posición de éste mediante el modelo cinemático directo del mismo, obtenido estableciendo varios sistemas de coordenadas a lo largo del brazo robot según la convención de Denavit-Hartenberg (ver Figura 5).

Igualmente, mediante el modelo cinemático inverso del brazo robot y una planificación de trayectorias (en posición, velocidad y aceleración), además de la información proporcionada por los sensores angulares situados en el robot, el controlador antes mencionado calcula las actuaciones necesarias para llegar a una posición deseada del instrumento portado conforme a las órdenes emitidas por el cirujano, mediante un método descrito más adelante.

El controlador del brazo robot debe tener la capacidad suficiente para implementar un método para calcular la posición objetivo del instrumento dinámicamente durante el tránsito de la posición inicial a la final, lo que elimina la necesidad de calibración previa o de fijación del conjunto a la mesa de operaciones. Asimismo, los sensores montados en las articulaciones pasivas del efector final deben tener una resolución suficiente para que el mencionado método pueda ser aplicado con efectividad.

Idealmente, si se conoce la posición del punto de entrada con precisión, una vez que el cirujano emite una orden, se calcula la posición deseada del extremo exterior del instrumento en función de la orientación y posición actuales del instrumento y el radio de giro (es decir, la distancia a lo largo del eje de la herramienta desde el extremo exterior hasta el punto de entrada), y una vez alcanzada la posición objetivo, a través de las articulaciones pasivas y el punto de apoyo que supone el punto de entrada de la herramienta, dicha herramienta adopta la orientación y posición deseadas. Sin embargo, si el punto de entrada no se conoce con precisión, se da la situación ilustrada por la Figura 6. En la Figura 6a se presenta una vista en planta, y en la Figura 6b, una vista lateral. El punto de entrada (1) real está mal estimado, y en su lugar se toma (k). El sistema parte del punto (m) para llegar al (n) corno objetivo deseado, pero al ser el punto de apoyo y el radio de giro distintos, la posición objetivo que se calcula no es la (n) sino la (o), al imprimirle al instrumento un giro calculado en base a un radio de giro erróneo. Esto resulta en una orientación y posición finales deficientes que degradan las prestaciones del sistema, o que obligan a fijar físicamente el brazo robot a la mesa de operaciones o a calibrar inicialmente la localización del punto de entrada respecto al brazo robot.

En la presente invención, se emplea un método para calcular la posición objetivo del instrumento dinámicamente durante el tránsito de la posición inicial a la final, realimentando la posición del punto de entrada (1) de manera que se eliminan los errores al alcanzar la posición y orientación objetivos sin necesidad de anclajes a la mesa de operaciones, o de calibraciones previas a la participación del brazo robot en la intervención quirúrgica.

En el instante inicial, el instrumento está insertado en el punto de entrada (1) (fulcro) y su extremo externo está en una posición conocida con una orientación también conocida. Cuando el cirujano emite una orden, ésta se traduce en una nueva posición deseada del extremo interno, que a su vez implica una nueva posición deseada del extremo externo al paciente y una nueva orientación deseada del mismo. Alcanzarlas depende de la precisión con que se conozca la posición del punto de entrada (1). De acuerdo con el esquema de la Figura 7, a partir de la orientación deseada una ley de control de acomodación calcula la longitud de arco requerida en cada instante del tránsito entre la posición inicial y la final para que se alcance el objetivo usando también la longitud de arco real recorrida, la orientación real y el radio de giro estimado (esto es, la distancia estimada según el eje del instrumento hasta el punto de entrada (1)), todo ello en cada instante. Este arco requerido se emplea en un generador dinámico de trayectorias junto con el radio de giro estimado, de manera que en cada instante se generan las referencias articulares para las articulaciones motorizadas del

ES 2 298 051 A1

brazo robot corregidas según los nuevos cálculos, lo que por último imprime un movimiento al instrumento portado que a través de las articulaciones pasivas alcanza la orientación deseada.

El mencionado método está descrito con mayor detalle a continuación. La entrada al sistema es la orientación deseada del instrumento, ya sea según el eje de giro vertical o según el eje de giro horizontal (en cualquier caso sólo uno de los ángulos, pues son problemas que pueden desacoplarse y se calculan ambos separadamente siguiendo el mismo método). A esta orientación deseada se le asocia una ley temporal de primer orden en función de la longitud en línea recta recorrida por el extremo del instrumento para alcanzar tal orientación:

$$L(t) = -\frac{1}{\tau}L(t) + \frac{K}{\tau}u(t),$$

donde $L(t)$ es la longitud en línea recta recorrida por el extremo del instrumento en función del tiempo, τ es la constante de tiempo del sistema, K es la ganancia estática del sistema y $u(t)$ es la longitud de arco deseada, que es función de la orientación del instrumento y el radio de giro del mismo (es decir, la distancia desde el punto en que se cortan los ejes de las articulaciones pasivas en el instrumento hasta el punto de inserción del mismo en el paciente).

La expresión anterior, en tiempo discreto, tiene la forma:

$$L(k+1) = e^{-T/\tau}L(k) + K(1 - e^{-T/\tau})u_r,$$

donde $L(k)$ es la longitud en línea recta recorrida por el extremo del instrumento en el instante k , τ es la constante de tiempo del sistema, T es el periodo de muestreo de la discretización, K es la ganancia estática del sistema y u_r es la longitud de arco que se debe recorrer para alcanzar la orientación deseada, que es función de la orientación del instrumento y el radio de giro del mismo (es decir, la distancia desde el punto en que se cortan los ejes de las articulaciones pasivas en el instrumento hasta el punto de inserción del mismo en el paciente). Este último radio de giro es desconocido, y su incertidumbre afecta a la precisión en orientación y posición con la que se sitúa el instrumento portado.

