

# Diseño y desarrollo de un manipulador robótico para el entrenamiento de personal en cirugía incisiva

Arturo Chávez-Arreola  
Guillermo Urriolagoitia-Sosa\*  
Guillermo Urriolagoitia-Calderón  
Luis Héctor Hernández-Gómez  
Beatriz Romero-Ángeles  
Juan-Alfonso Beltrán-Fernández

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,  
Instituto Politécnico Nacional.  
Edificio 5, 2º Piso, Unidad Profesional Adolfo López Mateos,  
Col. Lindavista, C.P. 07738, México, DF.  
MÉXICO.

Correo electrónico: \*guiurri@hotmail.com

Recibido el 15 de octubre de 2008; aceptado el 20 de marzo de 2009.

## 1. Resumen

En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un manipulador robótico de seis grados de libertad con un efector final intercambiable. La ventaja principal que presenta el efector final intercambiable, es que permite al manipulador robótico efectuar un gran número de actividades, en específico el entrenamiento a cirujanos en operaciones incisivas en seres vivos. El manipulador robótico que se presenta en este trabajo, tiene movimientos discretos, estables, firmes y precisos, por lo que es posible el manejo de las herramientas necesarias para realizar cortes en una cirugía con relativa exactitud. El manipulador tiene como objetivo principal, entrenar al cirujano en el manejo de este nuevo dispositivo y en un futuro disminuir el estrés físico que el individuo puede sufrir al realizar este tipo de acciones. Sin embargo, este robot, todavía no puede ser incluido en un quirófano, ya que las cuestiones de higiene y salubridad no han sido atacadas. El manipulador robótico que aquí se presenta es sólo para entrenamiento, fue diseñado y desarrollado originalmente para realizar operaciones rutinarias de manejo para la industria de la pintura.

Asimismo, se corrobora la versatilidad que este manipulador robótico tiene y que es capaz de operar, incluso en forma remota a través de conexiones por satélite, en el manejo de herramientas quirúrgicas rígidas (manipular extremos de catéteres, escalpelos y agujas de coser).

**Palabras clave:** manipulador robótico, cirugía incisiva, precisión.

## 2. Abstract

This paper presents the design and development of six degrees of freedom robotic manipulator with an interchangeable final effector. The main advantage presented by the interchangeable final effector, is to allow the robotic manipulator to perform a large number of activities, specifically the training of surgeons in incisive operations on living creatures. The robotic manipulator presented in this paper, has a continuous-smooth, firm and precise movements, thus acquiring the ability of handling the tools necessary to make cuts at surgery operations. The manipulator's main objective is training surgeons in managing this new device and in the future reduces the physical stress that the individual may experience when making these type of actions. The robotic manipulator presented here it is only for training it, was originally designed and developed to perform routine management for the painting industry. In this research, it is confirmed the versatility that has this robotic manipulator and is able to operate, even remotely through satellite connections, in handling rigid surgical tools (handle ends of catheters, scalpels and sewing needles).

**Key words:** robotic manipulator, incisive operations, precision.

## 3. Introducción

En este trabajo se presenta un manipulador robótico que se desarrolló en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. El producto que aquí se muestra, tiene como objetivo principal entrenar a cirujanos y/o personal médico en cirugías incisivas. Este objetivo se cumple con el diseño y desarrollo de un robot manipulador de 6 grados de libertad con efector

final intercambiable y compatible para instrumental médico. Donde la necesidad primaria es introducir al personal médico en cuestiones básicas sobre robótica, aplicación y control. Los requerimientos en este diseño están basados en el desarrollo de un manipulador robótico de gran movilidad, amplia versatilidad, fácil operación y manejo sensible. Por lo que se decidió que un robot de 6 grados de libertad y efector final intercambiable cubriría estos requerimientos. Adicionalmente, se buscó que el robot fuera de fácil desarrollo, económico y de simple funcionamiento.

### 3.1. Robótica

Desde hace varias décadas, se han diseñado manipuladores robóticos para su aplicación en la medicina. Donde en especialidades quirúrgicas como la neurocirugía y la traumatología, han requerido de su intervención en forma exacta para localización anatómica. Asimismo, que presenten una mejor visualización del campo operatorio. Además de destrezas y precisión en las maniobras [1-5]. Como también el desarrollo de algoritmos para planear trayectorias eficientes para desarrollar la aplicación deseada [6-8].

