



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 150 880**

⑫ Número de solicitud: 009900173

⑮ Int. Cl.⁷: A61B 17/00
A61B 1/00

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **28.01.1999**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.12.2000**

Fecha de concesión: **06.07.2001**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **16.08.2001**

⑮ Fecha de publicación del folleto de patente:
16.08.2001

⑰ Titular/es: **UNIVERSIDAD DE MALAGA**
Plaza de El Ejido, s/n
29071 Málaga, ES

⑱ Inventor/es: **Muñoz Martínez, Víctor Fernando;**
Gómez de Gabriel, Jesús Manuel;
Fernández Lozano, Jesús;
García Cerezo, Alfonso y
Vara Thorbeck, Carlos

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica.**

㉒ 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 industrial dotado de un efector final que permite sujetar un instrumento quirúrgico, un controlador para el robot industrial 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.

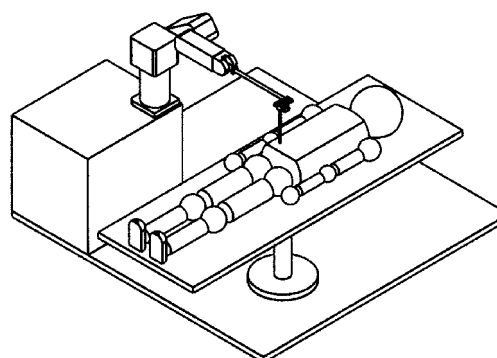


Figura 1

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

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. C/Panamá, 1 - 28036 Madrid

DESCRIPCION

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 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.

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 industrial de seis 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 efector final está diseñado de modo que añade dos grados de libertad pasivos al robot industrial. 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.

Descripción detallada de la invención

El sistema consta de un brazo robot industrial de seis 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 muñeca del robot se fija el efector final antes mencionado (Figura 2). Este consta de tres partes:

- 1) Fijación a la muñeca del robot (Figura 3). Consta de una pieza (a) que une esta parte del efector a la muñeca y un vástago (b) que permite montar y desmontar el resto del efector. La pieza (a) depende del modelo concreto de robot industrial que se utilice.
- 2) Sección intermedia (Figura 4). Consta de

una pieza tubular de metal u otro material, que puede adoptar diversas formas en función del modo de operar del equipo médico que emplee el sistema robótico. Esta sección intermedia se une al vástago del conjunto de fijación a la muñeca del robot mediante abrazaderas u otro medio que permita inmovilizar un elemento respecto a otro con solidez y seguridad. El mismo medio se dispone en el otro extremo de esta sección intermedia para fijar el adaptador que sujeta el instrumento quirúrgico para cirugía laparoscópica. Esta sección intermedia puede construirse de un material dieléctrico, o disponerse capas de un material de esta naturaleza para evitar la continuidad eléctrica entre esta parte del efector final y las otras dos partes del mismo. Así se asegura que el paciente quede aislado, en el sentido eléctrico, del sistema robótico.

- 3) Adaptador para el endoscopio (Figura 5). 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 pivotaje 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.

El controlador del brazo robot puede estar situado en el mismo montaje móvil sobre el que va instalado el brazo o bien a cierta distancia de éste. Dependiendo de las características del robot empleado, la información angular que ofrecen los sensores de las articulaciones pasivas del efector final puede dirigirse al propio controlador o al computador anexo al sistema. Este elemento puede situarse también en el montaje móvil o a distancia de éste, bien separado del controlador, bien junto a éste.

Las señales que envían los sensores colocados en el adaptador del endoscopio se encaminan como señales analógicas bien al controlador del robot, si éste dispone de una tarjeta de adquisición adecuada, bien al computador, que se encontrará dotado para la adquisición de señales analógicas. 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. Tanto las señales de estos medios adicionales 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. En función de la capacidad del controlador que se emplee, los cálculos para los movimientos que debe realizar el brazo en correspondencia con las órdenes recibidas se efectúan en el propio controlador o en el computador (en el caso de que el controlador carezca de la capacidad necesaria).

Para el cálculo de los movimientos anteriormente mencionados se establece un sistema de referencia en el efector final del modo que se indica en la Figura 6. 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 6), 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 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:

penetración = 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 7)

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 pivote.