Para eliminar el error provocado por la mencionada incertidumbre se establece una ley de control en el espacio de estados con dos variables de estado: la longitud L recorrida en línea recta por el extremo del instrumento y una variable de estado que representa el error angular cometido. Para obtener la mencionada ley de control se parte de la ecuación de estado siguiente:

$$\begin{pmatrix} L(k+1) \\ v(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-T/\tau} & 0 \\ -1/k_p & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} L(k) \\ v(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K \cdot (1 - e^{-T/\tau}) \\ 0 \end{pmatrix} \cdot u(k),$$

donde $L(k)$ es la longitud en línea recta recorrida por el extremo del instrumento en el instante k , $v(k)$ es el error angular cometido en la orientación del instrumento en el instante k , τ es la constante de tiempo del sistema, T es el periodo de muestreo de la discretización, k_p es el radio de giro, K es la ganancia estática del sistema, y $u(k)$ es la longitud de arco que se debe recorrer para alcanzar la orientación deseada en cada instante k .

A partir de aquí se obtiene la ley de control de acomodación siguiente:

$$u(k) = k_p \cdot \left(\begin{pmatrix} r(k) \\ 0 \end{pmatrix} - H(k) \cdot \begin{pmatrix} L(k) \\ v(k) \end{pmatrix} \right),$$

donde $u(k)$ es la longitud de arco que se debe recorrer para alcanzar la orientación deseada en cada instante k , k_p es el radio de giro, con valor $k_p = \rho$ (donde ρ es el radio de giro estimado) en el caso de la orientación según el eje horizontal y con valor $k_p = \rho \cdot \sin(\beta)$ (donde β es el ángulo del instrumento respecto a la vertical) en el caso de la orientación según el eje vertical, $r(k)$ es la orientación deseada en cada instante k , modificada en cada instante según un perfil trapezoidal para que el sistema de primer orden descrito según la ley temporal antes mencionada no evolucione bruscamente, $H(k)$ es una matriz de ganancias elegidas para que el sistema alcance su objetivo, $L(k)$ es la longitud en línea recta recorrida por el extremo del instrumento en el instante k , y $v(k)$ es el error angular cometido en la orientación del instrumento en el instante k . Por tanto, la ley de control de acomodación necesita la orientación de la óptica (medida mediante los sensores montados en el efector foral) y la orientación deseada para calcular el error, el radio de giro estimado ρ y la longitud de arco recorrida $L(k)$.

La salida de la ley de control de acomodación es una longitud de arco requerida, que se usa junto con la estimación de la longitud de arco real recorrida hasta el momento para calcular la longitud de arco y velocidad, ambas referidas al extremo del instrumento, mediante el predictor de estado que constituye la ecuación de estado mostrada anteriormente:

$$\begin{pmatrix} L(k+1) \\ v(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-T/\tau} & 0 \\ -1/k_p & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} L(k) \\ v(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K \cdot (1 - e^{-T/\tau}) \\ 0 \end{pmatrix} \cdot u(k),$$

donde las diferentes magnitudes conservan el significado explicado anteriormente.

Esta doble salida se usa como entrada para calcular el perfil de velocidad y la trayectoria a seguir por el efector final, en ambos casos usando también como entrada la estimación de la longitud de arco real recorrida hasta el momento, y adicionalmente, en el caso de la trayectoria, con el concurso también del radio de giro estimado ρ . Mediante el modelo cinemático inverso del brazo robot, a partir de la velocidad y la trayectoria cartesianas del efector final obtenidas se hallan las referencias articulares, que se conducen a las articulaciones del brazo robot para que alcancen la localización objetivo. Este movimiento desplaza el efector final, que mediante las articulaciones pasivas y el punto de apoyo que supone el punto de entrada (real) hace que el instrumento portado alcance una nueva orientación. Simultáneamente al envío de las nuevas referencias articulares a las articulaciones del brazo robot, mediante dichas referencias articulares y el modelo cinemático directo del brazo robot, y conforme a la ecuación de estado ya mostrada anteriormente (que funciona aquí como un estimador de estado), se obtiene en un primer paso la estimación del arco real recorrida hasta el momento, y en un siguiente paso, con el concurso de un estimador del radio de giro, el mencionado radio de giro estimado ρ , en este caso empleando también como entrada la orientación real de la óptica medida mediante los sensores del efector final.

El controlador del brazo robot cuenta con una arquitectura jerárquica (ver Figura 8) compuesta por un controlador para cada grado de libertad activo y un supervisor que calcula, en función de las órdenes emitidas por el cirujano y recibidas a través del sistema de interfaz, y según el método descrito anteriormente, la posición final que las articulaciones motorizadas del robot deben adoptar para que el instrumento portado alcance la localización deseada, así como la sucesión de posiciones que deben recorrer para que el instrumento portado describa una línea recta desde su posición y orientación iniciales a las finales. Esta sucesión de posiciones articulares se envía a los controladores que se encargan de conseguir que cada articulación alcance su objetivo. Las comunicaciones entre los diferentes elementos que intervienen en el controlador del brazo robot se consigue mediante un bus propietario. En la realización preferida el controlador se implementa mediante un circuito electrónico para el nivel de supervisión y otros tres circuitos electrónicos, iguales e intercambiables entre sí, para los controladores de las articulaciones motorizadas. Junto a los controladores se disponen también los medios para recibir las señales enviadas por los diferentes sensores con que cuenta el efector final, y enviarlos al supervisor. Estos medios, en la realización preferida, también se implementan mediante un circuito electrónico.

Anexo a este controlador, e incluido también en la base del brazo robot, se encuentra un módulo que recibe las órdenes del cirujano y genera, en respuesta a las mismas, las órdenes de movimiento adecuadas para el robot. Asimismo, este módulo interno se encarga de la comunicación con los medios de entrada de órdenes. La realización de este módulo interno puede variar de acuerdo con los medios de entrada de órdenes elegidos por el usuario. En la realización preferida consiste en un circuito electrónico especializado encargado de reconocer las órdenes habladas que el usuario emite a través de un micrófono, pero también puede tomar la forma de un programa que se ejecuta en una máquina de propósito general, como un procesador digital de señales, un asistente digital personal (PDA), o un minicomputador, integrado en la estructura mecánica del brazo.