En 1985, Yik San Kwok utilizó un robot industrial modificado para guiar un haz de rayo láser en la cirugía del cerebro [9]. En la aplicación de rayos láser, diversos estudios se han realizado para modificar la velocidad de respuesta de manipuladores robóticos, ya que por ejemplo existen ocasiones en que es necesario utilizar el robot a larga distancia. Además, el desarrollo de nuevos materiales parece prometer la posibilidad de alcanzar que el control de señales sea con velocidades ultrarrápidas [10-13]. Es importante mencionar, que en el área médica en un principio, los sistemas robóticos fueron diseñados para la neuronavegación, localización esterotáxica y asistencia robótica [14].

En traumatología y ortopedia, el RoboDoc fue desarrollado para asistir a los cirujanos en la colocación de prótesis de cadera. Empleando el RoboDoc, el hueso puede ser seccionado para luego colocar la prótesis con una precisión diez veces mayor que con la técnica manual [15]. La cirugía cardíaca fue una de las primeras especializaciones en manifestar el interés por adoptar este tipo de técnica. Aceptando los beneficios de las pequeñas incisiones realizadas entre las costillas para los bypass coronarios y las reparaciones del corazón bajo visualización directa usando el toracoscopio. El Sistema Da Vinci proporciona al paciente y cirujano, la modalidad de un tratamiento más efectivo y menos invasivo, aún en los procedimientos más complejos (por ejemplo, la reparación de la válvula mitral) [16]. Entre los beneficios de la aplicación de la robótica en cirugía cardioráscica están; el reducido riesgo de

infección, escasa pérdida sanguínea, menor requerimiento de transfusiones, menor dolor post-operatorio, corta estancia hospitalaria y una rápida recuperación, con un pronto retorno del paciente a sus actividades normales [17].

En cirugía general, los sistemas robóticos laparoscópicos se han utilizado en ensayos clínicos prospectivos en CLs. En Agosto de 1993, en el Centro Médico de San Diego de la Universidad de California, en La Jolla, Jonathan Sackier realizó la CL con el robot AESOP 1.000 (Advanced Endoscopic System for Optimal Positioning). Se realizaron una CL el 9 de Septiembre con el Sistema ZEUS [18], transmitida desde Nueva York, EE.UU, a Estrasburgo, Francia, por medio de un cable de fibra óptica [19].

En cirugía ginecológica se ha utilizado para revertir la ligadura de trompa por Falcone, en hysterectomías por afecciones benignas por Arnold Advincula en la Universidad de Michigan. En hysterectomías radicales con linfadenectomías para cáncer cervical y del endometrio por John Bogges, en la Universidad de North Carolina [20]. En urología, el primer procedimiento realizado con la asistencia del robot fue la resección transuretral de la próstata por Davies en 1991 y posteriormente por Harris en 1997 [21]. En 1989, un equipo de cirujanos del Colegio Imperial en Londres, liderado por Davies, diseñó un aparato para la resección automática de la próstata. Este robot tenía siete grados de libertad, definiendo el concepto off-line (como un robot que es reprogramable para realizar intervenciones sin la directa interacción con los humanos) [22].

Las técnicas de cirugía mínimamente invasivas, tales como la laparoscopia, han surgido como un nuevo campo para la investigación en robótica. En estas intervenciones, el cirujano sólo utiliza la información visual suministrada por una cámara fijada al endoscopio. De este modo, el cirujano manipula el laparoscopio y la cámara de vídeo dentro de la cavidad abdominal para explorar las estructuras anatómicas y patológicas. Puesto que estas operaciones pueden durar hasta dos (o incluso más) horas, la imagen de la cámara puede sufrir una pérdida de estabilidad considerable. Asimismo, la capacidad para enfocar un punto de interés puede empeorar. En tal situación, con un asistente robótico capaz de mover la cámara laparoscópica de acuerdo a las órdenes por voz, la operación podría convertirse en una herramienta muy útil en la sala de cirugía.