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 utilizar un robot industrial estándar para una gran variedad de procedimientos quirúrgicos mediante técnicas laparoscópicas, o en general, 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.

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 del conjunto efector final. El extremo de la izquierda se fija a la muñeca del robot industrial empleado. En el extremo de la derecha va montado el instrumento quirúrgico, en este caso una cámara de laparoscopia.

Figura 3: subconjunto del efector final para la fijación de éste a la muñeca del robot. Consta de una pieza (a) que une este subconjunto a la muñeca y un vástago (b) que permite montar y desmontar el resto del efector. La realización final de la pieza (a) depende del modelo concreto de robot industrial que se utilice, determinando éste el modo de fijación a su muñeca de este subconjunto.

Figura 4: tres posibles realizaciones de la sección intermedia del efector final. La superior dota al equipo quirúrgico de mayor espacio libre para moverse alrededor del instrumento sujetado por el brazo robot. La sección intermedia representada en el centro permite alejar el instrumento quirúrgico del eje de la muñeca del robot, lo que posibilita situar el sistema robótico en una posición distinta de la mostrada en la Figura 1. La sección intermedia representada en la parte inferior presenta la forma empleada para esta pieza cuando no son necesarias características especiales como las expuestas en el caso de las otras dos secciones intermedias mostradas en la figura.

Figura 5: subconjunto del efector final para acoger el instrumento quirúrgico requerido. En la representación este subconjunto sujeta una cámara de laparoscopia. El subconjunto consta de dos articulaciones pasivas (a) y (b) que permiten que el instrumento quirúrgico se mueva con dos grados de libertad.

Figura 6: 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 7: 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 ins-

trumento (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.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica, **caracterizado** por el uso de un robot industrial estándar dotado de: un efector final que permite sujetar el endoscopio requerido por el procedimiento quirúrgico para el que se utilice el robot, añadiendo a la configuración de éste dos grados de libertad pasivos que permiten que el endoscopio se mueva de una manera natural, similar al modo en que se mueve cuando lo maneja una persona; y un computador que interpreta las órdenes que emita el cirujano, bien mediante la voz o bien mediante otros métodos.

2. Un efector final para robot industrial estándar según la reivindicación 1ª que cuenta con dos articulaciones pasivas dotadas de sensores que permiten conocer la posición angular de las dos articulaciones.

3. Un efector final para robot industrial estándar según la reivindicación 2ª en la que se emplea más de un sensor por articulación para promediar las medidas y para detección de fallos.

4. Un efector final para robot industrial estándar según la reivindicación 2ª en la que los sensores empleados son potenciómetros.

5. Un efector final para robot industrial estándar según la reivindicación 2ª en la que los sensores empleados son *encoders*.

6. Un efector final para robot industrial estándar según la reivindicación 1ª dotado de una sección intermedia que puede cambiarse para adaptarse al modo de operación del equipo quirúrgico que emplee el sistema robótico asistente para cirugía laparoscópica.

7. 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:

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

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

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

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

donde 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; 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.

8. Un procedimiento para calcular el punto de pivote del endoscopio una vez insertado en el paciente según la reivindicación 5ª en la que se realizan varios movimientos y se promedia el valor de l .