Igualmente, en otra realización del sistema en la que no se opte por las órdenes orales, o en la que éstas no sean la única posibilidad para que interactúe el usuario con el robot, el módulo mencionado se encarga de controlar otros medios de entrada de órdenes, como por ejemplo (pero no exclusivamente) una pantalla táctil. Tanto las señales de los medios adicionales de control antes mencionados como las órdenes recibidas a través de la interfaz de voz se transforman en el módulo interno en consignas que se envían al controlador del robot. Éstas indican los movimientos que debe realizar el brazo.

Como medios de entrada de órdenes, en la realización preferida del sistema se cuenta con un joystick o palanca de control adosada al brazo robot y un micrófono, preferiblemente inalámbrico (aunque también puede ser convencional), que se sitúa en la estructura del brazo robot o que porta el propio cirujano. Pero también pueden disponerse otros medios de entrada, como una pantalla táctil adosada a la estructura del robot mediante un mecanismo articulado que permita al usuario situarla en la posición más conveniente. En esta pantalla se presenta la imagen laparoscópica, y superpuesta a ella puede mostrarse información de diverso tipo, como marcas de ayuda a la intervención, estado del sistema, información relativa al funcionamiento de otros equipos de quirófano (que también pueden controlarse desde la pantalla táctil), u otra información que se considere de interés. Otros medios de control pueden consistir, a modo de ejemplo (pero no exclusivamente), en un manipulador maestro que reproduzca la forma del instrumento quirúrgico que porta el robot, de manera que la modificación de la posición de dicho manipulador maestro implique, a través de la conversión apropiada que realiza el módulo interno del sistema de interfaz, un movimiento similar en el instrumento quirúrgico adosado al manipulador. Este manipulador maestro puede contar con medios que permitan

al usuario especificar una ganancia K o una atenuación K^{-1} en la traducción de los movimientos, de manera que un desplazamiento de una longitud L , en una determinada dirección, mueva la herramienta real una magnitud $K L$ ó $K^{-1} L$, respectivamente, en la dirección correspondiente. Otra posibilidad, aunque limitada a la preparación de la operación (con el instrumento quirúrgico aún sin fijar al efector final) consiste en mover el brazo robot directamente con la mano hasta situarlo en el punto de mejor conveniencia para fijar el instrumento al robot, lo que se consigue dejando sin controlar las articulaciones segunda y tercera actuadas ((b) y (d), respectivamente) y reanudando el control ante una orden específica del usuario cuando se ha fijado el instrumento.

El módulo interno de interfaz anexo al controlador también se encarga de la presentación de diversa información al usuario, como por ejemplo, aunque no exclusivamente, diagramas que representen la posición actual del instrumento quirúrgico o zonas en las que es peligroso el movimiento. Igualmente puede llevar un registro de los movimientos efectuados por el robot, y las posiciones ocupadas por el sistema, permitiendo una reconstrucción *a posteriori* de la operación si ello fuese necesario. También puede devolver información sonora, en forma de palabras o sonidos, acerca del estado del sistema, lo que permite configurar el mismo. Así por ejemplo, puede elegirse para el brazo robot una configuración inicial de “brazo izquierdo” o “brazo derecho” en función de lo que la operación a realizar aconseje, de manera que la tercera articulación motorizada (la segunda de revolución) se aleje del cirujano y no interfiera con él. Otro ejemplo consiste en elegir en función de las necesidades o preferencias del cirujano la magnitud del desplazamiento que se imprimirá al extremo del instrumento quirúrgico interno al paciente en respuesta a las órdenes que emita el cirujano durante la operación.

El conjunto (brazo manipulador con el controlador, el módulo interno del sistema de interfaz y los medios de entrada de órdenes presentes en el quirófano incluidos) se encuentra alimentado mediante baterías, lo que da al sistema independencia de la instalación eléctrica del quirófano en el que se emplee, y simplifica su uso y explotación.

Aplicación industrial

El sistema permite aplicar las características de precisión y seguridad propias de los robots a un campo como la cirugía, particularmente a la cirugía mínimamente invasiva. Al usarse para mover una cámara de laparoscopia, se obtienen una serie de ventajas, como una imagen más estable (sin que le afecte el tiempo de operación), una mejor coordinación entre el equipo médico, o una reducción del tiempo de intervención (lo que a su vez reduce el tiempo de anestesia). Además, el empleo de un sistema de reconocimiento de voz como medio del cirujano para dar las órdenes al sistema robótico le permite manejar un instrumento adicional sin contar con el auxilio de un ayudante, facilitando la realización de tareas complejas dentro de las técnicas de cirugía mínimamente invasiva. Gracias al método empleado para calcular la siguiente localización del instrumento, el brazo robot puede integrarse fácilmente y con menor coste en un quirófano, ya que no es preciso modificar la mesa de operaciones (o cambiarla incluso) para anclar el brazo robot, y tampoco es necesario realizar una operación de calibración previa a la intervención para hallar la localización del punto de entrada del instrumento, por lo que se acorta el tiempo de la operación y se favorece la amortización del sistema al permitir que se cambie fácilmente de un procedimiento quirúrgico a otro incluso en el transcurso de la misma intervención. Esta cualidad de facilidad y economía de integración se ve reforzada por su sistema de alimentación mediante baterías.