### 3.2. Cirugía incisiva

Los procedimientos mínimamente invasivos o de mínima invasión, reciben este nombre porque evitan los grandes cortes de bisturí requeridos por la cirugía abierta o convencional y

posibilitan por lo tanto, un periodo post-operatorio mucho más rápido y confortable [23].

El interés en este tipo de técnicas primordialmente radica, en que han demostrado una menor agresividad que las técnicas de cirugía convencional abierta. Lo que conlleva a; menor dolor post-operatorio, mejor dinámica respiratoria post-operatoria, menos complicaciones, menor tiempo de hospitalización y de baja laboral. Además de las ventajas estéticas o la disminución de hernias y eventraciones en las heridas abdominales. La cirugía laparoscópica es una técnica quirúrgica que se engloba dentro de las llamadas técnicas mínimamente invasivas [24]. Además no es un procedimiento nuevo, por lo menos se ha utilizado desde la década de 1980 [25]. Se practica a través de pequeñas incisiones. Se realizan de 3 a 5 orificios pequeños de 0.5 a 1 cm en el abdomen, a través de los cuales se introducen los instrumentos laparoscópicos (efector final) que incluyen; una cámara de video, un telescopio e instrumentos quirúrgicos que suelen ser muy delgados y finos (Figura 1) [25].

Los dispositivos que permiten la entrada y salida de los diversos instrumentos quirúrgicos son los trocares, cuya longitud es de 33 a 40 cm y su diámetro entre 10 y 5 mm. Los trocares constan de dos partes; el trocar que es un punzón que atraviesa la pared abdominal, y la camiseta o funda que queda para la parte operativa. Esta funda permite la introducción de los instrumentos sin perder la presión del gas insuflado [25]. A través de los trocares se introducen los instrumentos quirúrgicos como separadores, tijeras, pinzas y bisturís que permiten actuar quirúrgicamente sobre las vísceras abdominales con la cirugía laparoscópica.



**Fig. 1.** Instrumentos laparoscópicos [25].

Además de obtener todos los beneficios de la cirugía convencional, se consiguen:

- Óptimos resultados estéticos (cicatrices de 3 a 12 mm).
- Mínimo dolor postoperatorio (ausencia de amplias heridas). Las heridas, al ser muy pequeñas, tienen menor riesgo de infección. Al no abrir ni abdomen, ni tórax, las infecciones respiratorias son excepcionales.
- Reduce en gran medida el riesgo de hemorragias y otras complicaciones porque los cortes y la manipulación de vísceras son mínimas.
- La recuperación del tránsito intestinal es muy rápida y permite un ahorro económico importante, al reducir la estancia hospitalaria y permitir la vuelta precoz al trabajo sin detrimento de la seguridad y confortabilidad del paciente.
- El cirujano merced a este procedimiento consigue una mejor apreciación del campo quirúrgico, pues la visión se encuentra magnificada; por otro lado tiene acceso visual a áreas de la cavidad abdominal que son difíciles de ver en cirugía convencional.
- La propuesta del robot a utilizar da los siguientes beneficios: reducción del tiempo de recuperación, mejoras estéticas (cicatrices menores) y se obtendrá iluminación, entrada en la anatomía del paciente y visión.

En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un manipulador robótico, el cual servirá para el entrenamiento de cirujanos en operaciones incisivas en seres vivos. El principal objetivo es adentrar y familiarizar a los médicos en el área de programación y robótica para la operación de este aparato. Asimismo, obtener la capacidad de operación y confiabilidad para desenvolverse en la automatización de equipos y procesos.

#### 4. Diseño mecánico [26]

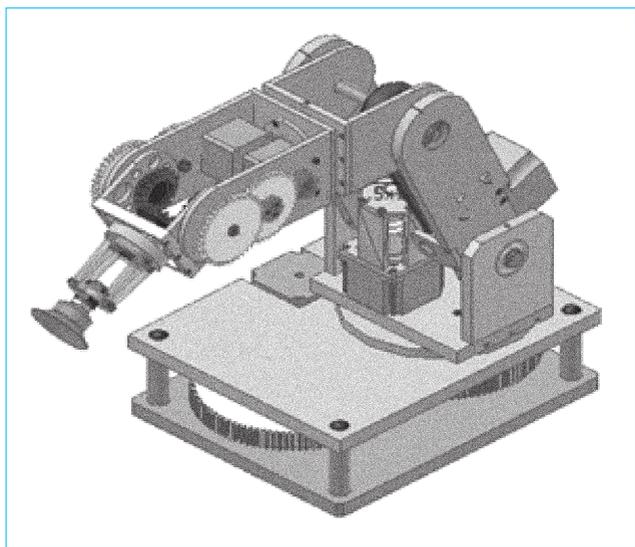
Para el desarrollo de este componente robótico se propuso y utilizó la siguiente metodología de diseño:

