



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 203 318**
(21) Número de solicitud: 200200708
(51) Int. Cl.⁷: **A61B 17/00**

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

②(2) Fecha de presentación: **25.03.2002**

⑦(1) Solicitante/s: **Universidad de Málaga**
Plaza de El Ejido s/n
29071 Málaga, ES

④(3) Fecha de publicación de la solicitud: **01.04.2004**

⑦(2) Inventor/es: **Gómez de Gabriel, Jesús Manuel;**
Muñoz Martínez, Víctor Fernando;
Fernández Lozano, Juan Jesús y
Vara Thorbeck, Carlos

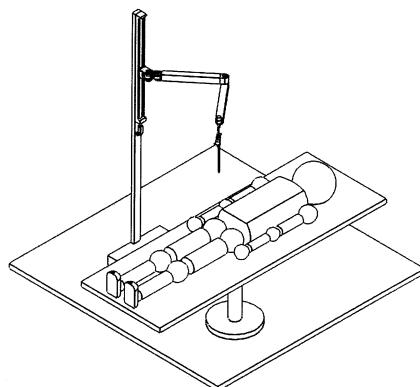
④(3) Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.04.2004

⑦(4) Agente: **No consta**

⑤(4) Título: **Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica.**

⑤(7) Resumen:

Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica, capaz de mover un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano presente en el quirófano o situado en una localización distante. El sistema consta de un robot manipulador dotado de un efecto final que permite sujetar un instrumento quirúrgico, un controlador para el robot integrado en la estructura del mismo, y un sistema de interfaz para ordenar las acciones deseadas al sistema. Este sistema de interfaz consta de 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. Estos medios de entrada pueden encontrarse físicamente dentro del quirófano en el que se realiza la operación, o pueden situarse en un punto remoto, comunicado con el resto del sistema a través de una red de comunicaciones. El conjunto robot, controlador y módulo anexo del sistema de interfaz se alimenta mediante baterías. Asimismo pueden alimentarse con baterías los medios de entrada de órdenes.



DESCRIPCIÓN

Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica.

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.

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 sujetada la cámara por una persona, no es totalmente estable, resultando afectada por el pulso del ayudante que la maneja. 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.

- 5) 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.
- 10) 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 problemáticamente 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 trocar, que falsoan y filtran la poca información de este tipo que puede llegar al cirujano.

Al igual que los problemas visuales, 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.

Breve resumen de la invención

La presente memoria describe un sistema teleróbótico que permite manejar con seguridad un instrumental quirúrgico en las operaciones de cirugía laparoscópica. El control de este instrumento puede llevarse a cabo según dos estrategias: local, cuando el cirujano que envía las órdenes al robot que mueve el instrumental se encuentra en el quirófano en el que se realiza la operación; y remota, cuando el cirujano que ordena los movimientos del robot, y por tanto del instrumental que éste porta, se encuentra en una localización física distante del quirófano en el que se desarrolla el procedimiento quirúrgico. En la primera estrategia, se eliminan todos los problemas propios de la coordinación entre el ayudante y el cirujano, pues es éste quién decide cuándo y cómo se mueve el instrumental. En la segunda posibilidad, el cirujano presente en el quirófano puede recibir la ayuda y el consejo de otro cirujano, con más experiencia en una técnica concreta. Asimismo, esta estrategia puede utilizarse con fines formativos.

El sistema consta de un robot de tres grados de libertad, un efecto final especialmente diseñado para sujetar un instrumental quirúrgico para cirugía laparoscópica, un controlador para el brazo robot integrado en la estructura del mismo y un sistema de interfaz que permite interpretar las órdenes del cirujano y transmitirlas al controlador antes mencionado. Todo el sistema está dotado de alimentación eléctrica mediante baterías. El efecto 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 pasi-

vas 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.

Explicación de los dibujos

Figura 1: esquema general del sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica. Se muestra el 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 efecto final que sujeta el instrumento quirúrgico (representado como una flecha).

Figura 3: esquema articular del efecto final que sujeta el instrumento quirúrgico. Incluye dos articulaciones pasivas (a) y (b) que permiten que el instrumento quirúrgico 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.

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

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: diagrama de bloques del sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica. El controlador del robot se comunica con el sistema de interfaz, formado por un módulo interno, anexo al mencionado controlador e integrado en la estructura mecánica del brazo robot, unos medios de representación de información y unos medios de entrada de órdenes. Los mencionados medios de representación de información y medios de entrada de órdenes pueden tener una réplica situada en una localización distante, y comunicarse con el módulo interno anexo al controlador mediante una red de comunicaciones, para permitir que un usuario remoto interactúe con la intervención que se lleva a cabo en el quirófano en el que está presente el robot que pertenece al sistema.

Figura 7: sistema de referencia empleado para el cálculo de los movimientos que debe realizar el brazo en correspondencia con las órdenes recibidas. El eje Z sigue el del instrumento quirúrgico, con el sentido positivo apuntando al paciente. El eje X coincide en dirección con el eje de la primera articulación pasiva del efecto final. El eje Y coincide con el de la segunda articulación pasiva del efecto final. El sentido positivo de los ejes X e Y es el que se muestra en la figura.

