



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 181 526**

⑫ Número de solicitud: 200000603

⑬ Int. Cl.7: **A61B 17/00**  
**A61B 1/00**

⑭

## PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **13.03.2000**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.02.2003**

Fecha de la concesión: **24.02.2004**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:  
**01.08.2003**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **01.04.2004**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**01.04.2004**

⑲ Titular/es: **Universidad de Málaga**  
**Plaza de El Ejido s/n**  
**29071 Málaga, ES**

⑳ Inventor/es: **Muñoz Martínez, Víctor Fernando;**  
**Gómez de Gabriel, Jesús Manuel;**  
**Fernández Lozano, Jesús;**  
**García Cerezo, Alfonso y**  
**Vara Thorbeck, Carlos**

㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica.**

㉓ Resumen:

Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica, capaz de mover un instrumento quirúrgico en respuesta a las órdenes de un cirujano. El sistema consta de un robot dotado de un efector final que permite sujetar un instrumento quirúrgico, un controlador para el robot y un computador que permite interpretar las órdenes emitidas por el cirujano, bien mediante un sistema de reconocimiento de voz, bien mediante un teclado adosado al brazo robot.

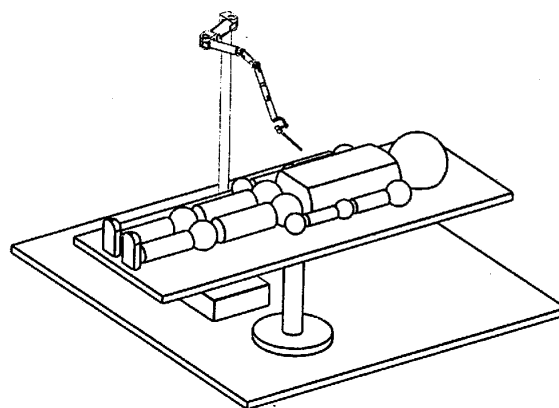


Figura 1

ES 2 181 526 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Sistema robótico asistente 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 consiguiente 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 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.

### Breve resumen de la invención

La presente memoria describe un sistema robótico que permite manejar con seguridad un instrumento quirúrgico en las operaciones de cirugía laparoscópica. El control de este instrumento lo realiza el propio cirujano mediante un sistema de reconocimiento de voz, eliminándose así todos los problemas propios de la coordinación entre el cirujano y un ayudante. Además, cuando dicho sistema se utiliza para mover la cámara empleada en la intervención mediante cirugía laparoscópica, consigue mejorar considerablemente las características de la imagen que obtiene el

cirujano, tanto por su estabilidad como por su correspondencia con los deseos del propio cirujano. Como sistema alternativo para posicionar la cámara se utiliza una palanca de mando.

El sistema consta de un robot de tres grados de libertad, efector final especialmente diseñado para sujetar un instrumento quirúrgico para cirugía laparoscópica, que además permite hacer girar el instrumento quirúrgico sobre su propio eje, un controlador para el brazo robot y un computador que permite interpretar las órdenes del cirujano y transmitir las al controlador antes mencionado. 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 el endoscopio es un humano, frente a lo que pasaría si el instrumento estuviese fijado directamente a la muñeca del robot, en que 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. Dependiendo 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. El efector final antes mencionado dispone, además, de un grado de libertad motorizado que permite hacer girar el endoscopio en torno a su propio eje. Ello permite emplear eficazmente endoscopios con óptica inclinada (esto es, aquellos que muestran no la imagen que se encuentra en la continuación del eje del endoscopio, sino en un cierto ángulo respecto a éste).

### Descripción detallada de la invención

El sistema consta de un brazo robot de tres grados de libertad, un efector final especialmente diseñado para sujetar un instrumento quirúrgico para cirugía laparoscópica, un controlador para el brazo robot y un computador que permite interpretar las órdenes del cirujano y transmitir las al controlador antes mencionado.

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 pueden colocarse el controlador y el computador antes mencionado, aunque también pueden disponerse en otra localización dentro del quirófano.

El brazo robot (Figura 2) consta de una primera articulación prismática (a) que puede moverse bien manualmente, para ajustar la altura del resto del conjunto del brazo robot, bien automáticamente, integrada en los movimientos que hace el brazo para seguir las consignas del usuario. 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). Una cuarta articulación de revolución (f) se encuentra unida a este miembro (e), imprimiendo a un cuarto miembro (g) un movimiento en el mismo plano que las articulaciones (b) y (d), con la salvedad de que, a diferencia de éstas, la articulación (f) no cuenta con un actuador propio, siendo su movimiento esclavo del movimiento de las articulaciones (b) y (d) mediante el concurso de un sistema de cables. Este sistema permite que el miembro (g) mantenga siempre su orientación inicial, lo que de otro modo requeriría un actuador propio en la articulación (f) y un sistema de control más complicado. El conjunto se completa con una articulación de revolución (h) unida al miembro (g), pero moviendo a un elemento (i) en un plano perpendicular al plano x-y antes mencionado. A este miembro (i) va unido un efector final (j) 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.