- Planteamiento de la necesidad.- Se plantean los objetivos de diseño. Así como, se identifican las necesidades del usuario y funciones que el producto debe cumplir.
- Análisis y delimitación de la necesidad.- Investigación del estado de arte sobre el producto. Además análisis de los productos competitivos. Indicación de las especificaciones de diseño.
- Diseño conceptual. Se inicia con la generación de ideas (fase de conceptualización) y si es posible se realizan bocetos. A continuación se evalúan las ideas y se estipula la mejor y más accesible de ellas.
- Desarrollo de la solución. Se determinan los materiales y componentes idóneos para llevar a cabo el producto final.

Por lo que es necesario valorar cada uno de los parámetros mecánicos, eléctricos y electrónicos que están involucrados en el proyecto. Se desarrolla el diseño general y particular de la posible solución, donde se presentan todos los planos necesarios para realizar el producto final. Se genera la primera evaluación del producto desde el punto de vista mecánico, eléctrico y electrónico, esta evaluación puede ser de manera analítica y numérica.

- Realización y manufactura.- En esta sección se fabrica, construye y ensambla el prototipo. Se efectúa la segunda evaluación general y particular del producto. Por lo regular las evaluaciones en estas etapas son experimentales, funcionabilidad, operación, apariencia, costos, etc.
- Fabricación y evaluación del producto terminado.- Con los antecedentes anteriores se fabrica el producto final (el cual saldrá al mercado), donde se consideraron las correcciones y adecuaciones que las etapas anteriores presentaron. Nuevamente se evalúan y corrigen los detalles que puedan surgir.
- Puesta en marcha.- Se pone en marcha el proceso de producción en serie del producto final.

La sección anterior muestra de manera general el modo en que el diseño de este manipulador robótico se llevó a cabo. En la figura 2 se presenta el arreglo general del manipulador robótico desarrollado en este trabajo. En este artículo se omiten algunas secciones referentes al desarrollo del diseño del robot, por razones obvias de espacio. Sin embargo, todo



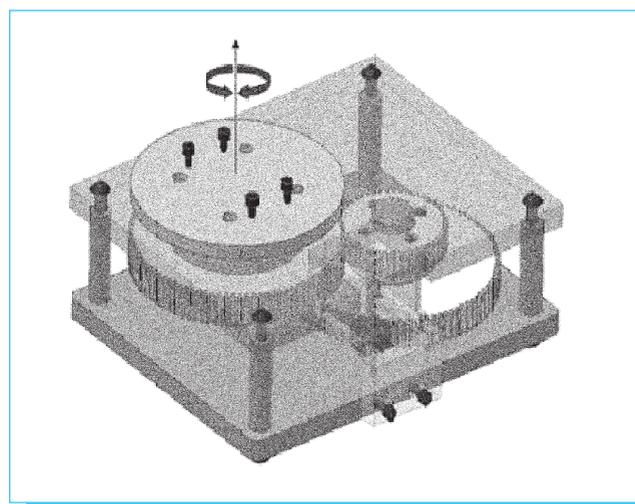
**Fig. 2.** Diseño final del manipulador robótico aplicado a la cirugía incisiva.

lo referente a consideraciones y cálculos mecánicos, eléctricos y electrónicos puede consultarse en [26]. Además, en la Figura 2 también es posible observar de manera general las formas de los diversos elementos mecánicos que están considerados en el desarrollo del manipulador robótico y obtener un volumen de trabajo particular del efector final. Lo anterior, es con el fin de asegurar la óptima realización de la tarea a ejecutar.