Figura 8: cálculo del punto de pivote del instrumento quirúrgico una vez insertado en el paciente. El instrumento se mueve una distancia conocida dx en

una dirección también conocida del sistema de referencia situado en el propio instrumento (en la representación la dirección es la del semieje X positivo). L_0 es la distancia del punto de pivote al origen del sistema de referencia situado en el endoscopio; α_0 es el ángulo inicial en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado (en la representación, en el eje X); α_1 es el ángulo final en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado.

Descripción detallada de la invención

El sistema consta de un brazo robot de tres grados de libertad, un efecto final especialmente diseñado para sujetar un instrumento quirúrgico para cirugía laparoscópica, un controlador para el brazo robot integrado en la estructura del mismo y un sistema de interfaz que permite interpretar las órdenes del cirujano y transmitirlas al controlador antes mencionado. 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 expresa a través de los medios de entrada. Si es precisa la colaboración de un cirujano situado en una localización remota, el sistema también incluye unos medios de entrada para éste, conectados a una red de comunicaciones de características apropiadas.

El brazo robot está instalado sobre un montaje móvil 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. 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. Estos pueden ser locales, si el cirujano que los emplea está presente en el quirófano en el que se desarrolla la operación, o remotos, si los utiliza un cirujano que presta su ayuda desde una localización distante. Ambas posibilidades no son excluyentes, de manera que el control del robot quirúrgico puede ser ejercido por dos (o más) cirujanos alternativamente durante la misma intervención.

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 efecto 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 muñeca del robot se fija el efecto final antes mencionado (Figura 3). Consta de dos articulaciones pasivas (a) y (b) 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. 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 (a) es paralela a las dos articulaciones de revolución del brazo, mientras que la segunda (b) 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 sujet a 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 (a) y (b) y la óptica (c) de una cámara laparoscópica.

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 el efecto 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):

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix}$$

donde,

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), \\ m_{12} &= -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), \\ m_{13} &= 0, \\ m_{14} &= a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), \\ m_{21} &= \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), \\ m_{22} &= \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), \\ m_{23} &= 0, \\ m_{24} &= a_1 \sin(\theta_1) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), \\ m_{31} &= 0, \\ m_{32} &= 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{33} &= 1, \\ m_{34} &= d, \\ m_{41} &= 0 \\ m_{42} &= 0 \\ m_{43} &= 0 \\ m_{44} &= 1 \end{aligned}$$

siendo

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$, los ángulos de giro de las articulaciones primera, segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta, respectivamente,

a_1, a_2, a_3 , las longitudes de los elementos del robot que unen la articulación primera con la segunda, la segunda con la tercera y la tercera con la cuarta, respectivamente,

d , la distancia desde el plano X_0Y_0 hasta el plano X_1Y_1 .

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.

Anexo a este controlador 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, ya sean locales (dentro del quirófano) o remotos (en una localización física distante). 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 interactuar 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. Asimismo, puede encargarse de los procesos necesarios para permitir que estos medios de control a disposición del cirujano (incluyendo el programa de reconocimiento de voz) puedan usarse remotamente a través de una red de comunicaciones, bien local o bien de un ámbito mayor, como pueda ser Internet. Tanto las señales de los medios adicionales de control antes mencionados como las órdenes recibidas a través del 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 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 permite 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 (dibujadas por un cirujano en un equipo remoto), estado del sistema, información relativa al funcionamiento de otros equipos de quirófano (que también puede controlar 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 $K \cdot L$ ó $K^{-1} \cdot L$, respectivamente, en la dirección correspondiente.

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. Asimismo, en el caso de una operación con la colaboración de un cirujano situado en una localización remota, el módulo interno del sistema de interfaz puede encargarse de gestionar la comunicación entre el robot y los medios de entrada de órdenes a disposición del cirujano remoto. Estos medios de entrada pueden ser análogos a los mencionados para la variante local, y también (pero no exclusivamente) medios específicos, como un ratón de ordenador, un manipulador maestro, o una palanca de control (joystick). En la realización preferida, este conjunto de medios de entrada remotos toma la forma de un ordenador personal conectado a un sistema de comunicaciones de capacidad adecuada, en el que se ejecutan los programas de control y comunicaciones y al que están acoplados como periféricos los equipos de entrada de órdenes que prefiera el usuario (como un manipulador maestro, una pantalla táctil u otros). En la pantalla del ordenador se muestra la imagen laparoscópica obtenida en el quirófano remoto, y el usuario puede hacer marcas sobre ella para indicarle tareas al cirujano presente en el quirófano. Asimismo el usuario puede iniciar una videoconferencia, bien con el cirujano que lleva a cabo el procedimiento quirúrgico, bien con un tercero. El cirujano remoto también puede, si lo considera necesario, tomar el control del robot, para lo cual puede emplear los medios de entrada de órdenes que se hayan dispuesto en la realización del sistema de interfaz remoto. Por ejemplo (pero no exclusivamente), puede contar con un ratón, de manera que al picar sobre un punto de la imagen laparoscópica se le envíe al robot

la orden adecuada para centrar la imagen en el punto elegido. También puede contar con un interfaz de voz, botones, un manipulador maestro que reproduzca la forma de la herramienta instalada en el robot, u otros medios. La Figura 6 muestra un diagrama de bloques del sistema.

También es posible otra realización del mencionado sistema de interfaz remoto, en el que toma la forma de un computador de diseño específico, siempre que mantenga las características descritas para la realización preferida.

