

## Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen  
Volume 23

Número  
Number 1

Marzo  
March 2002

*Artículo:*

### Robot para cirugía laparoscópica

Derechos reservados, Copyright © 2002:  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de  
este sitio:

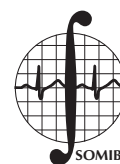
- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

*Others sections in  
this web site:*

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



Medigraphic.com



# Robot para cirugía laparoscópica

Minor A,\*  
Mosso JL,\*\*  
Domínguez A,\*  
Martínez RC,\*  
Muñoz R,\*  
Lara V\*\*

\* Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.  
Sección de Bioelectrónica. Depto. de Ingeniería Eléctrica, Av. IPN 2508, C.P. 07300 México, D.F. Tel: 57473800, Fax: 57477080 aminor@mail.cinvestav.mx  
\*\* ISSSTE Clínica Alberto Pisanty  
telesurgery@mixmail.com

Artículo recibido: 10/diciembre/2001  
Artículo aceptado: 25/febrero/2002

## RESUMEN

En el presente artículo se presenta el diseño de un robot para cirugía laparoscópica. Se presentan las características y criterios de diseño electrónicos y clínicos más importantes que se deben considerar para que se pueda utilizar dentro de esta cirugía. El robot diseñado fue probado experimentalmente, en la Escuela Superior de Medicina del IPN realizando con éxito toracoscopia y laparoscopias en perro. En los experimentos realizados, el papel del robot ha sido como asistente del cirujano para manipular el laparoscopio dentro de la cavidad abdominal y torácica.

## Palabras clave:

Laparoscopia asistida, Robot quirúrgico, Cirugía asistida.

## ABSTRACT

This work describes a laparoscopic surgery robot design. The characteristics and principal electronic and clinical criteria that should be considered for this type of surgery are presented. The designed robot was experimentally tested in the IPN Medicine School, doing thoracoscopy and laparoscopy procedures in dogs. In the experiments, the robot was used as surgeon assistant for laparoscopic manipulation, inside the abdominal and thoracic cavity.

## Key words:

Assisted laparoscopy, Surgery robot, Assisted surgery.

## INTRODUCCIÓN

La robótica ha penetrado en diferentes áreas dentro de la cirugía como una herramienta de alta precisión para el cirujano<sup>1-4</sup>, contrariamente a la idea de suplir al cirujano, el robot ha servido para establecer una mejor planeación de la cirugía<sup>5,6</sup> y que el beneficiado directo sea el paciente. La cirugía laparoscópica se lleva a cabo rutinariamente de la siguiente manera: Una vez que el cirujano ha determinado la o las estructuras a operar por este procedimiento, se introduce por un orificio hecho en el paciente, bióxido de carbono, esto le permite al cirujano tener un espacio de trabajo adecuado dentro de la cavidad. Por otro orificio o el mismo, también realizado en el paciente, y cer-

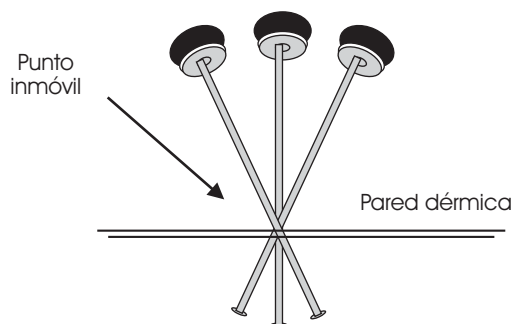
ca del órgano a operar, se le introduce una fibra óptica rígida denominada laparoscopio que captura en tiempo real la imagen del campo quirúrgico, y finalmente por otro u otros orificios, se introducen los instrumentos necesarios para la intervención. El cirujano para la operación requiere observar todo el tiempo en el monitor el órgano a operar, así como los instrumentos quirúrgicos que utiliza. Por esta razón se requiere que el laparoscopio se mueva bajo el criterio del cirujano dentro de la cavidad para poder observar diferentes vistas del objeto a operar, y realizar un mejor trabajo quirúrgico. Para realizar la navegación, normalmente un ayudante mueve el laparoscopio dentro de la cavidad, hacia donde, verbalmente le indica el cirujano que está haciendo la operación. El ciruja-

no al realizar la operación requiere de un asistente, para desplazar el laparoscopio de la cavidad durante la intervención, perdiendo tiempo y precisión, ya que el asistente moverá la cámara en función de los requerimientos verbales del cirujano, que pueden ser ambiguos y subjetivos para él, pero no para el cirujano. El futuro del presente trabajo es realizar la navegación de manera autónoma utilizando un robot servocontrolado por comandos voluntarios del cirujano. En este trabajo sólo se presenta el resultado de la conjunción de electrónica, mecánica y de programación de todo el sistema, activado distalmente por un asistente, a partir de las órdenes verbales del cirujano. Aun cuando trabajos previos han presentado resultados de la conjunción cirugía-robot<sup>7-9</sup>, no han presentado los criterios de dicha conjunción, que es el objetivo en este trabajo.