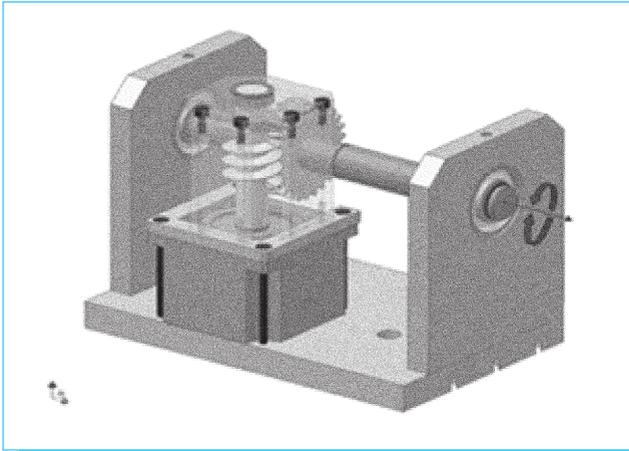
Entre los requerimientos, se exige que los motores tengan la capacidad de programar su posición y estos a su vez son controlados por microprocesadores. Para obtener consideraciones más detalladas sobre los aspectos generales del diseño y construcción se puede consultar en [26]. Se realizó el cálculo de los torques en cada eje, en posiciones críticas, es decir donde el torque es máximo. Teniendo resultados y conociendo características de los motores como son; velocidad angular y torque, se diseñaron las transmisiones para cada eje o grado de libertad del robot [27].

El primer grado de libertad, permite que el manipulador gire sobre su base. La transmisión fue seleccionada con un tren de engranes compuesto por; cuatro engranes rectos (Figura 3). En este caso la carga que va recibir el mecanismo se encuentra de manera axial. Los cálculos determinaron los valores de los diámetros de paso y el número de dientes. Los engranes fueron fabricados de Nylamid y el piñón de Bronce [28].

El segundo grado de libertad, permite que el brazo del robot se desplace arriba y abajo con un movimiento de rotación en su base. Este eje soporta todo el peso del manipulador robótico,

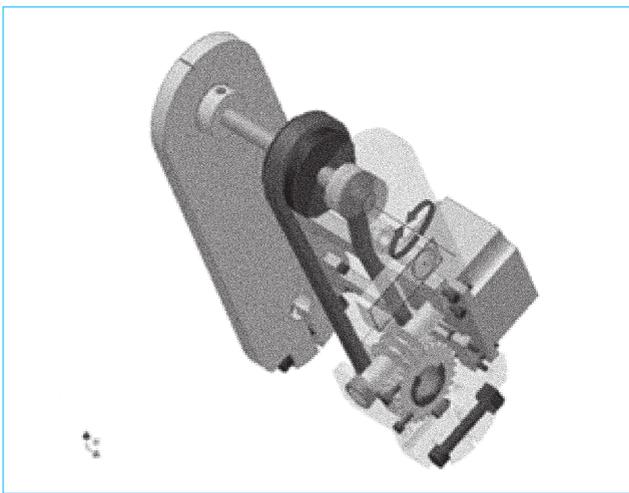


**Fig. 3.** Mecanismo del primer grado de libertad, el robot gira sobre su base.



**Fig. 4.** Mecanismo del segundo grado de libertad, el brazo del robot se desplaza arriba y abajo con movimiento de rotación en su base.

además de la carga propuesta, por lo que en este caso se requiere de un torque elevado o grande. Se propone un tren de engranes de corona y gusano, este mecanismo aumenta el torque a la salida. Disminuyendo de manera significativa la velocidad. Se realizaron los cálculos y se determinaron; los diámetros de la corona y del gusano, el número de dientes de la corona, número de filetes del gusano, diámetro de paso, etc. [29]. Los materiales propuestos para este mecanismo, debido a la excesiva fricción y desgaste entre los elementos son; acero para el gusano y Bronce para la corona (Figura 4).