REIVINDICACIONES

1. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción, capaz de mover un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano, **caracterizado** por el uso de un brazo robot de tres grados de libertad activos y dos pasivos (los tres activos dispuestos de manera que el primero es prismático y el segundo y el tercero son de rotación, y se encuentran dispuestos entre sí de la manera que muestra la Figura 2; y los dos pasivos son de rotación y perpendiculares entre sí, dispuestos de la manera que muestra la Figura 3), un efector final que permite sujetar el endoscopio requerido para el procedimiento quirúrgico para el que se emplee el sistema, un controlador para el brazo robot integrado en la estructura mecánica del mismo y capaz de implementar un método que calcula el movimiento que debe imprimirse al instrumento quirúrgico portado para que éste llegue a la localización deseada con precisión sin necesidad de fijar el sistema físicamente a la mesa de operaciones ni realizar una calibración previa para estimar la localización del punto de entrada del instrumento, y un sistema de interfaz para ordenar las acciones deseadas al sistema, compuesto a su vez por un módulo anexo al controlador del robot, que interpreta las órdenes que el usuario desea que ejecute el robot, y unos medios para emitir dichas órdenes, donde todo el conjunto se encuentra alimentado mediante baterías y montado en un montaje móvil que dispone de ruedas con frenos o un dispositivo similar que permite inmovilizarlo con seguridad, y el mencionado método de cálculo del movimiento que debe imprimirse al instrumento quirúrgico consiste en:

- En el instante inicial, el instrumento está insertado en el punto de entrada (o punto de fulcro) y su extremo externo está en una posición conocida con una orientación también conocida.
- Cuando el cirujano emite una orden, ésta se traduce en una nueva posición deseada del extremo interno, que a su vez implica una nueva posición deseada del extremo externo al paciente y una nueva orientación deseada del mismo. Alcanzarlas depende de la precisión con que se conozca la posición del punto de entrada.
- A partir de la orientación deseada una ley de control de acomodación calcula la longitud de arco requerida en cada instante del tránsito entre la posición inicial y la final para que se alcance el objetivo, usando también la longitud de arco real recorrida, la orientación real y el radio de giro estimado (esto es, la distancia estimada según el eje del instrumento hasta el punto de entrada), todo ello en cada instante.
- Este arco requerido se emplea en un generador dinámico de trayectorias junto con el radio de giro estimado, de manera que en cada instante se generan las referencias articulares para las articulaciones motorizadas del brazo robot corregidas según los nuevos cálculos, lo que por último imprime un movimiento al instrumento portado que a través de las articulaciones pasivas alcanza la orientación deseada.

2. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según la reivindicación 1), en el que el conjunto de controlador para el brazo robot, baterías y módulo interno del sistema de interfaz se localizan en una caja adosada a la base del brazo robot que puede desmontarse completamente y sustituirse por otra con conexiones similares con el resto del sistema, para facilitar las reparaciones o bien para cambiar entre diferentes realizaciones de los elementos mencionados.

3. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1) y 2), en el que el brazo robot cuenta con espacio en su interior para hacer pasar todo el cableado necesario para el funcionamiento del sistema y para ocultar los conectores, de manera que se produzcan enganches con otro material del quirófano u otros objetos, o incluso personal de quirófano, que puedan provocar una malfunción en el sistema.

4. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1), 2) y 3), en el que se dispone de medios que permitan identificar la posición inicial del brazo robot cuando éste se conecta, sin que estos medios supongan obstáculo al desempeño normal del sistema ni queden accesibles desde el exterior, y donde estos medios consisten, en la articulación motorizada segunda (b) (primera de revolución), en un sensor situado en un eje paralelo al de giro de la articulación, que detecta una parte de una pieza circular situada en un plano perpendicular al de dicho eje y solidaria al segundo miembro (c) del brazo robot (que une la articulación segunda (b) con la tercera articulación (d)), y en el caso de la tercera articulación motorizada (d) (segunda de revolución), se dispone un arreglo similar, pero la pieza que detecta el sensor se fija solidariamente a un punto de la correa de transmisión que va del motor de la tercera articulación (d) al eje articular de la misma, y el sensor se fija en una localización conocida del interior del miembro del robot que une las articulaciones segunda y tercera actuadas, y de manera que conociendo la localización del elemento que detecta el sensor y la localización del sensor mismo, se halla la posición de la articulación en cuestión mediante el siguiente método:

- Al encender el brazo robot, se comprueba si el sensor detecta la presencia del sector distintivo de la pieza montada en el eje articular (en la realización preferida de la invención, el sector de radio mayor del disco).
- Si se detecta, se mueve la articulación hasta que deje de detectarse.

- Si no se detecta, se mueve la articulación hasta que se detecte, en el sentido opuesto al que se mueve en el otro caso.

5 5. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según la reivindicación 4), en el que entre los medios para conocer la posición inicial del brazo robot consisten, en la articulación motorizada segunda (b) en un detector de presencia y un disco con un sector de radio mayor al del resto, y en la articulación motorizada tercera (d) el elemento que detecta el sensor es una pieza en forma de “L” con un lado pegado a la correa de transmisión, y el sensor es un detector de presencia.

10 6. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1), 2), 3) y 5), en el que el controlador del brazo robot cuenta con una arquitectura jerárquica compuesta por un controlador para cada grado de libertad activo y un supervisor que calcula, en función de las órdenes emitidas por el cirujano y recibidas a través del sistema de interfaz, la posición final que las articulaciones motorizadas del robot deben adoptar para que el instrumento portado alcance la localización deseada, así como la sucesión de posiciones que deben recorrer para que el instrumento portado describa una línea recta desde su posición y orientación iniciales a las finales, y esta sucesión de posiciones articulares se envía a los controladores que se encargan de conseguir que cada articulación alcance su objetivo; y en el que las comunicaciones entre los diferentes elementos que intervienen en el controlador del brazo robot se consiguen mediante un bus propietario.

20 7. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según la reivindicación 6), en el que el controlador se implementa mediante un circuito electrónico para el nivel de supervisión y otros tres circuitos electrónicos, iguales e intercambiables entre sí, para los controladores de las articulaciones motorizadas, y junto a ellos se dispone un cuarto circuito electrónico encargado de recibir las señales enviadas por los sensores con que cuenta el efector final, y enviarlos al circuito de supervisión.

25 8. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1), 2), 3), 4) y 6), en el que como medios de entrada de órdenes se utiliza un joystick, o palanca de control adosada al brazo robot y un micrófono.

30 9. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según la reivindicación 8), en el que el módulo anexo al controlador encargado de recibir las órdenes del cirujano a través de los medios de entrada de órdenes puede devolver información sonora, en forma de palabras o sonidos, acerca del estado del sistema, lo que permite configurar el mismo.