## DESARROLLO

La primera característica que debe reunir el robot, es que cubra el volumen de trabajo, y este criterio está definido principalmente por el cirujano. El volumen de trabajo se limita a un cono de 50 cm de diámetro y de 30 cm de altura que representa el espacio de trabajo como límite superior, correspondiente a una persona adulta de 90 kg de peso. El robot debe en lo posible además permitir una libre manipulación del campo visual y de trabajo del cirujano, por esta razón la configuración escogida del robot debe ser de brazo articulado. El movimiento que debe realizar el laparoscopio con asistencia del robot dentro de la cavidad debe ser igual al presentado en la Figura 1, por lo que el volumen de trabajo dentro de la cavidad es semejante al de la Figura 2.

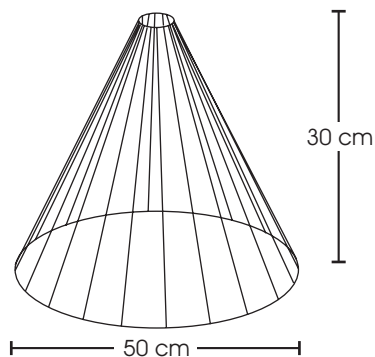
Los movimientos que se deben garantizar con la asistencia del robot dentro de la cavidad son



**Figura 1.** Movimiento que debe realizar el laparoscopio con asistencia del robot dentro de la cavidad.

los siguientes: derecha, izquierda, inclinación superior e inferior, introducción y extracción, respetando la pared abdominal como punto de movimiento.

El robot diseñado dispone de 5 grados de libertad, cuatro son rotatorios, y uno lineal. Para maniobrabilidad dentro del quirófano, el robot se construyó en aluminio con un peso aproximado de 20 kg, las flechas de desplazamiento rotatorio se realizaron en fierro, y los puntos de deslizamiento en bronce. Los sistemas de transmisión que soportan el mayor peso utilizan un sistema de tornillo sinfín y corona, que permite un desplazamiento suave con el torque suficiente, y que además garantiza un frenado mecánico natural en el remoto caso de una pérdida de energía eléctrica. Los motores para cada articulación son de corriente directa con transmisión engranada. El sistema de control figura 3 está formado por un sistema de optoacoplamiento múltiple que se interfase con la computadora para garantizar flotabilidad al robot, se optoacoplan 3 palabras de 8 bits, una palabra para la activación de los motores y dos para los sensores de posición. Para la activación de los motores en cualquier sentido de manera individual, se utilizaron puentes H, esta interfase permite controlar por ancho de pulso cada motor, permitiendo una aproximación suave durante el desplazamiento. Para cerrar el lazo de control de cada articulación se utilizaron potenciómetros lineales como sensores de posición absoluta, cada articulación está controlada por un lazo PID<sup>10</sup>. Cada sensor de posición por su resolución y repetibilidad disponen de un sistema de lectura de 12 bits multiplexado. La estructura del robot se aterriza, pero para garantizar seguridad eléctrica el porta-laparoscopio está fabricado en acrílico, desacoplando eléctricamente ambas estructuras.



**Figura 2.** Volumen de trabajo dentro de la cavidad.

Los parámetros de transformación espacial del robot Figura 4, son los siguientes:

El eje de referencia del brazo se encuentra en la primera articulación, es decir  $X_0$ ,  $Y_0$  y  $Z_0$  es nues-

tro origen, y cada articulación gira o está desplazada respecto a éste. En cada articulación se utiliza un ángulo  $\theta_n$ , generándose una matriz de transformación de 4 x 4. De esta manera, las matrices