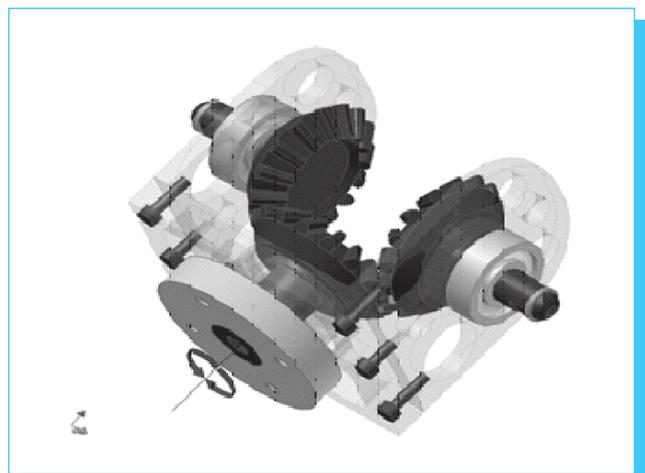
**Fig. 5.** Mecanismo del tercer grado de libertad, parte del brazo del robot se desplaza arriba y abajo con movimiento de rotación.

El tercer grado de libertad, funciona de la misma manera que el eje número dos, con la diferencia de que sólo se mueve una parte del brazo, utilizándose un mecanismo idéntico al del eje dos e inclusive va en el mismo eje. Lleva un buje para que no interfiera con el movimiento del mecanismo que mueve al eje dos. A la corona de este mecanismo se le fija una rueda dentada por medio de la cual se transmite el movimiento al eje tres utilizando una cadena de transmisión. El torque proporcionado por el mecanismo de corona y gusano es suficiente para mover al eje tres. Las ruedas dentadas son del mismo tamaño por lo que la velocidad se conserva al igual que el torque, tan solo se pierde un poco de fuerza debido a la eficiencia del mecanismo. Para este mecanismo se seleccionaron; la longitud de la cadena, los diámetros de las ruedas dentadas, el paso de acuerdo a procedimientos de relación normalizados [29] (Figura 5).

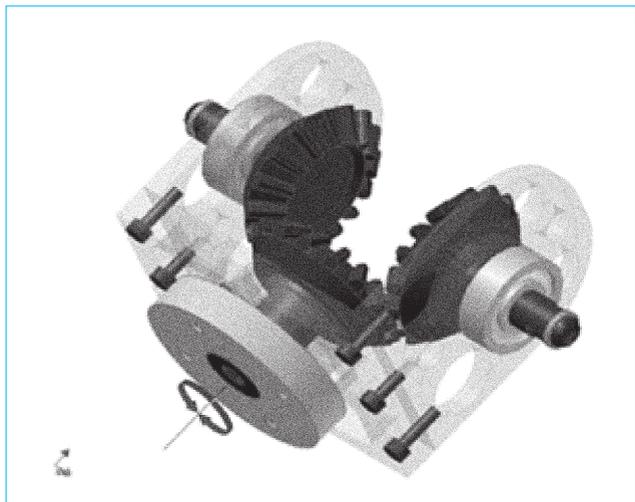
Cuarto grado de libertad, le permite al robot tener un giro de un eslabón anterior a la muñeca, para este eje se utiliza un tren de engranes simple de dos engranes rectos. El cálculo determina las características de los engranes que son; diámetros de paso, número de dientes [26]. Utilizando un módulo de uno, estos engranes fueron fabricados utilizando Nylamid (Figura 6).

Los grados de libertad cinco y seis, son los que le van a dar movimiento a la muñeca donde va colocado el efector final. El grado de libertad número cinco permite que la muñeca tenga un movimiento similar al de la mano humana (Figura 7).

El grado de libertad número seis permite que la muñeca tenga una rotación en ambos sentidos en cualquier punto en que



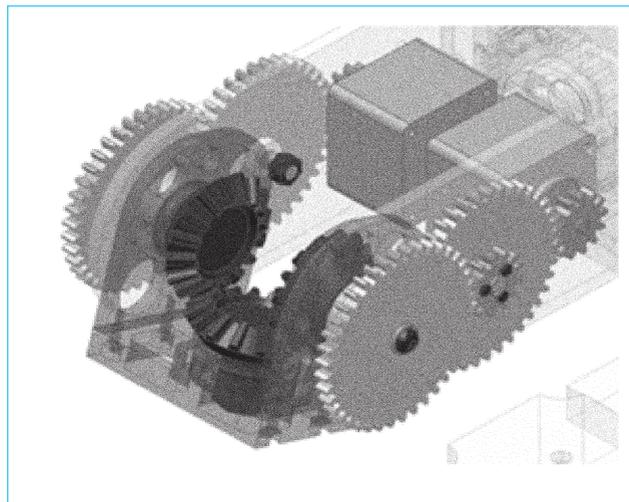
**Fig. 6.** Mecanismo del cuarto grado de libertad, el robot gira de un eslabón anterior a la muñeca.