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.

Para el cálculo de los movimientos del robot anteriormente mencionados se establece un sistema de referencia en el efecto final del modo que se indica en la Figura 7. Para calcular las distancias y las direcciones del movimiento del brazo robot en respuesta a las peticiones del cirujano se procede del modo siguiente:

1) *Cálculo del punto de pivote*

Una vez insertado el endoscopio en el abdomen del paciente se calcula la situación del punto en el que el endoscopio atraviesa la piel del mismo. Éste se denomina punto de pivote, y será utilizado en cálculos posteriores. Para hallar su localización, se mueve el endoscopio una distancia conocida en una dirección también conocida del sistema de referencia situado en el endoscopio y se leen los valores de los ángulos del adaptador una vez completado ese movimiento. Luego, se calculan las coordenadas del punto de pivote para el sistema de referencia antes mencionado (Figura 8), según las siguientes ecuaciones:

$$40 \quad L_0 = \left| \frac{dx * \cos(\alpha_1)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_0)} \right|;$$

$$45 \quad x = L_0 * \sin(\alpha_{y0}) * \cos(\alpha_{x0});$$

$$y = -L_0 * \sin(\alpha_{x0});$$

$$z = L_0 * \cos(\alpha_{y0}) * \cos(\alpha_{x0});$$

50 donde (ver Figura 7)

L_0 es la distancia del punto de pivote al origen del sistema de referencia situado en el endoscopio;

dx es la magnitud del desplazamiento del endoscopio en una dirección conocida;

α_0 es el ángulo inicial en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado;

α_1 es el ángulo final en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado;

α_{x0}, α_{y0} son los ángulos iniciales en los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia del endoscopio;

α_{x1}, α_{y1} son los ángulos finales en los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia del

endoscopio.

La precisión en el cálculo de la distancia l puede mejorarse elevando el número de movimientos empleados para calcular el punto de pivote y promediando los resultados obtenidos. La operación del cálculo del punto de pivote sólo tiene que efectuarse una vez, al comienzo de la operación quirúrgica. El resultado queda almacenado en el sistema.

2) *Cálculo del movimiento a efectuar por el brazo robot*

Se fija una distancia (que puede mantenerse constante o variar a lo largo de la intervención quirúrgica) que será la que recorra el extremo del endoscopio en cada uno de sus movimientos en el plano XY del sistema de referencia mencionado más arriba. Para otros movimientos, puede mantenerse esta distancia o cambiarse por otra que se considere más adecuada. En general, para ambos tipos de movimiento el procedimiento es el siguiente:

- 1) Se averiguan los valores angulares de la posición actual, a través de las lecturas de los sensores colocados en el adaptador del endoscopio.
- 2) A partir de los ángulos y del incremento deseado se hallan las coordenadas en esféricas que tendrá el extremo del endoscopio tras el movimiento. Estas coordenadas esféricas se caracterizan como:

$$(\alpha_x, \alpha_y, \text{penetración})$$

donde la penetración se define como:

$$\text{penetración} = \text{Longitud total del endoscopio} - L_0$$

siendo L_0 la calculada anteriormente.

- 3) Puesto que conocemos la longitud total del endoscopio, calculamos las coordenadas cartesianas que ocupará la cámara tras el movimiento:

$$w = \text{Longitud total} - \text{penetración}$$

$$x = w * \text{Sen}(\alpha_y) * \text{Cos}(\alpha_x);$$

$$y = -w * \text{Sen}(\alpha_x);$$

$$z = w * \text{Cos}(\alpha_y) * \text{Cos}(\alpha_x);$$

donde (ver Figura 8)

Longitud total es la longitud total del endoscopio, desde el extremo hasta el origen del

5

10

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

sistema de referencia situado en la cámara.

penetración es la diferencia entre la longitud total del endoscopio y la longitud l hallada al calcular el punto de pivotaje.

w es la distancia del punto de pivote al origen del sistema de referencia situado en el endoscopio, actualizada al valor que tendrá después del movimiento;

α_x, α_y son los ángulos respecto a los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia del endoscopio;

- 4) Se le envía al robot la orden de alcanzar el punto resultado de la transformación anterior.

Aplicaciones

El sistema permite aplicar las características de precisión, seguridad y registro de movimientos propias de los robots a un campo como la cirugía, particularmente la cirugía mínimamente invasiva. El adaptador puede acoger cualquier endoscopio de los utilizados en estas técnicas quirúrgicas, como cámaras de laparoscopia, resectores de próstata, etc. En el caso de 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. Igualmente, la posibilidad de usar los medios de control a distancia, mediante el empleo de redes de comunicaciones, permite la posibilidad de aplicar conceptos como el diagnóstico compartido, y llegar hasta la realización de tareas quirúrgicas por parte de un cirujano no presente en el quirófano. Otra característica es que, en virtud de su alimentación mediante baterías, su inclusión en un quirófano no requiere ninguna modificación, lo que facilita su puesta en explotación.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica, capaz de mover un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano presente en el quirófano o situado en una localización distante, **caracterizado** por el uso de un brazo robot de tres grados de libertad, un efecto 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 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. El mencionado módulo anexo al controlador del robot también se encarga de preparar y presentar al cirujano los datos que requiera para llevar a cabo la operación con mayor seguridad, donde todo el conjunto se encuentra alimentado mediante baterías.

2. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según la reivindicación 1), en el que el robot manipulador presenta la configuración de grados de libertad que se muestra en la Figura 2.

3. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1) y 2), en el que el controlador o el módulo anexo del sistema de interfaz lleva a cabo un registro de los movimientos realizados por el robot y las posiciones ocupadas por el instrumento quirúrgico a lo largo de toda la operación.

4. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1) y 2), en el que el sistema de interfaz permite que las órdenes emitidas por el cirujano, y las imágenes representadas para permitir a éste llevar a cabo la operación, lo sean sobre un computador comunicado con el robot por medio de una red de comunicaciones.

5. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2) y 4), en el que entre los medios de entrada de órdenes se encuentra un sistema de reconocimiento de voz y un micrófono.

6. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2), 4) y 5), en el que el micrófono está integrado en la estructura mecánica del brazo robot.

7. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2), 4) y 5), en el que el micrófono es inalámbrico y es portado por el propio cirujano que usa el sistema.

8. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2) y 4), en el que sobre la pantalla de vídeo en la que se muestra la imagen de la cámara laparoscópica se presenta información relativa al funcionamiento del sistema, a los demás equipos del quirófano y su funcionamiento, y/o marcas dibujadas por un cirujano situado en una localización física distante.

9. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2), 4) y 8), en el que la pantalla se encuentra unida a la estructura mecánica del robot mediante un mecanismo que permite al cirujano situarla con libertad en la posición más conveniente.

10. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2), 4),

8) y 9), en el que la pantalla es táctil, y el cirujano puede utilizarla también como medio de entrada de órdenes al sistema.

5 11. Sistema de teleoperación de robots para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1), 2), 4), 8), 9) y 10), en el que la pantalla táctil también puede utilizarse para controlar otros equipos presentes en el quirófano.

10 12. Un efecto final para cirugía laparoscópica que añade a la configuración del robot dos grados de libertad pasivos, de modo que los grados de libertad pasivos permiten que el endoscopio se mueva de una manera natural, similar al modo en que se mueve cuando lo maneja una persona.

15 13. Un efecto final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 12), que permite que el endoscopio pueda soltarse cuando se requiera sin que sea preciso el empleo de herramientas.

20 14. Un efecto final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 13) que cuenta con dos articulaciones pasivas dotadas de sensores que permiten conocer la posición angular de las dos articulaciones.

25 15. Un efecto final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 14) en el que se emplea más de un sensor por articulación para promediar las medidas y para detección de fallos.

30 16. Un efecto final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 14) en la que los sensores empleados son potenciómetros.

35 17. Un efecto final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 14) en la que los sensores empleados son codificadores angulares ópticos o *encoders*.

40 18. Un efecto final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 14), en el que la disposición de los grados de libertad pasivos es la que se muestra en la Figura 3.

45 19. Un procedimiento para calcular el punto de pivote del endoscopio una vez insertado en el paciente basado en los siguientes pasos: movimiento del endoscopio una distancia conocida en una dirección también conocida de un sistema de referencia situado en el endoscopio, con el eje Z según el eje del endoscopio; lectura de los valores de los ángulos una vez completado ese movimiento; cálculo de las coordenadas del punto de pivote para el sistema de referencia antes mencionado, según las siguientes ecuaciones:

$$50 \quad 1 = \left| \frac{d * \cos(\alpha_1)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_0)} \right|;$$

$$x = 1 * \sin(\alpha_{y0}) * \cos(\alpha_{x0});$$

$$55 \quad y = -1 * \sin(\alpha_{x0});$$

$$z = 1 * \cos(\alpha_{y0}) * \cos(\alpha_{x0});$$

60 donde l es la distancia del punto de pivote al origen del sistema de referencia situado en el endoscopio; α_0 es el ángulo inicial en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado; α_1 es el ángulo final en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado; α_{x0}, α_{y0} son los ángulos iniciales en los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia del endoscopio; α_{x1}, α_{y1} son los ángulos finales en los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia

del endoscopio.

20. Un procedimiento para calcular el punto de pivote del endoscopio una vez insertado en el paciente

según la reivindicación 19) en la que se realizan varios movimientos y se promedia el valor de l .