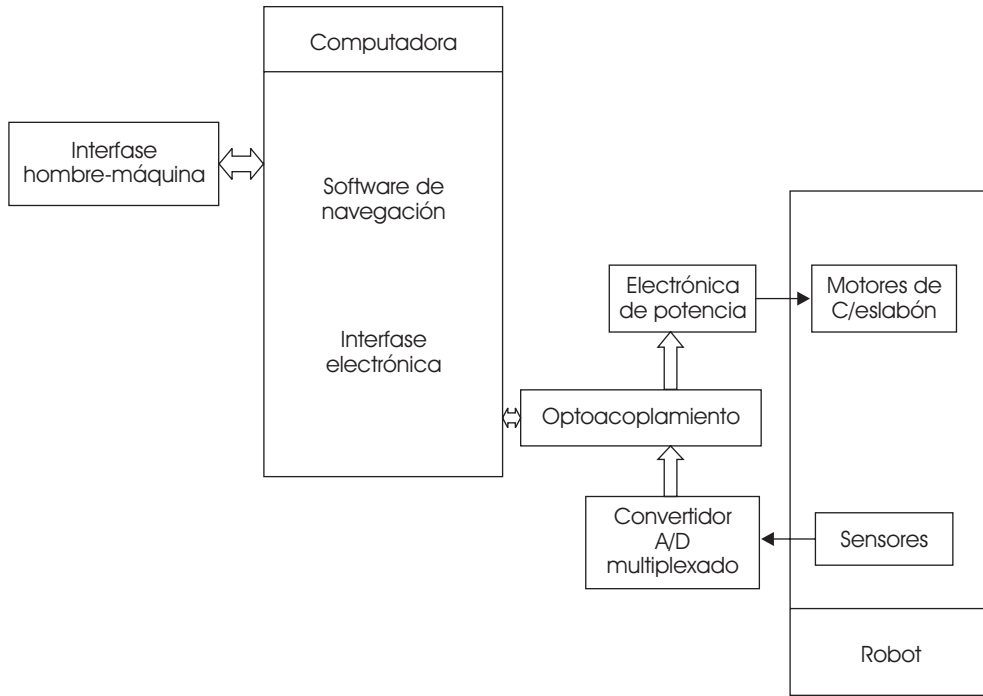


Figura 3. Interfase de control del robot.

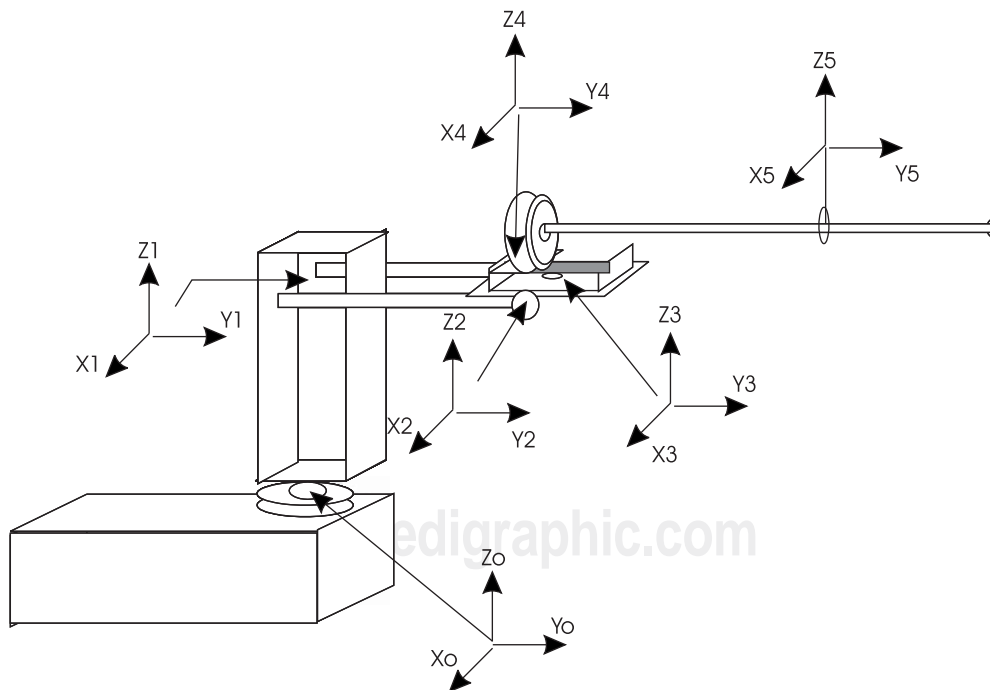


Figura 4. Modelo del brazo robot.