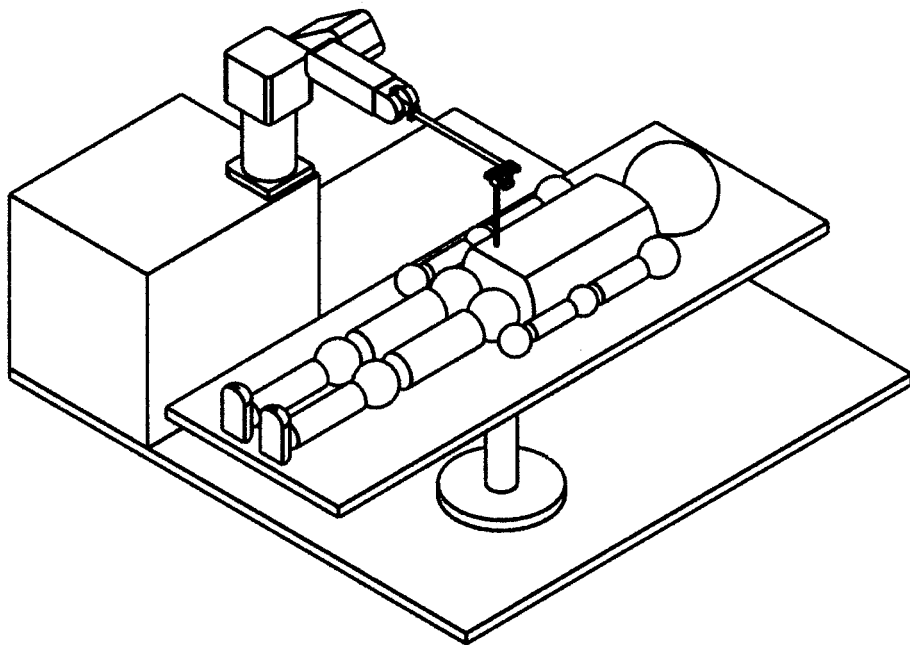


Figura 1

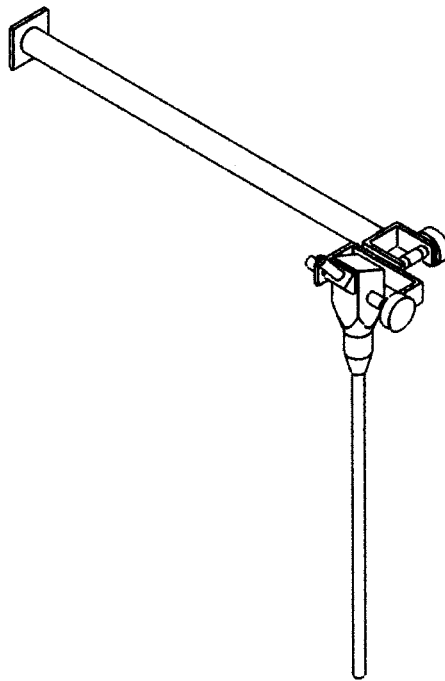


Figura 2

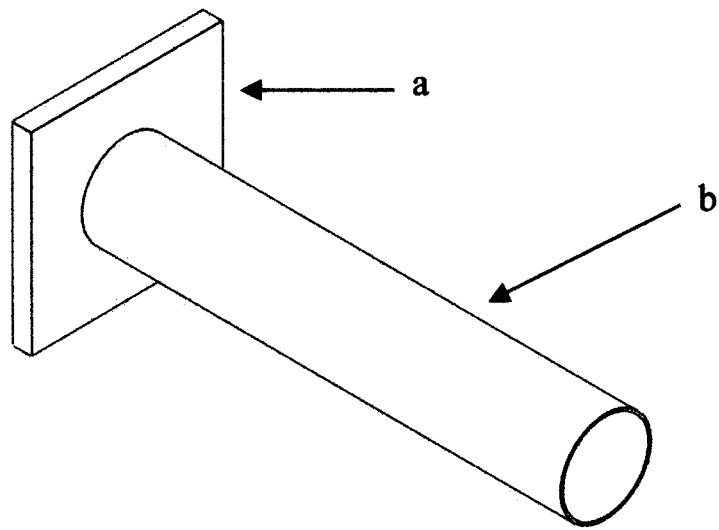


Figura 3

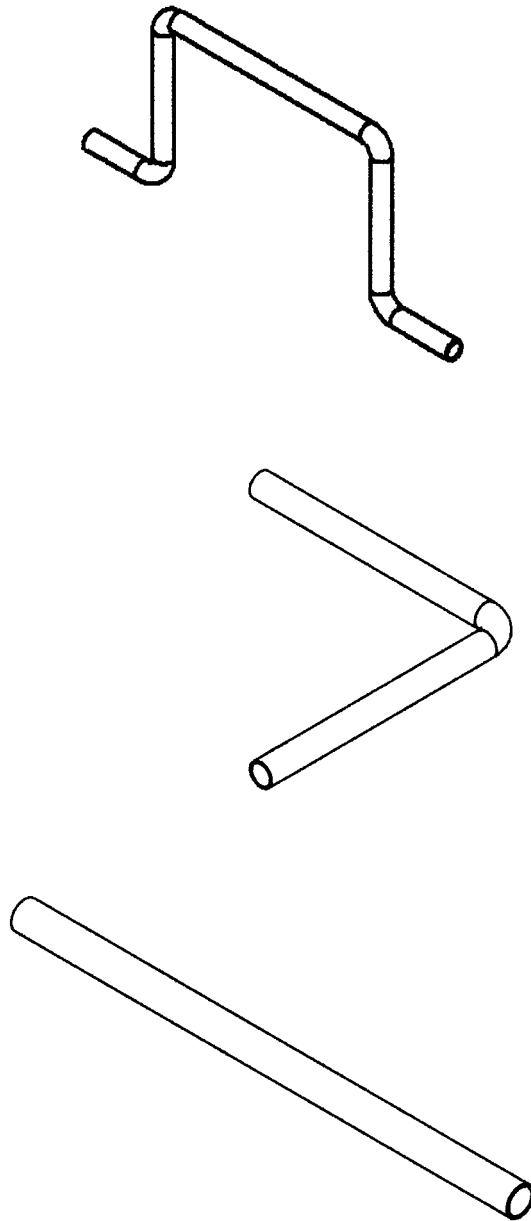


Figura 4

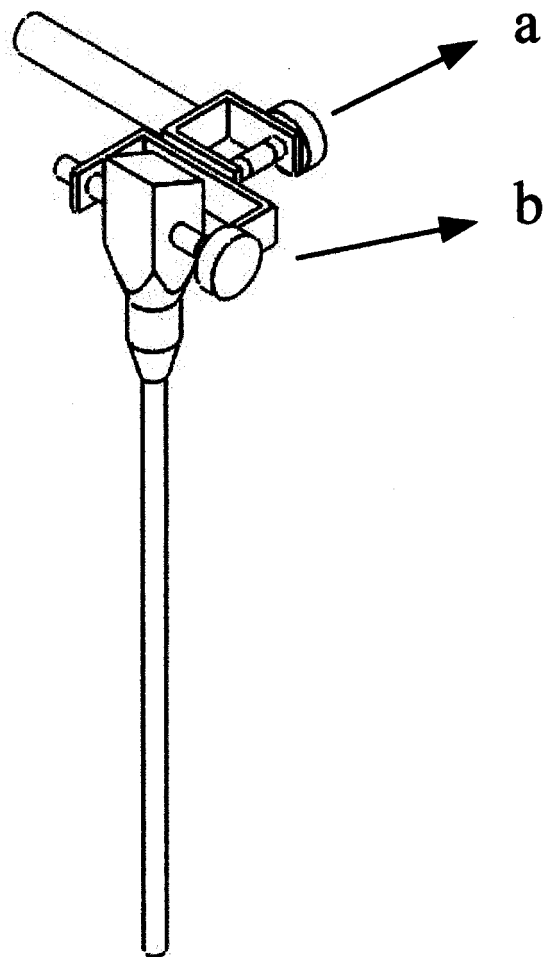


Figura 5

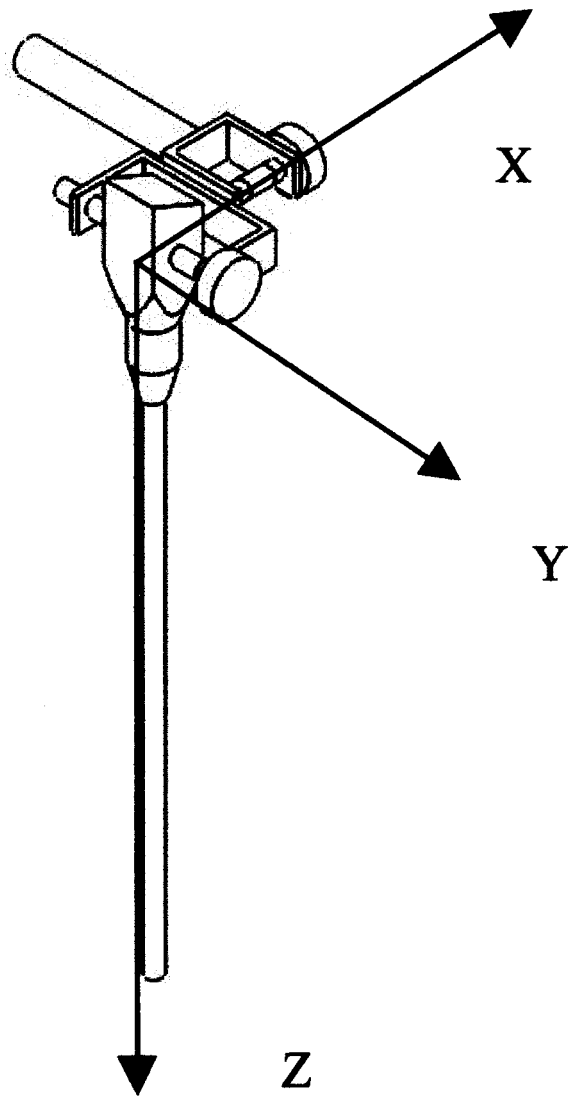


Figura 6

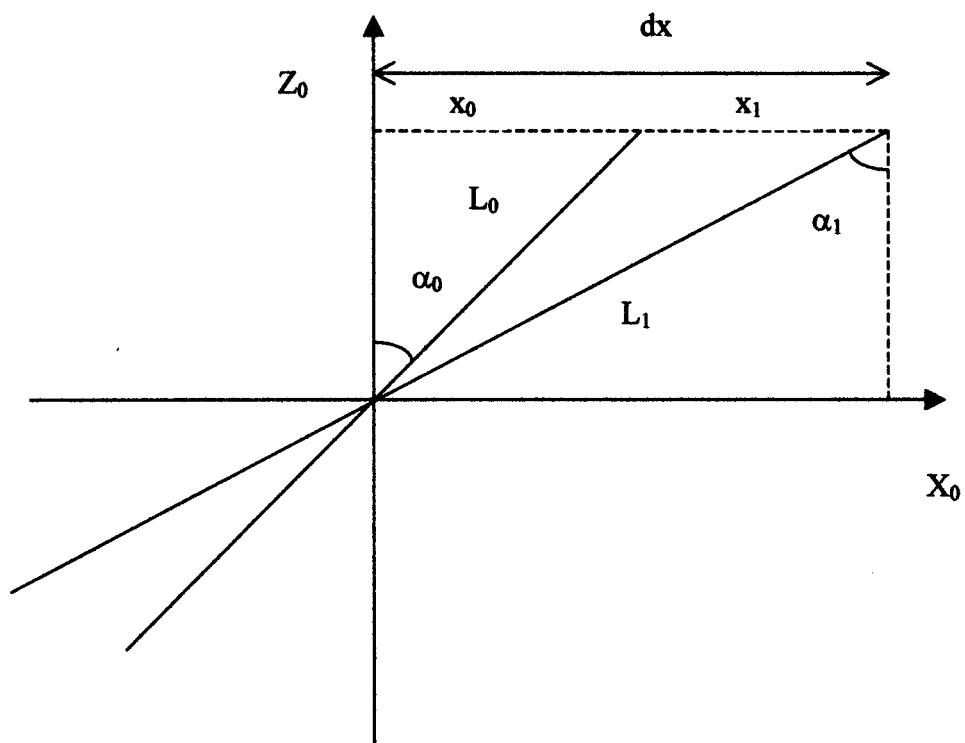


Figura 7



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 150 880
⑫ N.º solicitud: 009900173
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 28.01.1999
⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.⁷: A61B 17/00, 1/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
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		2-7
X	EP 0571827 A1 (IBM) 01.12.1993, columna 5, líneas 21-27; columna 5, línea 33 - columna 7, línea 16; columna 8, líneas 34-47.	1
A		2-7
X	WO 9403113 A1 (COMPUTER MOTION INC) 17.02.1994, reivindicaciones; figuras.	1
A		2-7
X	WO 9825666 A1 (INTUITIVE SURGICAL INC) 18.06.1998, reivindicación 1; figuras 2-7.	1
A		2-7
A	WO 9609587 A1 (COMPUTER MOTION INC) 28.03.1996, resumen.	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 <input checked="" type="checkbox"/> para todas las reivindicaciones <input type="checkbox"/> para las reivindicaciones n.º:		
Fecha de realización del informe 20.10.2000	Examinador A. Cardenas Villar	Página 1/1