El sistema de cables mencionado para obtener el movimiento de la articulación de revolución (f) sin emplear un actuador y un controlador propios se basa en el uso de polígonos articulados (Figura 3). Al miembro (c) va adosado un paralelepípedo articulado (k), de manera que el lado menor (l) es siempre paralelo al otro lado menor (m). Igualmente se dispone otro paralelepípedo articulado solidario al miembro (e), de manera que sus lados menores son paralelos a aquéllos del paralelepípedo (k). De este modo, al mover el miembro (e), el lado menor (n) del segundo paralelepípedo se mantiene paralelo al otro lado menor (ñ), y éste a su vez es paralelo al lado (m) y por tanto al (l). Por tanto, con el movimiento de las articulaciones (b) y (d) (ambas motorizadas) la articulación (f) se mueve de manera que el elemento (g) siempre se mantiene paralelo a su posición inicial. Idealmente, estos paralelogramos articulados se disponen en el interior de los elementos (c) y (f), de modo que no sean visibles y el conjunto ocupe menos espacio. Así mismo, esto impide que se interfiera el movimiento de los paralelepípedos y por tanto el del propio brazo. Preferentemente estos paralelepípedos tienen sus lados mayores hechos de cable no elástico de suficiente resistencia, aunque también pueden hacerse mediante varillas rígidas.

En la muñeca del robot se fija el efector final antes mencionado (Figura 4). 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, de modo que este valor pueda quedar disponible para el sistema. Estos sensores pueden ser, por ejemplo, potenciómetros o sensores medidores de la posición angular. 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. Así mismo, el adaptador que sujeta el instrumento quirúrgico (ver Figura 5) dispone de medios para hacer girar el endoscopio en torno a su propio eje, y sensores para conocer el ángulo girado. Estos medios constan de un anclaje flexible que permite retirar con rapidez la óptica del endoscopio sin necesidad de herramientas, pero que igualmente sujeta con seguridad y firmeza dicho elemento. Este anclaje consta de dos ruedas (a) cubiertas de goma flexible y dispuestas en los extremos de una pinza (b) que se mantiene con un determinado ángulo de apertura, por ejemplo mediante el concurso de un muelle. En esta pinza (b) se introduce la óptica del endoscopio, de modo que se mantiene fija mediante la intervención de una tercera rueda (c) también cubierta de goma. A esta rueda (c) se le comunica un movimiento de rotación, por ejemplo mediante un tren de engranajes o una correa de transmisión, actuando como origen de tal movimiento un actuador (d), que puede ser un servo o un motor eléctrico, aunque también puede ser cualquier otro medio de actuación lo suficientemente pequeño y preciso.

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 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 (ver Figura 6):

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

donde,

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos(\theta_5 + \theta_6) \sin(\theta_4) + \cos(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_4) \\ m_{12} &= \cos(\theta_5 + \theta_6) \sin(\theta_3) \sin(\theta_5 + \theta_6) \\ m_{13} &= \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_5 + \theta_6) + \cos(\theta_1 + \theta_2) (-\cos(\theta_5 + \theta_6) \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) \cos(\theta_4) \sin(\theta_5 + \theta_6)) \\ m_{14} &= \frac{1}{2}(2a_1 \cos(\theta_1)) + 2 \cos(\theta_1 + \theta_2)(a_2 + a_3 \cos(\theta_3)) \\ m_{21} &= \cos(\theta_5 + \theta_6)(\cos(\theta_3) \cos(\theta_4) \sin(\theta_1 + \theta_2) - \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_4)) + \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_3) \sin(\theta_5 + \theta_6) \\ m_{22} &= \cos(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_4) + \cos(\theta_3) \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_4) \\ m_{23} &= \sin(\theta_5)(\cos(\theta_6)(\cos(\theta_3) \cos(\theta_4) \sin(\theta_1 + \theta_2) - \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_4)) + \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_3) \sin(\theta_5 + \theta_6)) \cos(\theta_5) \cos(\theta_6) \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_3) - \sin(\theta_6) (\cos(\theta_3) \cos(\theta_4) \sin(\theta_1 + \theta_2) + \cos(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_4)) \\ m_{24} &= \frac{1}{2}(2a_1 \sin(\theta_1) + 2 \sin(\theta_1 + \theta_2)(a_2 + a_3 \cos(\theta_3))) \\ m_{31} &= \cos(\theta_4) \cos(\theta_5 + \theta_6) \sin(\theta_3) \sin(\theta_5 + \theta_6) \\ m_{32} &= \sin(\theta_3) \sin(\theta_4) \\ m_{33} &= \cos(\theta_3) \cos(\theta_5 + \theta_6) + \cos(\theta_4) \sin(\theta_3) \sin(\theta_5 + \theta_6) \\ m_{34} &= a_3 \sin(\theta_3) \\ m_{41} &= 0 \\ m_{42} &= 0 \\ m_{43} &= 0 \\ m_{44} &= 1 \end{aligned}$$

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.