Articulación 1

$$M1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_1 & -\cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Gira respecto a } Z_0$$

Articulación 2

$$M2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & l1 \\ 0 & \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Gira respecto a } X_1 \text{ y está desplazada } l1 \text{ sobre } Z_0$$

Articulación 3

$$M3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & l2 \\ 0 & \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Gira respecto a } X_2 \text{ y está desplazada } l2 \text{ sobre } Y_1$$

Articulación 4

$$M4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & \sin\theta_4 & 0 & 0 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Sólo gira respecto a } Z_3$$

Articulación 5

$$M5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Existe sólo un desplazamiento lineal } d1 \text{ sobre el eje } Y_3$$

Figura 5. Matrices de rotación y desplazamiento que describen la posición en el espacio de cada articulación.

de rotación y desplazamiento, que describirán la posición en el espacio de cada articulación<sup>11-14</sup> (Figura 5).

Así se obtienen los movimientos de las 5 articulaciones. Por ejemplo para saber la posición del efector final (PEF) se realiza la siguiente multiplicación en orden descendente de las matrices.  $PEF = M5 \times M4 \times M3 \times M2 \times M1$ . De igual forma se puede saber la posición de cualquier elemento

del brazo con respecto al sistema de coordenadas de referencia. Se puede establecer para cada elemento en sus ejes de articulación un sistema de coordenadas cartesiano ortonormal, existe un sistema para cada articulación respecto al sistema de coordenadas de referencia  $X_0 Y_0 Z_0$ . Es necesario asignar un ángulo en cada uno de los sistemas coordenados, con el fin de indicar una rotación respecto al sistema de coordenadas de referencia:

- $O1$  = ángulo de rotación de la primera articulación respecto al eje  $Z_0$
- $O2$  = ángulo de rotación de la segunda articulación respecto al eje  $X_1$
- $O3$  = ángulo de rotación de la tercera articulación respecto al eje  $X_2$
- $O4$  = ángulo de rotación de la cuarta articulación respecto al eje  $Z_3$
- $L$  = Desplazamiento de la quinta articulación a lo largo del eje  $X_4$

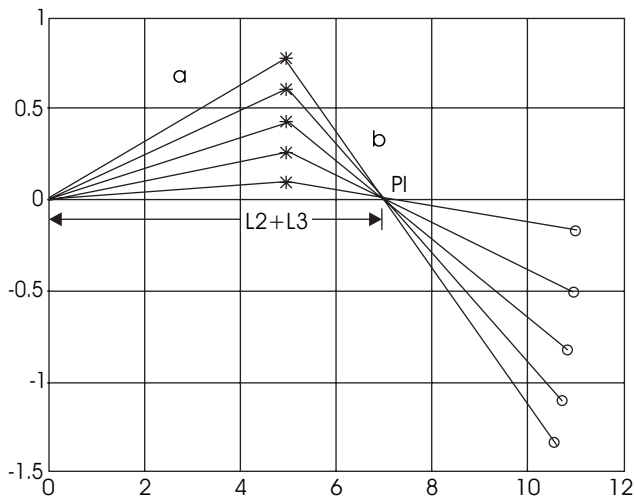
Se realizó una simulación con las características físicas del brazo robot, para verificar la inversa de la transformación espacial y el movimiento esperado (Figura 6).

Se puede observar cómo las articulaciones toman diferentes posiciones para mantener el punto inmóvil, que representa la pared abdominal.

Se diseñaron dos programas para la manipulación del robot, el primero de ellos consiste en establecer un control individual de cada articulación por medio del teclado de la computadora. La razón de este programa, es que durante el inicio de la operación se requiere de una aproximación y penetración sucesiva del laparoscopio a la zona de operación y esto se debe realizar de manera manual para evitar colisiones. El segundo programa es la manipulación del robot una vez que el laparoscopio ha sido insertado dentro de la cavidad. En dicho programa se tienen las funciones activadas por teclado para que el robot manipule de manera conjugada las articulaciones específicas para proporcionar los movimientos deseados dentro de la cavidad abdominal respetando el punto inmóvil de la pared abdominal semejantes a la simulación presentada.

## RESULTADOS

Antes de probar el robot en quirófano se realizaron varias pruebas en un simulador físico realizando disecciones en piezas de pollo, con estas pruebas



**Figura 6.** Simulación de los movimientos que realiza el robot dentro de la cavidad, vista lateral.



**Figura 7.** Laparoscopia en un perro.



**Figura 8.** Otra imagen de la laparoscopia en un perro.

se ajustaron los movimientos que debería respetar el robot. El robot se utilizó en los quirófanos de investigación de la Escuela Superior de Medicina del IPN, utilizando un equipo de laparoscopia. Siguiendo una metodología semejante a la que se realiza en humanos, se procedió a sedar a un perro hembra (Figura 7 y Figura 8).