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

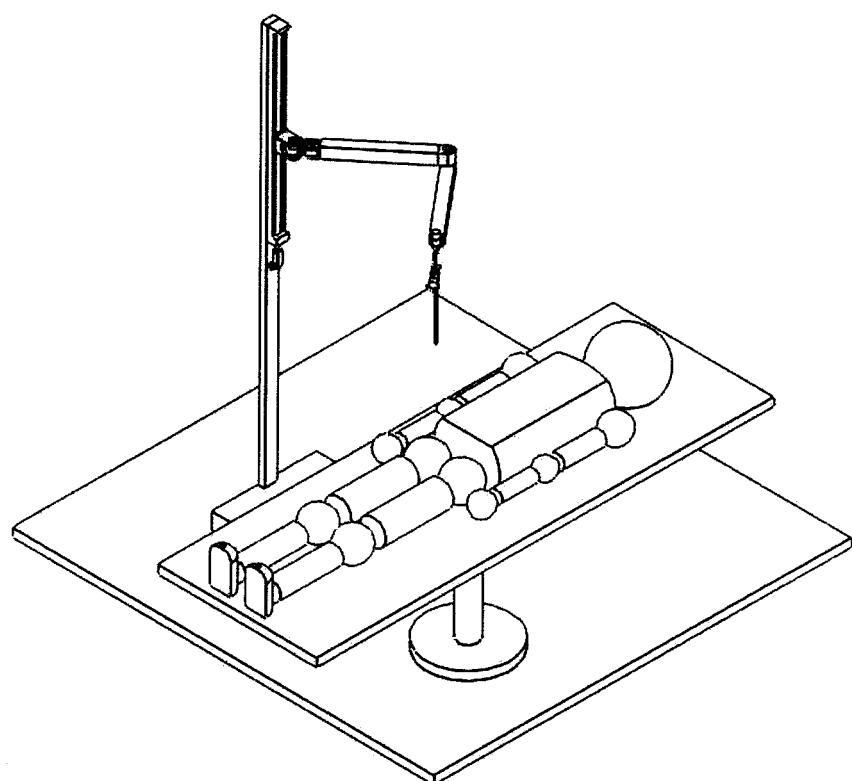


Figura 1

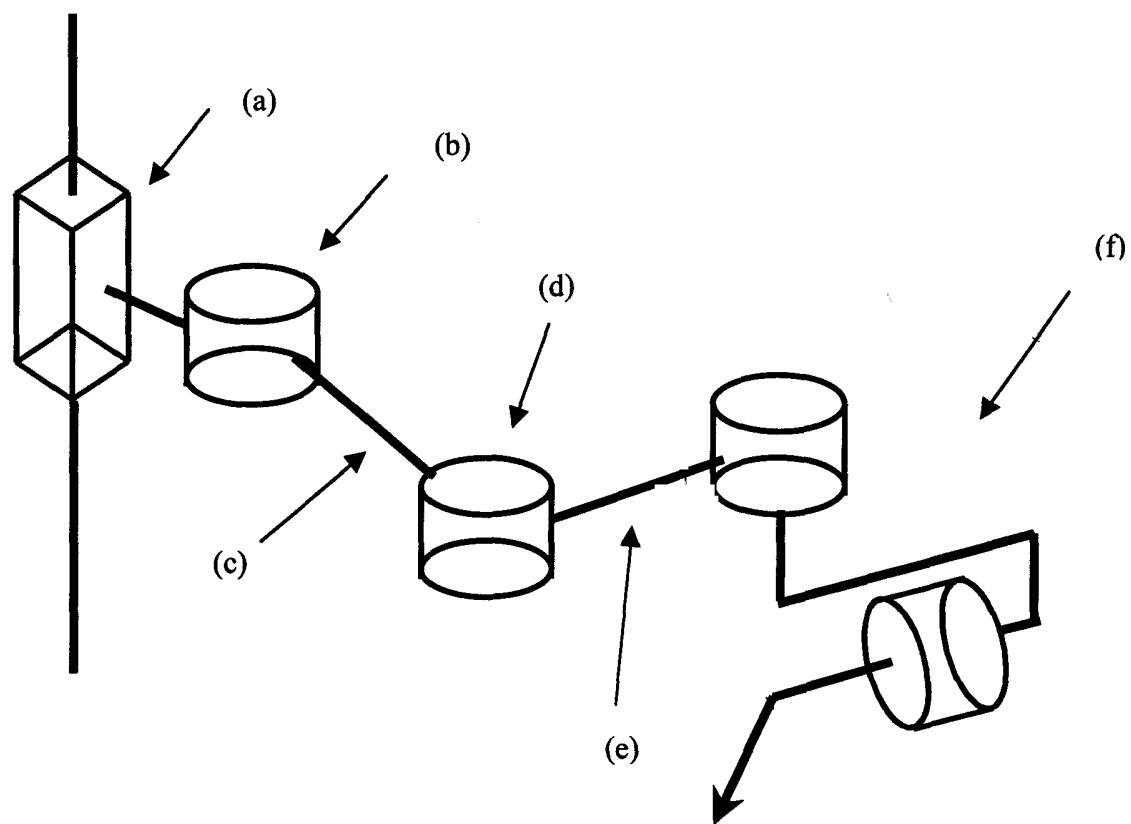


Figura 2

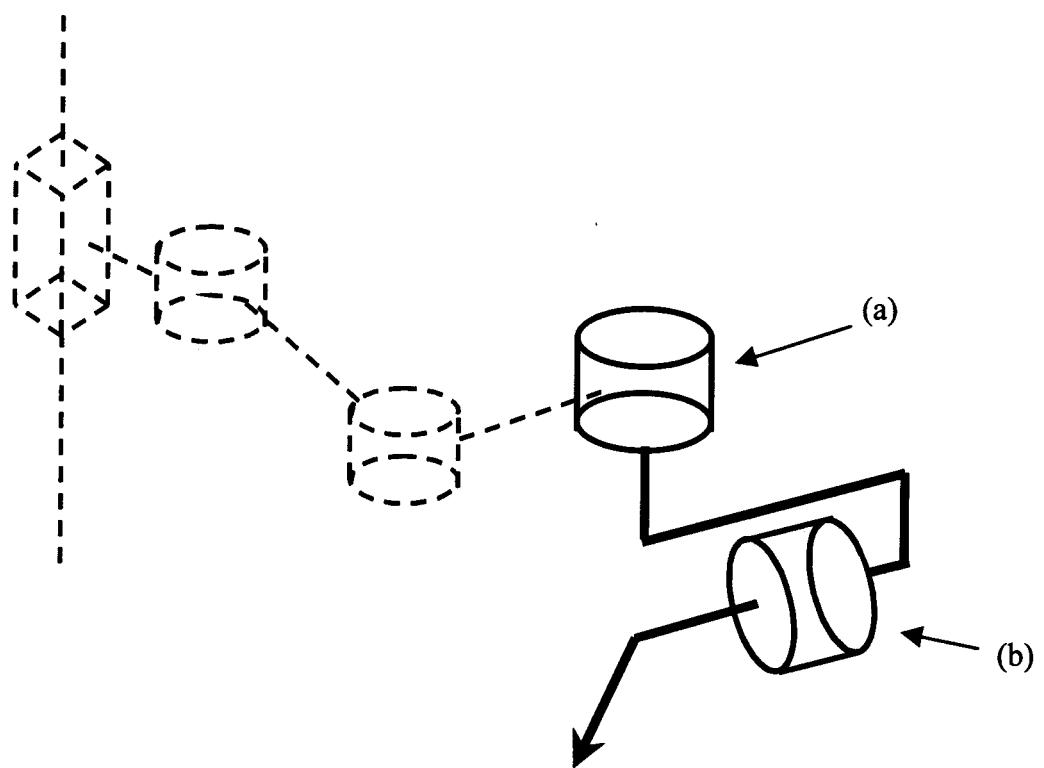


Figura 3

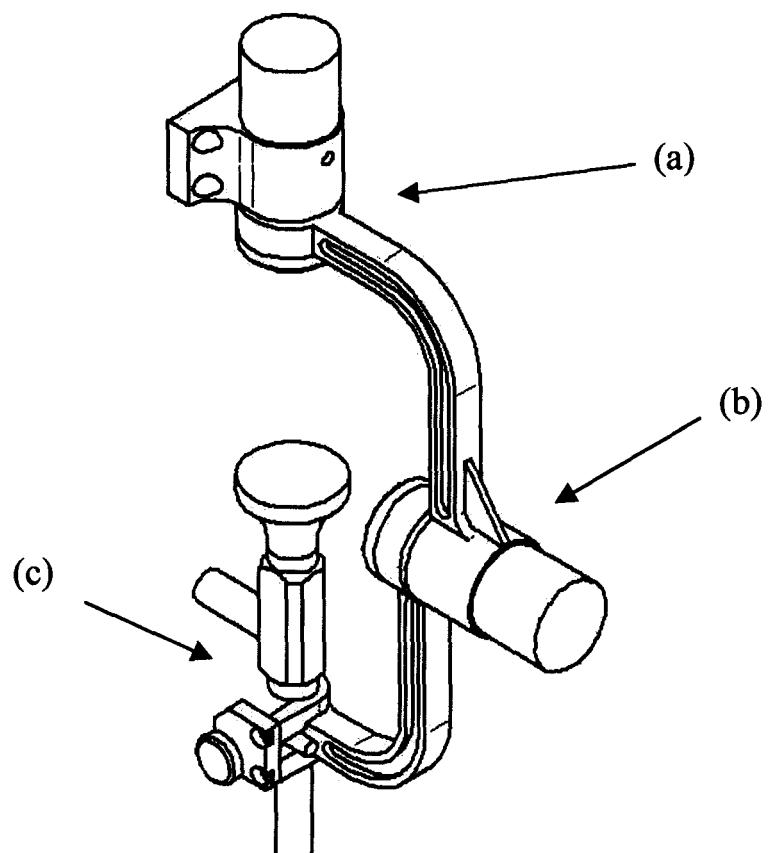


Figura 4

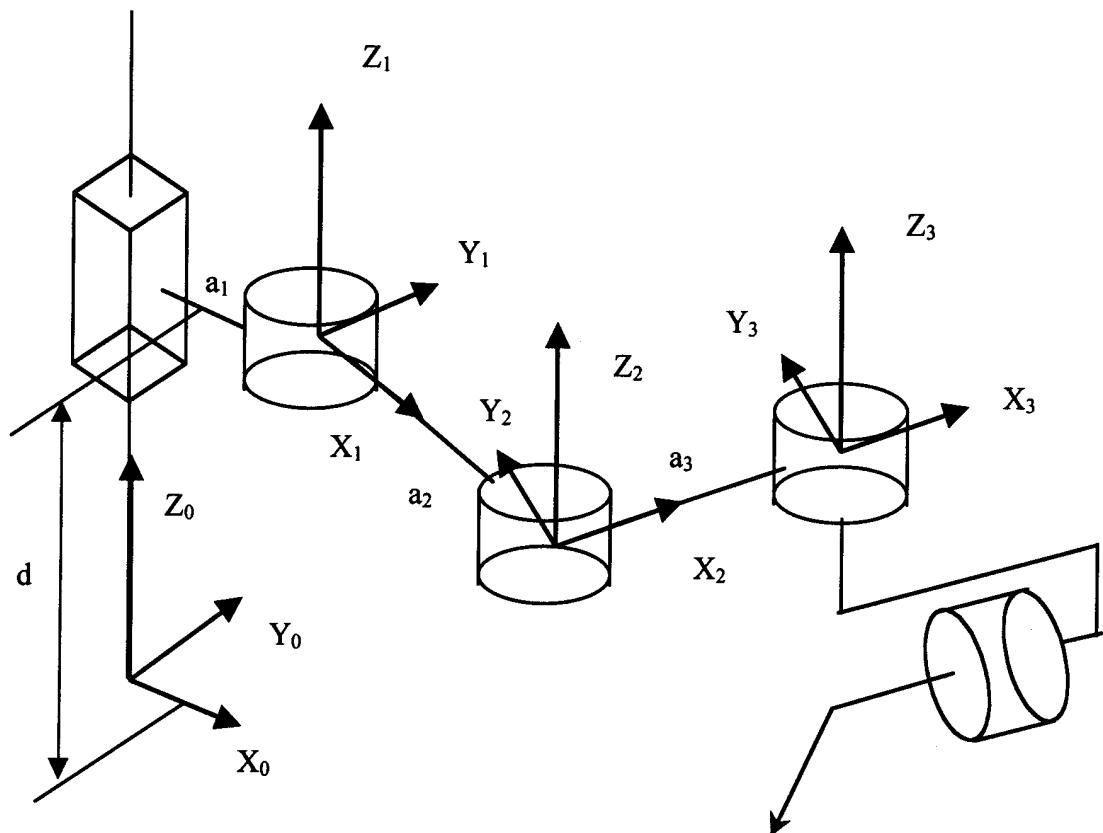


Figura 5