**Fig. 7.** Mecanismo para los grados de libertad cinco y seis, son los que la van a dar movimiento al efector final.

se encuentre. Esto permite que el efector también pueda girar. Para poder realizar estos movimientos se utilizó un tren de engranes cónicos, colocando dos engranes laterales y uno en el centro. Cuando los engranes laterales giran en el mismo sentido, la muñeca tendrá el movimiento del grado de libertad cinco y cuando los engranes laterales giren en sentidos contrarios, el engrane del centro tendrá una rotación, lo que proporciona el movimiento del grado de libertad seis.

Como el torque de los motores no es suficiente para mover la muñeca, se implementaron dos trenes de engranes para cada uno de los engranes cónicos laterales. Con lo que se aumenta el torque del mecanismo. Se utilizó Nylamid para la fabricación de estos engranes [30]. Se seleccionaron del manual de FAG los rodamientos de acuerdo a las características de cada mecanismo [31] (Figura 8). En la muñeca, el robot tiene un plato en el que se pueden montar diferentes tipos de efectores finales (Figura 2).



**Fig. 8.** Implementación de dos trenes de engranes, para los engranes cónicos laterales.

### 5. Características del manipulador robótico

A continuación se presenta en la Tabla 1, las características técnicas generales para el funcionamiento del manipulador robótico.

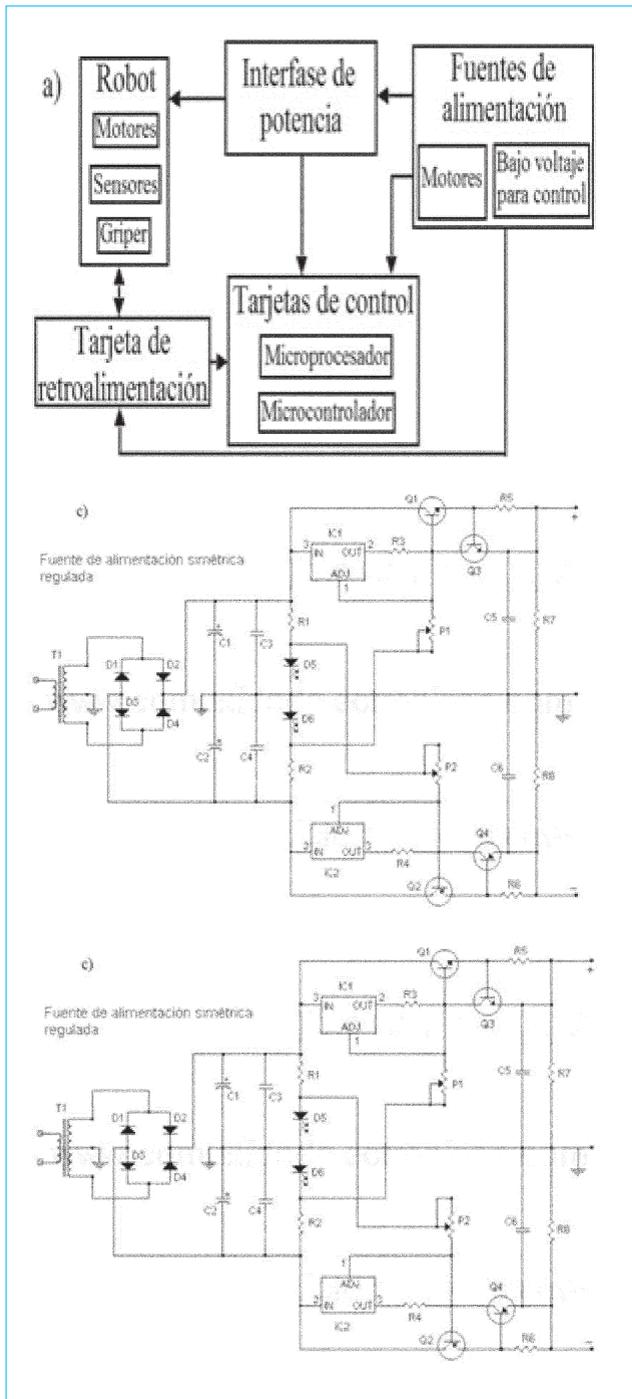
### 6. Diseño electrónico [26]

Los motores utilizados para este robot, son motores a pasos unipolares. El control de estos motores se realiza por medio de un corrimiento de pulsos y dependiendo del tiempo que transcurre entre cada pulso se controla la velocidad angular de la flecha del motor.