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 computador encargado de manejar la interfaz de usuario. En este computador puede ejecutarse un programa de reconocimiento de voz que permita interpretar las órdenes del cirujano. Igualmente, puede recibir las señales que produzcan otros medios de control a la disposición del cirujano, tales como un teclado o una palanca de control. Así mismo, 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 consignas que se envían al controlador del robot. Estas indican los movimientos que debe realizar el brazo.

Este computador anexo también puede encargarse 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.

Otra tarea que puede asumir el computador anexo al sistema es la vigilancia del controlador del robot, de modo que pueda interrumpir el funcionamiento de éste si detecta algún tipo de anomalía que pueda afectar a la seguridad de la operación que se esté realizando. Físicamente, este computador puede situarse junto al controlador del robot o a cierta distancia de éste, estando unidos en este caso mediante un enlace de datos conveniente, como puede ser un enlace serie o uno del tipo ethernet o similar.

Para el cálculo de los movimientos del robot anteriormente mencionados se establece un sistema de referencia en el efector 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 pivotaje

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. Este se denomina punto de pivotaje, 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 pivotaje para el sistema de referencia antes mencionado (Figura 8), según las siguientes ecuaciones:

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

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

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

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

donde (ver Figura 8)

$L_0$  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;

$\alpha_0$  es el ángulo inicial en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado;

$\alpha_1$  es el ángulo final en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado;

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

$\alpha_{x1}, \alpha_{y1}$  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 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 pivotaje al origen del sistema de referencia situado en el endoscopio, actualizada al valor que tendrá después del movimiento;

$\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  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.

### Explicación de los dibujos

Figura 1: esquema general del sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica. Se muestra el

brazo robot montado en el soporte móvil 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 del sistema de cables empleado para obtener el movimiento de la tercera articulación de revolución sin emplear un actuador y un controlador propios.

Figura 4: dos vistas del efector 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. Una tercera articulación (c) permite que el instrumento quirúrgico gire en torno a su propio eje controlado por el sistema. En la figura aparece representado sosteniendo una cámara de laparoscopia.

Figura 5: subconjunto del efector final para permitir el giro del instrumento quirúrgico en torno a su propio eje. En el esquema aparece representado sujeta una cámara de laparoscopia, en cuyo caso la cámara permanece fija y sólo gira la óptica. Consta de dos ruedas (a) recubiertas de goma flexible y dispuestas en los extremos de una pinza (b) que se mantiene con un determinado ángulo de apertura, por ejemplo mediante el concurso de un muelle (no representado). En esta pinza (b) se introduce la óptica del endoscopio, de modo que se mantiene fija mediante la intervención de una tercera rueda (c) también cubierta de goma, a la que se le comunica un movimiento de rotación, por ejemplo mediante un tren de engranajes o una correa de transmisión, actuando como origen de tal movimiento un actuador (d).

Figura 6: 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 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 efector final. El eje Y coincide con el de la segunda articulación pasiva del efector final. El sentido positivo de los ejes X e Y es el que se muestra en la figura.

Figura 8: cálculo del punto de pivotaje 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;  $\alpha_0$  es el ángulo inicial en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado (en la representación, en el eje X);  $\alpha_1$  es el ángulo final en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica, **caracterizado** porque usa

- un brazo robot de varios grados de libertad dispuestos consecutivamente: un grado de libertad prismático ajustable manualmente, dos grados de libertad dotados de actuadores, un grado de libertad sin actuador, cuyo movimiento es esclavo del movimiento de los dos grados de libertad anteriores, y un grado de libertad con actuador cuyo eje de rotación está en un plano horizontal;
- un efector final de dos grados de libertad pasivos dispuestos perpendicularmente entre sí, que permite sujetar el endoscopio requerido para el procedimiento quirúrgico para el que se emplee el sistema;
- un controlador para el brazo robot; y
- un computador que interpreta las órdenes que emita el cirujano, bien mediante la voz o bien mediante otros métodos, y prepara y presenta al cirujano los datos que requiera para llevar a cabo la operación con mayor seguridad.

2. Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica según la reivindicación 1), en el que el computador 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, de manera que pueden reconstruirse a posteriori los movimientos que ambos han realizado durante dicha operación.

3. Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica según las reivindicaciones 1) y 2), en el que el computador recibe las órdenes generadas por el usuario a través de una red de comunicaciones, bien local o bien de un ámbito mayor, como pueda ser Internet.