35 10. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1), 2), 3), 4) y 6), en el que como medio de entrada se dispone una pantalla táctil adosada a la estructura del robot mediante un mecanismo articulado que permita al usuario situarla en la posición más conveniente, y en la que se presenta la imagen laparoscópica, y superpuesta a ella puede mostrarse información que se considere de interés, como marcas de ayuda a la intervención, estado del sistema o información relativa al funcionamiento de otros equipos de quirófano.

40 11. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1), 2), 3), 4) y 6), en el que como medio de entrada se dispone un manipulador maestro que reproduzca la forma del instrumento quirúrgico que porta el robot, de manera que la modificación de la posición de dicho manipulador maestro implique, a través de la conversión apropiada que realiza el módulo interno del sistema de interfaz, un movimiento similar en el instrumento quirúrgico adosado al manipulador.

45 50 12. Sistema robótico de asistencia a la cirugía mínimamente invasiva sin fijación a la mesa de operaciones ni calibración previa del punto de inserción según las reivindicaciones 1), 2), 3), 4) y 6), en el que durante la preparación de la operación (y previamente a la fijación del instrumento quirúrgico al efector final) se dispone como medio de entrada la manipulación directa del brazo manipulador para llevarlo hasta el punto de mejor conveniencia para fijar el instrumento al efector final.