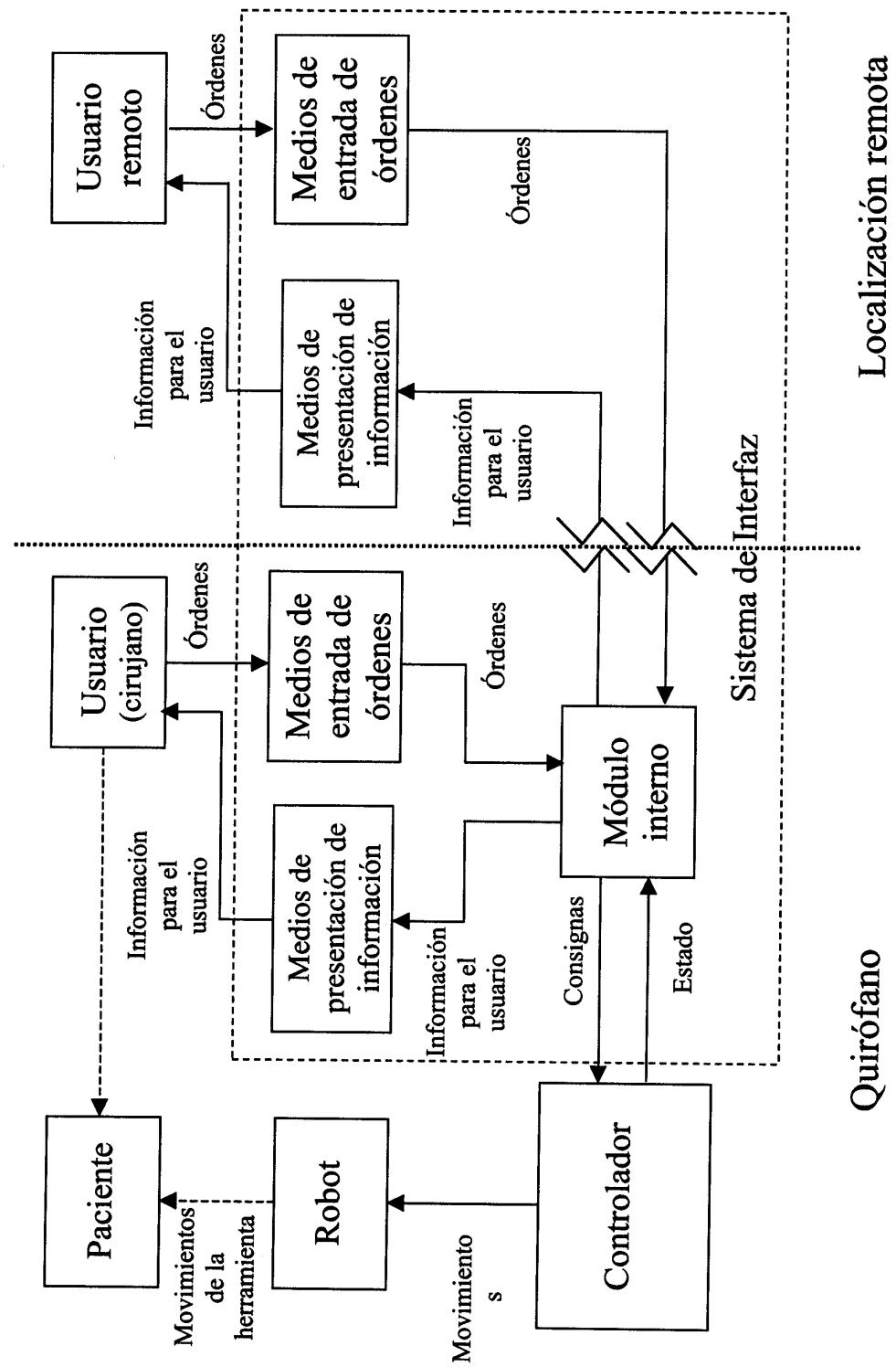


Figura 6

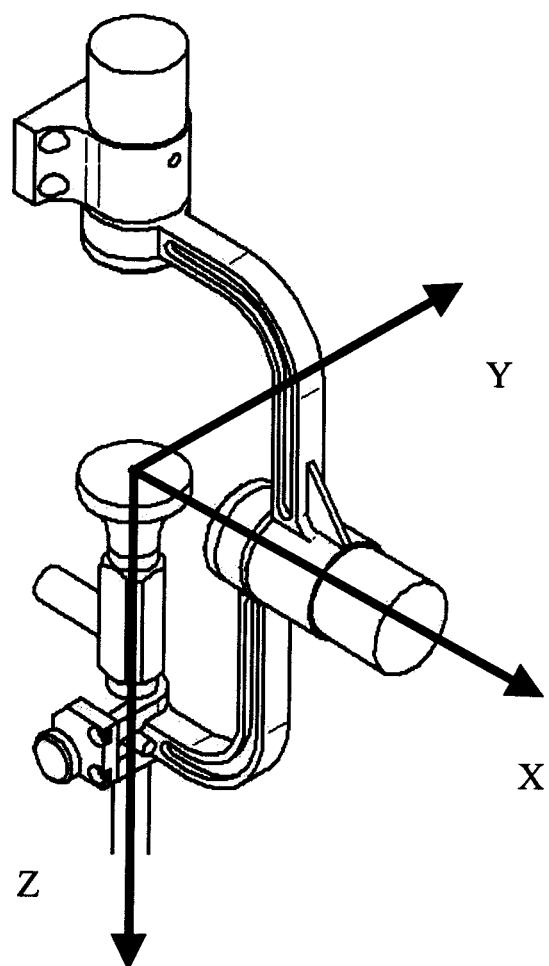


Figura 7

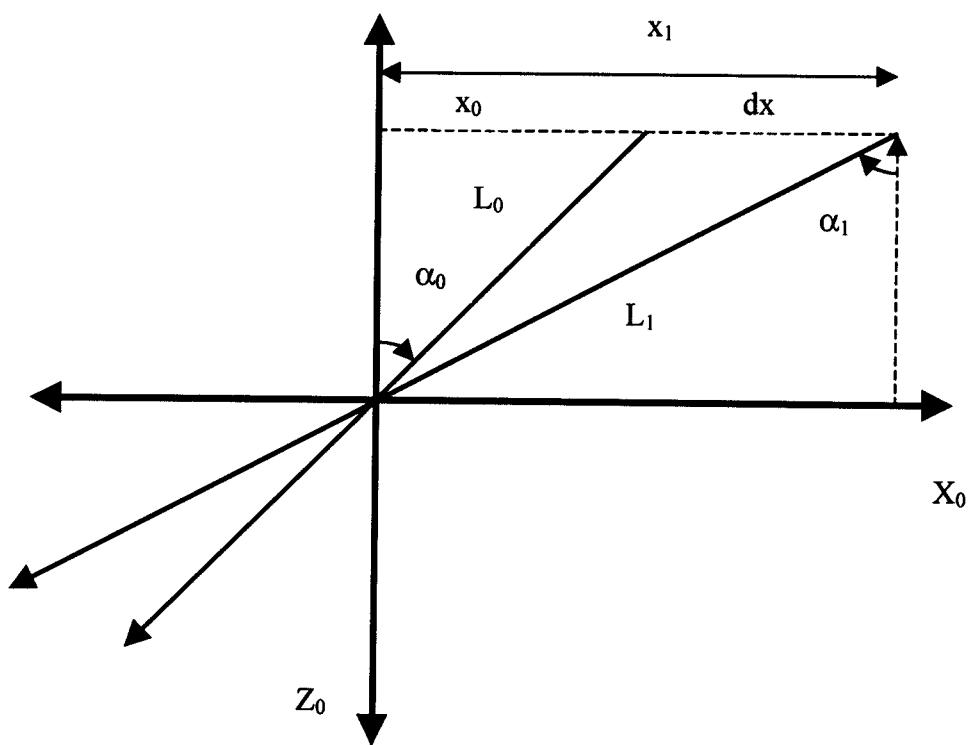


Figura 8



INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ **Int. Cl.7:** A61B 17/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
E	ES 2181526 A (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA) 16.02.2003, reivindicaciones.	1-5,12-20
X	ES 2150880 A (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA) 01.12.2000, reivindicaciones.	12-20
X	US 5784542 A (OHM et al.) 21.07.1998, columna 2, línea 12 - columna 3, línea 45.	1
A		3,4,14-17
A	US 20010018591 A (BROCK et al.) 30.08.2001, página 2, párrafos 33-38.	1,3,4
A	US 5368015 A (WILK) 29.11.1994, reivindicaciones 7-14.	1,4,8
A	WO 0007503 A (INTUITIVE SURGICAL INC.) 17.02.2000, reivindicaciones.	1

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 n:

Fecha de realización del informe 19.02.2004	Examinador A. Cárdenas Villar	Página 1/1
--	----------------------------------	---------------