4. Un efector final para cirugía laparoscópica que añade a la configuración del robot dos grados de libertad pasivos y uno activo, 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, y el grado de libertad activo permite hacer girar al endoscopio en torno a su eje longitudinal.

5. Un efector final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 4) que permite que el endoscopio pueda soltarse cuando se requiera sin que sea preciso el empleo de herramientas.

6. Un efector final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 5) que cuenta con dos articula-

ciones pasivas dotadas de sensores que permiten conocer la posición angular de las dos articulaciones.

7. Un efector final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 6) que cuenta con una articulación activa que permite hacer girar el endoscopio en torno a su eje longitudinal, y dotado de sensores que permiten conocer su posición angular respecto a dicho eje de giro.

8. Un efector final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 7) en el que se emplea más de un sensor por articulación para promediar las medidas y para detección de fallos.

9. Un efector final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 8) en la que los sensores empleados son potenciómetros.

10. Un efector final para cirugía laparoscópica según la reivindicación 8) en la que los sensores empleados son *encoders*.

11. 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:

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

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

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

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

donde  $l$  es la distancia del punto de pivote al origen del sistema de referencia situado en el endoscopio;  $\alpha_0$  es el ángulo inicial en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado;  $\alpha_1$  es el ángulo final en uno de los ejes del sistema de referencia antes mencionado;  $\alpha_{x0}$ ,  $\alpha_{y0}$  son los ángulos iniciales en los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia del endoscopio;  $\alpha_{x1}$ ,  $\alpha_{y1}$  son los ángulos finales en los ejes X e Y respectivamente del sistema de referencia del endoscopio.

12. Un procedimiento para calcular el punto de pivote del endoscopio una vez insertado en el paciente según la reivindicación 11) en la que se realizan varios movimientos y se promedia el valor de  $l$ .