60

65

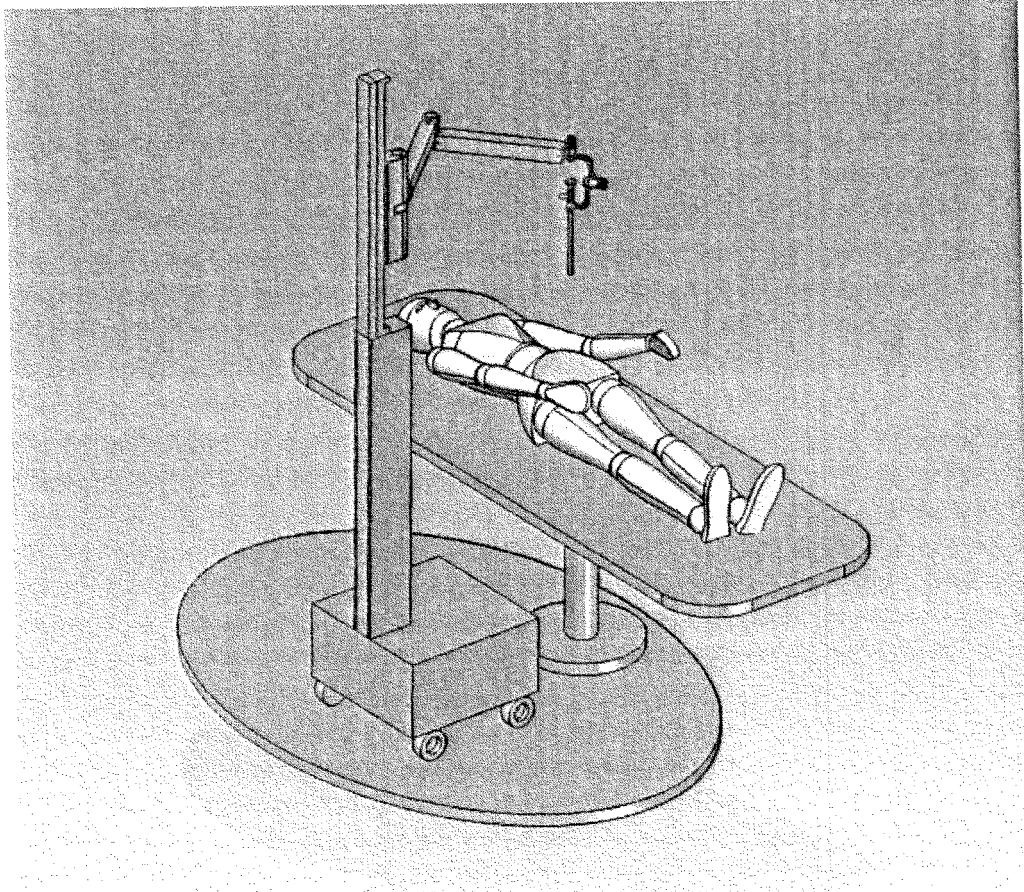


Figura 1

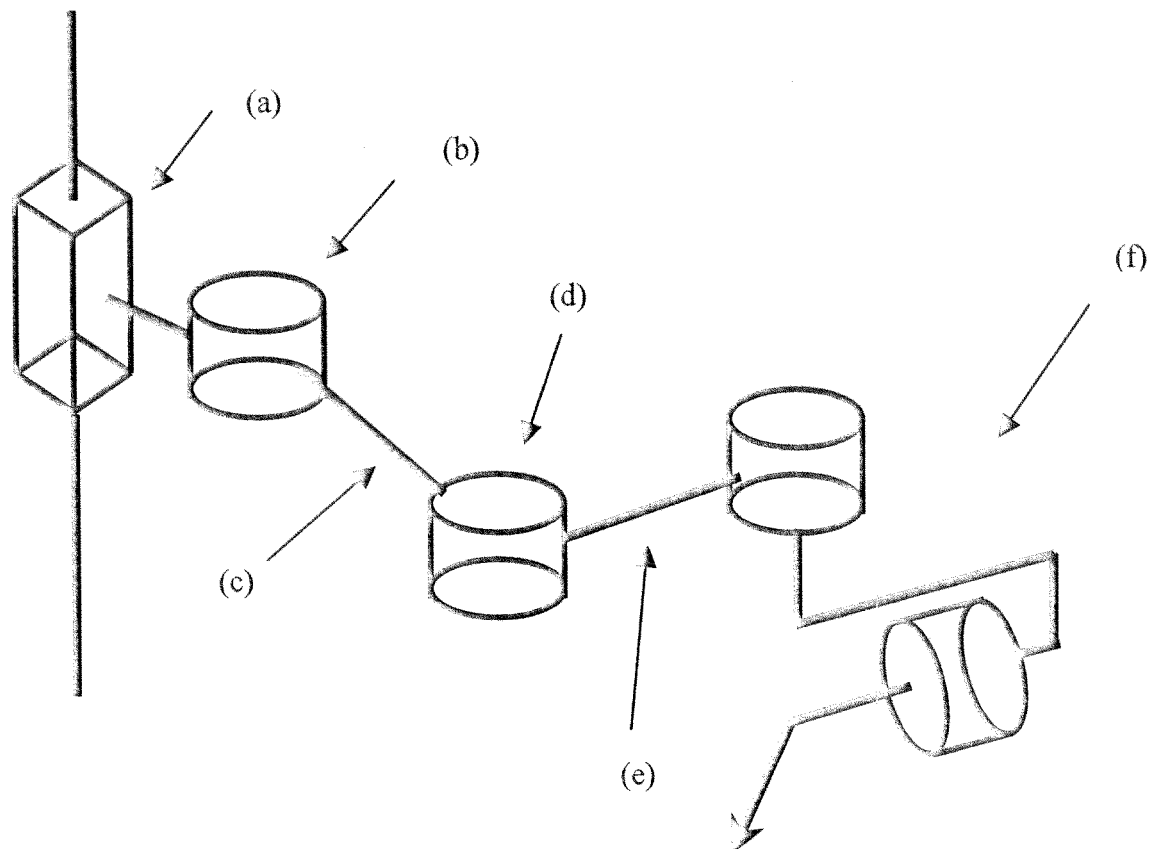


Figura 2

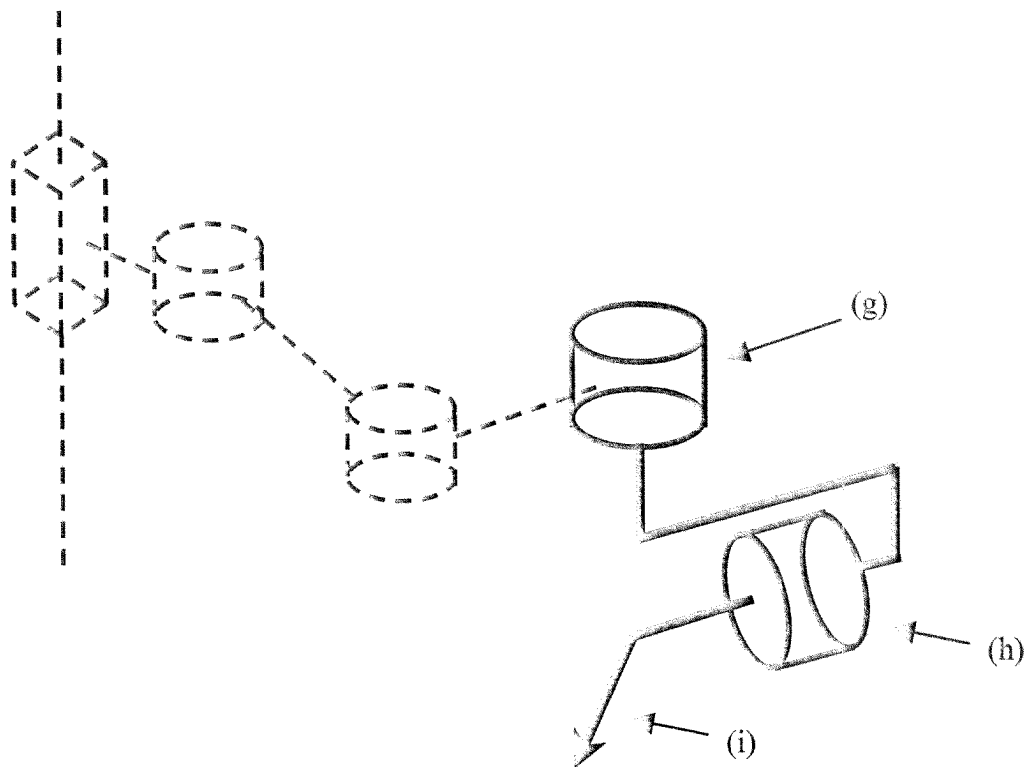


Figura 3