Se realizó la incisión y se suministró CO<sub>2</sub> para garantizar un espacio de trabajo adecuado. El robot se utilizó inicialmente en la exploración de la cavidad abdominal utilizando un laparoscopio e instrumental quirúrgico, realizando un amplio reconocimiento para verificar todos los desplazamientos del robot previamente programados. Una vez realizada la exploración se procedió a realizar disección del colon sigmoidees así como ligaduras de los vasos sigmoidees y finalmente se realizó otra operación en la zona torácica para realizar vaguotomía troncular, el Robot demostró su confiabilidad y maniobrabilidad para navegar en las zonas que el cirujano indicó verbalmente al asistente, distalmente a 10 metros, valorando de esta forma la confiabilidad de navegación. Se probaron todas las opciones de navegación y exploración dentro del espacio de trabajo preestablecido así como insertar y sacar repetidamente el laparoscopio. Ésta es una operación rutinaria dentro de la cirugía para limpiar el instrumento y que representa una de las operaciones más costosas temporalmente al utilizar un robot asistente.

### CONCLUSIONES

El robot probó su confiabilidad para navegar dentro de la cavidad ajustando sus movimientos dentro de la cavidad con los requisitos de diseño propuesto. El enlace mecatrónico en conjunto con la experiencia quirúrgica permitieron establecer procedimientos transoperatorios para la navegación y la inserción del laparoscopio en las cavidades para futuras aplicaciones quirúrgicas. Un punto importante fue reconocer que la posición espacial del robot debe cambiar en función del tipo de cirugía, dentro del quirófano acorde con la técnica que se utiliza para la operación. El desconocimiento de la anatomía del perro limitó la exploración, inicial pero una vez superada ésta, se navegó y se realizaron con facilidad las tareas quirúrgicas específicas. La experiencia adquirida y la tecnología desarrollada permitirá establecer nuevas metodologías de navegación que sean más adaptables al entorno y a la maniobrabilidad del cirujano para realizar un mejor trabajo quirúrgico o

aplicarse en cirugías que utilicen técnicas e instrumental semejantes, como puede ser la artroscopia.

### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo contó con el apoyo del Conacyt a través del proyecto No. 34989-A. Agradecemos al Dr. Luis Miguel Padilla Díaz, Jefe del Departamento de Cirugía de la Escuela Superior de Medicina del IPN por su valioso apoyo en el presente proyecto.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Paul HA, Mittlestadt B et al. Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty, *Clinical Orthopaedics* December USA 1992; 285: 57-66.
2. Benabid AL, Cinquin P, Lavalley S. Computer driven robot for stereotactic surgery connected to CT scan and magnetic resonance imaging. *Proceedings American Society Stereotactic Functional Neurosurgery*, Montreal 1987.
3. Soni AH, Gudavilli MR, Herndon WA, Sullivan JA. Application of passive robot in spine surgery. *Proc. Eight Annual Conf. IEEE/Engineer Biol and Med Society* 1986; 3: 1186-1191, Nov 7-10.
4. Levy SA, Ramani K. Robotic ophthalmic surgery an evaluation in radial keratotomy. *IEEE Ninth annual conf engineering medicine biology Society Boston MA*, 1987: 1102-1103.
5. Cinquin P et al. Computer assisted medical interventions. *IEEE Engineering in medicine and biology* 1995: 254-263.
6. Paolo Dario et al. Robotics for medical applications. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 1996: 44-54.
7. Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 1994: 63-66.
8. Hyosig Kang, Wen JT. Robotic assistants and surgeons during minimally invasive procedures. *IEEE Engineering in medicine and biology* 2001: 94-96.
9. Hanish E, Markus B, Gutt C, Schmandra TC, Encko A. Robot-assisted laparoscopic cholecystectomy and fundoplication: initial experience with the DaVinci system. *Der Chirurg* 2001; vol. 72 issue 3: 286-288.
10. John G, Bollinger, Duffie NA. *Computer control of machines and processes*, Addison-Wesley 1989.
11. John J. Craig *introduction to robotics mechanics and control* Addison-Wesley 1986.
12. Nakamura Y. *Advanced robotics redundancy and optimization* Addison-Wesley 1991.
13. Mark W, Spong M, Vidyasagar. *Robot dynamics and control* John Wiley and Sons 1989.
14. Ogata K. *Sistemas de control en tiempo discreto*, Prentice Hall 1996.