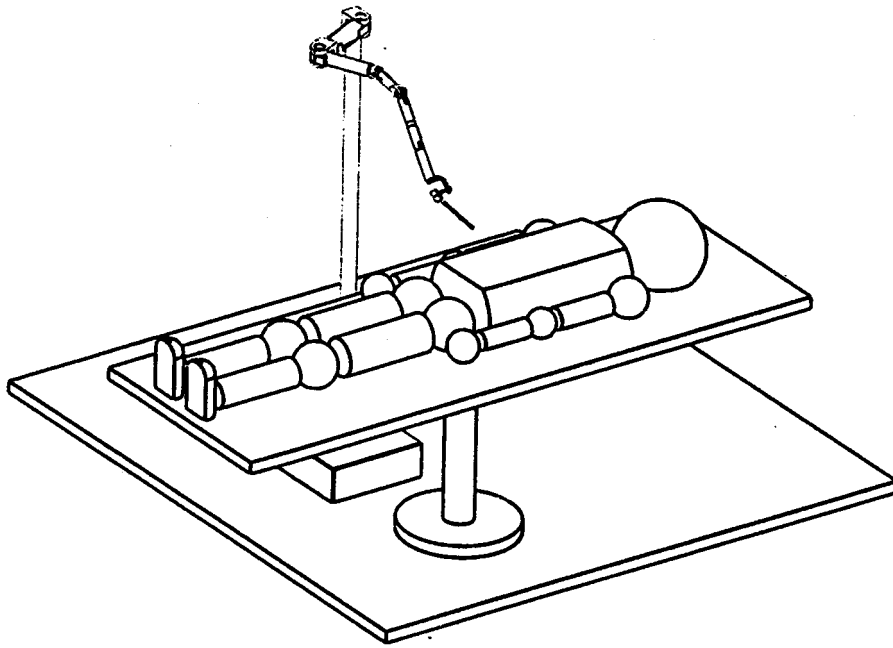


Figura 1

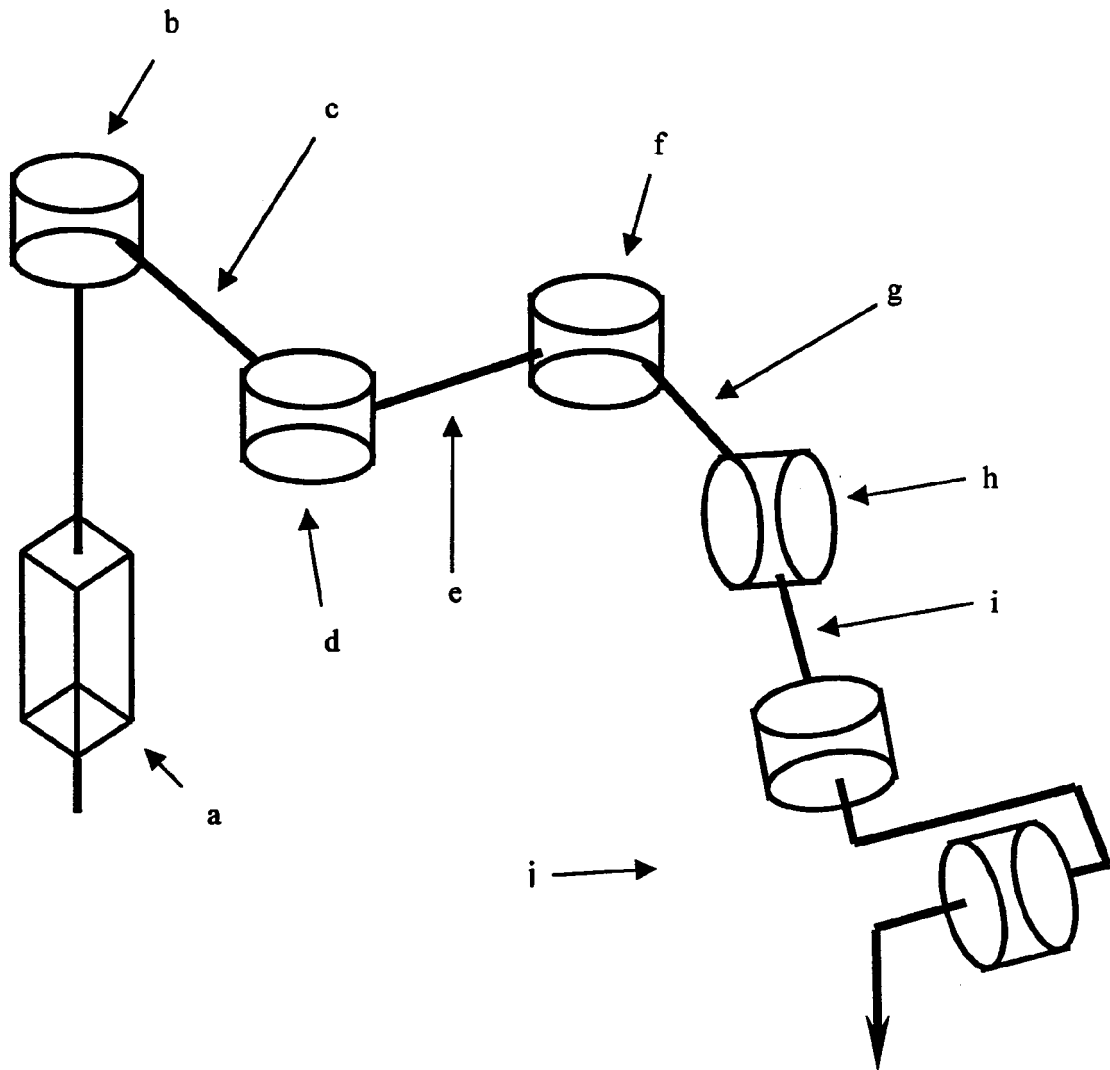


Figura 2