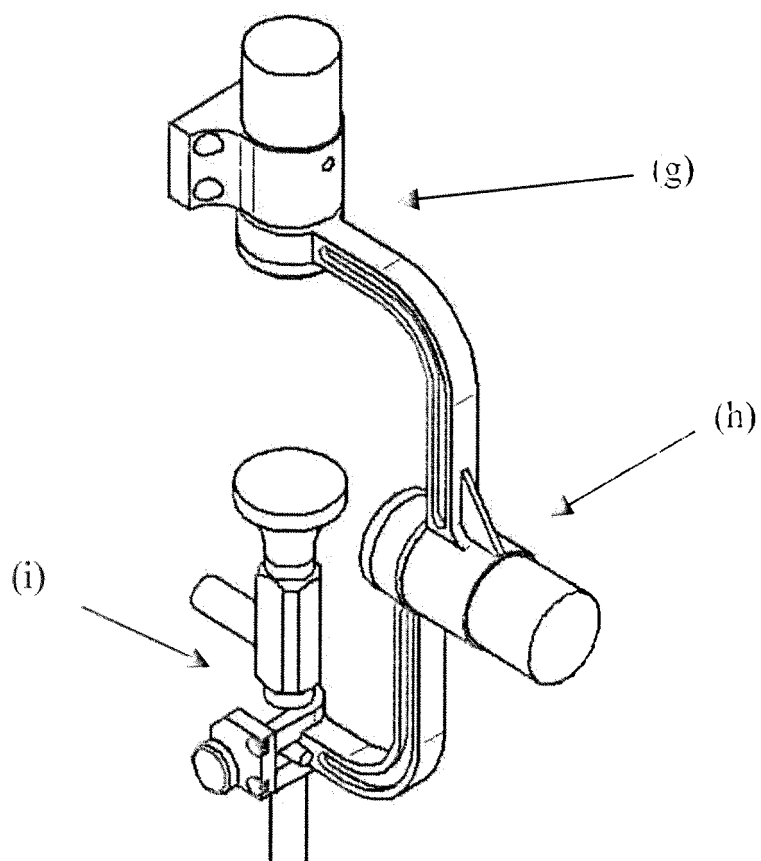


Figura 4

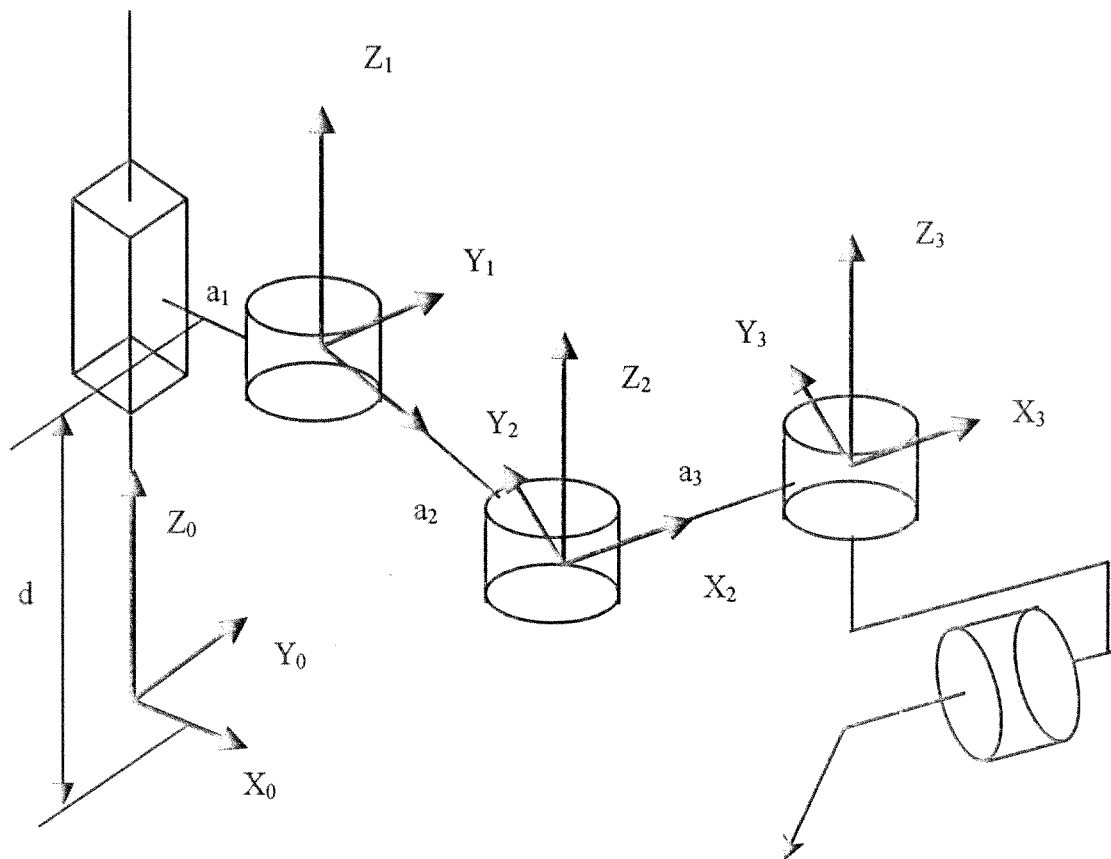
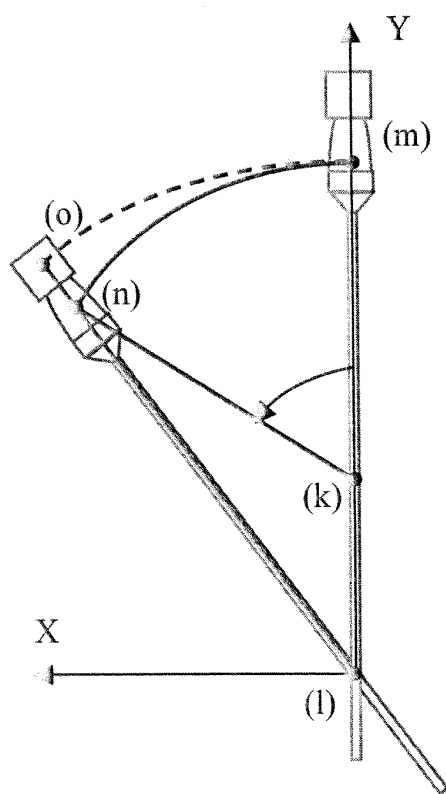
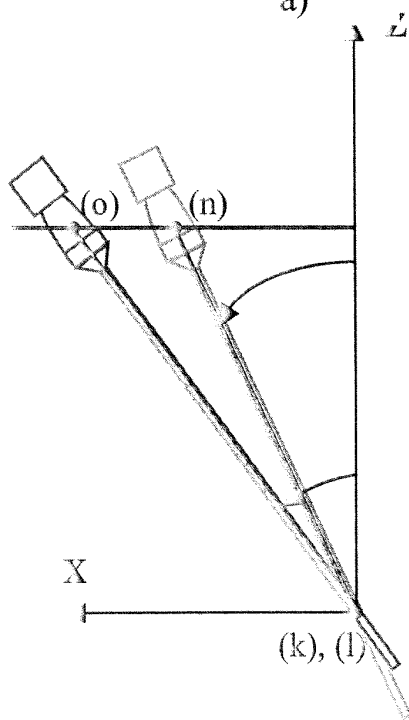


Figura 5



a)



b)