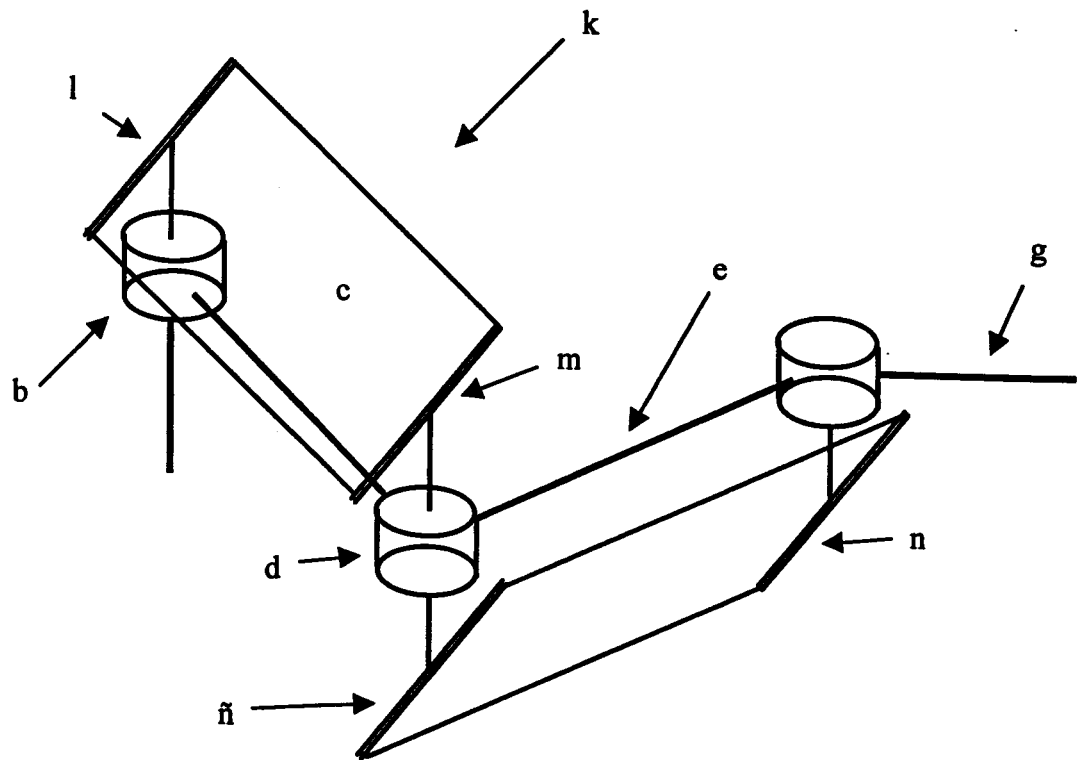


Figura 3

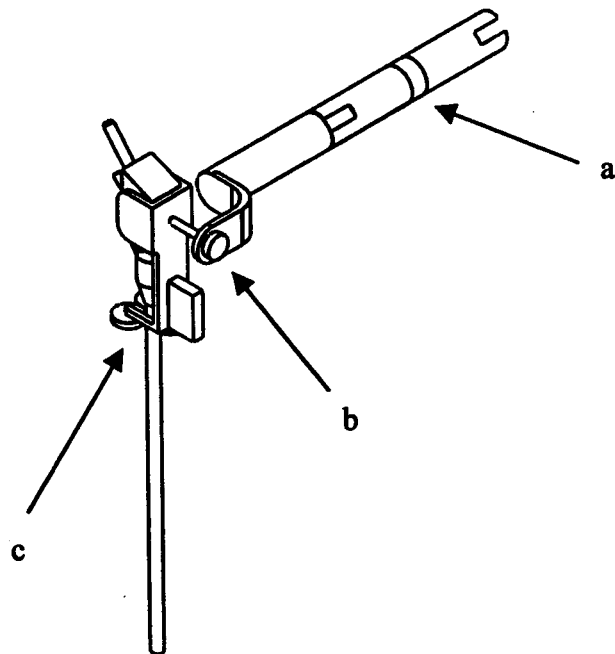
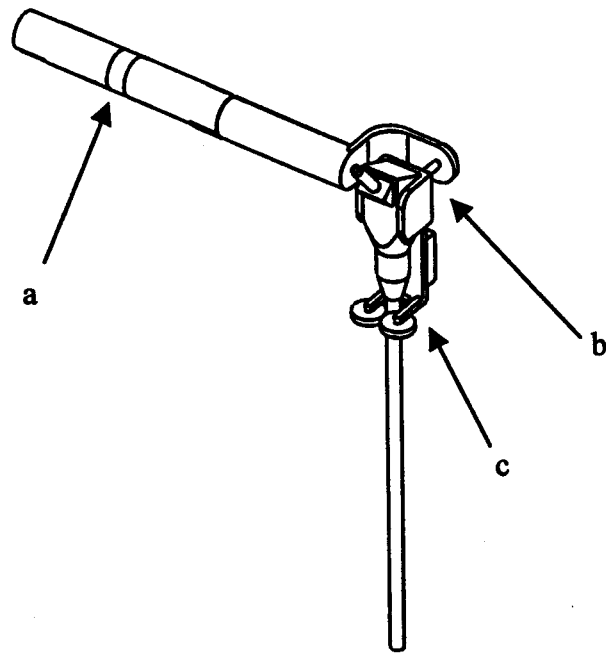


Figura 4

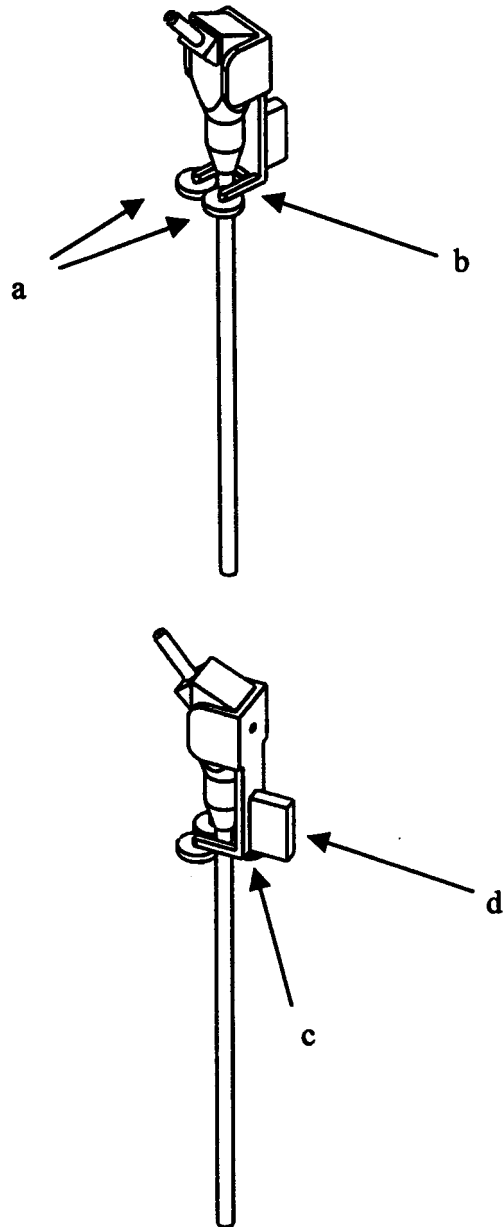


Figura 5

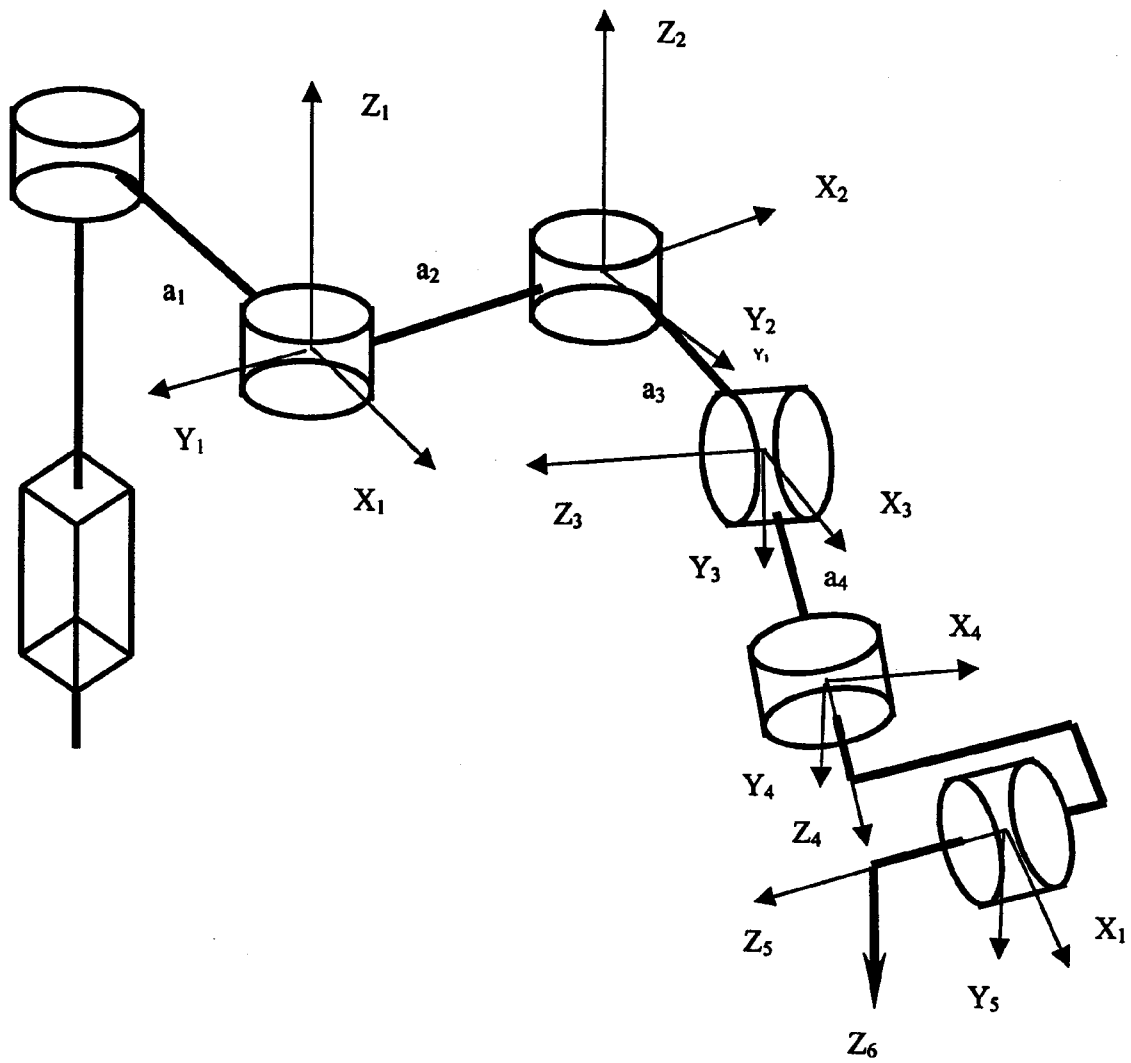


Figura 6

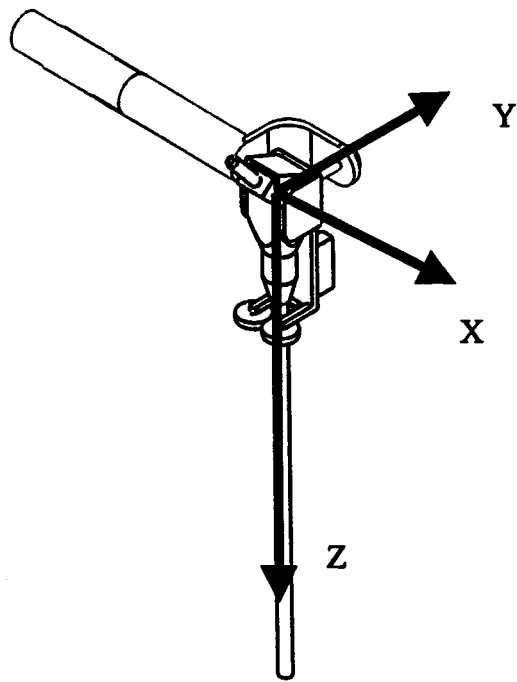


Figura 7

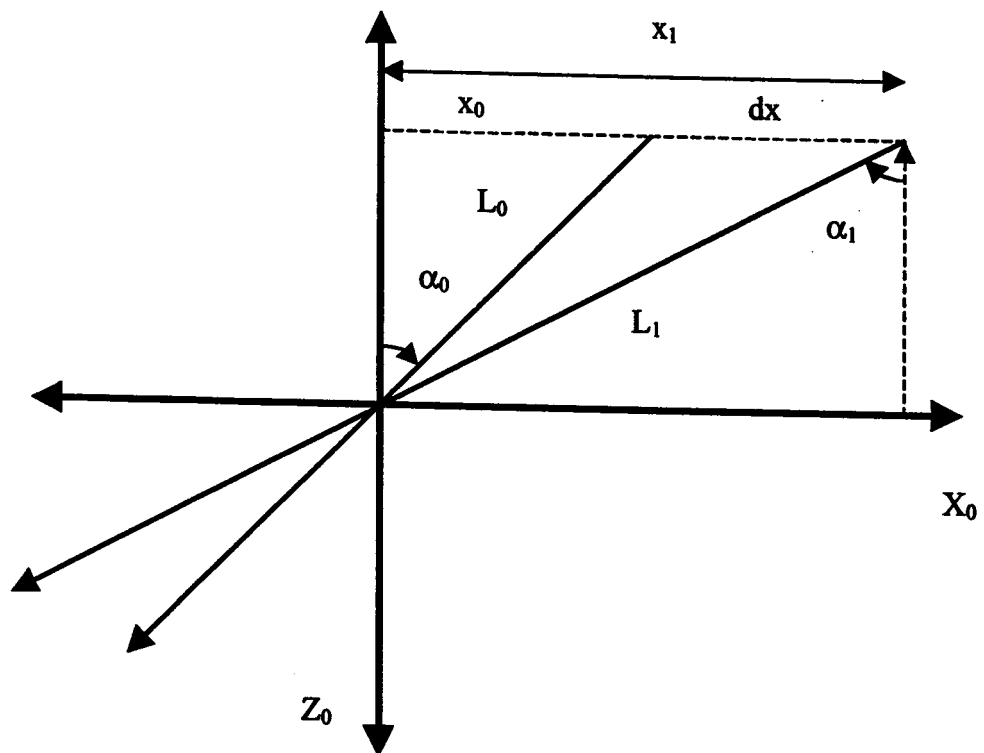


Figura 8



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 181 526

⑫ Nº de solicitud: 200000603

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 13.03.2000

⑭ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.7: A61B 17/00, 1/00

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
E	ES 2150880 A1 (UNIVERSIDAD DE MÁLAGA) 01.12.2000, reivindicaciones.	1
X	WO 9950721 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 07.10.1999, reivindicaciones.	1
A		2-12
X	WO 9729690 A1 (COMPUTER MOTION INC) 21.08.1997, página 4, línea 7 - página 6, línea 24; página 9, línea 9 - página 40, línea 12.	1
A		2-12
X	EP 0571827 A1 (IBM) 01.12.1993, columna 5, líneas 21-27; columna 5, línea 33 - columna 7, línea 16; columna 8, líneas 4-9,34-37.	1-3
A		4-12
X	WO 9403113 A1 (COMPUTER MOTION INC) 17.02.1994, reivindicaciones; figuras.	1
A		2-12
X	WO 9825666 A1 (INTUITIVE SURGICAL INC) 18.06.1998, reivindicaciones 1,17; figuras.	1
A		2-12

#### 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

20.01.2003

Examinador

A. Cardenas Villar

Página

1/1