Figura 6

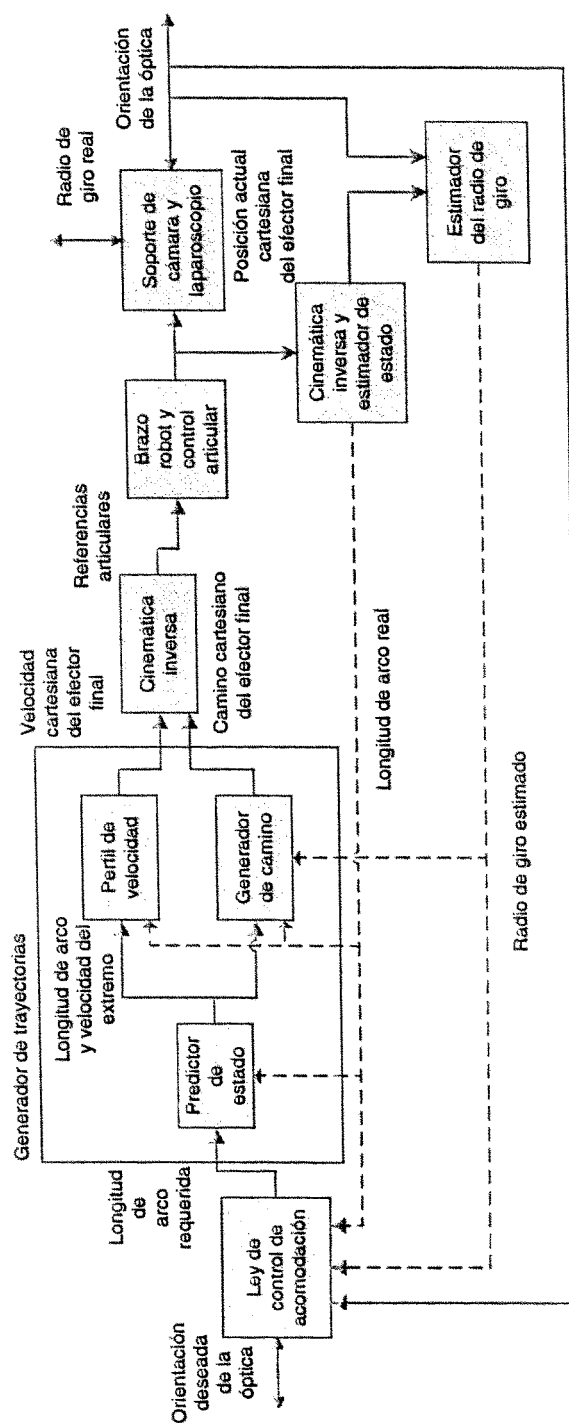


Figura 7

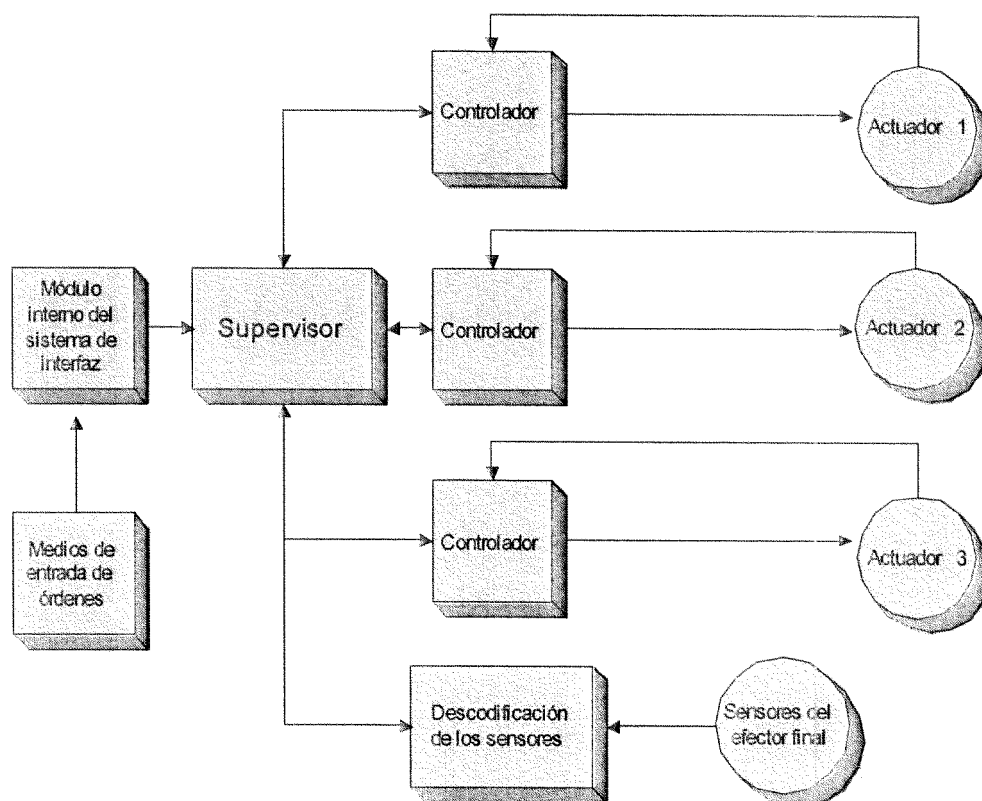


Figura 8



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 298 051

⑫ Nº de solicitud: 200602091

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **28.07.2006**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **A61B 17/00** (2006.01)
A61B 19/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 2006052375 A1 (LIPOW) 18.05.2006, todo el documento.	1-12
A	WO 2006079108 A1 (INTUITIVE SURGICAL) 27.07.2006, todo el documento.	1-12
A	US 2005027397 A (NIEMEYER) 03.02.2005, todo el documento.	1-12
A	US 2005256371 A (SCHARA et al.) 17.11.2005, todo el documento.	1-12
A	WO 2004032752 A1 (CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL) 22.04.2004, todo el documento.	1-12
A	US 2004261179 A (BLUMENKRANZ) 30.12.2004, todo el documento.	1-12
A	ES 2200679 A1 (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA) 01.03.2004, todo el documento.	1-12
A	ES 2181526 A1 (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA) 16.02.2003, todo el documento.	1-12

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
07.04.2008

Examinador
A. Cardenas Villar

Página
1/1