Estos motores utilizan una fuente de alimentación de corriente directa para su funcionamiento. La parte de diseño electrónico se divide en control y potencia. En la Figura 9, se muestran los

**Tabla 1.** Características técnicas generales del manipulador robótico.

Grado de Libertad	Tipo de Motor	Tipo	Torque Máximo	Velocidad Operación	Relación velocidad	Material Mecanismo	Torque Final
1					6	Piñón; Bronce, Eng.; Nylamid	1.236Nm
2	Eléctrico, Corriente	Sanyo 1.8 por paso	0.206 Nm	20 -120 rpm	8.66	Corona; Bronce Gusano; Acero	1.785Nm
3					8.66		1.785Nm
4					4.66		0.34Nm
5	Paso a Paso	5V-CD 3 Amp	0.073 Nm	10 - 60 rpm	10	Piñón; Bronce Engranes; Nylamid	0.73Nm
6					10		0.73Nm



**Fig. 9.** Diagramas del manipulador robótico a) Diagrama de funcionamiento. b) Diagrama de potencia. c) Diagrama fuente de alimentación

diagramas de funcionamiento del robot, la etapa de potencia y la fuente de alimentación.

### 6.1. Diseño del control

El control del robot se realiza a través de una tarjeta para el control de motores a pasos. Esta tarjeta cuenta con un microprocesador de la marca ATMEL (AT89C52 de 8 bits) y con un programa que se encarga de enviar la secuencia necesaria para hacer girar los motores a pasos. El programa se realizó utilizando la aplicación AVR STUDIO, tanto para su compilación, como para su programación [32].

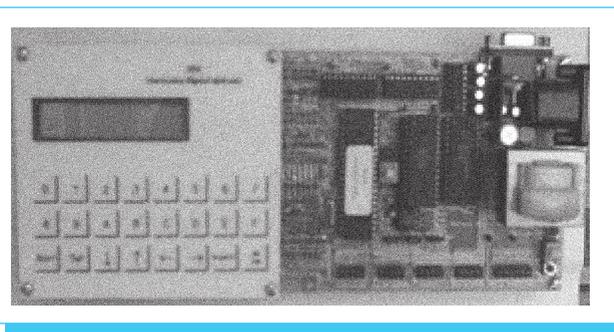
### 6.2. Diseño de potencia

La etapa de potencia está formada por transistores de potencia de tipo NPN. Estos transistores se utilizan para amplificar las señales provenientes de la microcomputadora y que están conectadas a los motores a pasos. Este tipo de arreglo permite activar las bobinas de los motores a pasos y proteger a la microcomputadora.

### 6.3. Interfase de operación

Como ya se mencionó antes, el control de este robot se lleva a cabo mediante un sistema microprocesador. Este sistema está integrado en una tarjeta desarrollada por la empresa EDA (Figura 10). La tarjeta cuenta con un teclado alfanumérico, mediante el cual es posible controlar los ejes o grados de libertad del robot. La programación principal se lleva a cabo por medio de una computadora y en el programa principal se establece la forma en que se van a utilizar las teclas de la tarjeta para controlar los movimientos del robot.

Se puede programar una secuencia de movimientos determinados previamente para que el manipulador los realice con solo pulsar una tecla. También es posible seleccionar cada uno de los ejes del robot de manera individual y moverlos de manera independiente.



**Fig. 10.** Tarjeta del sistema microprocesador.

La tarjeta cuenta con una pantalla en la que es posible visualizar el programa que se está ejecutando en ese momento, o el eje que se tiene seleccionado para el movimiento esto también depende del programa principal. Para la aplicación que se menciona en este trabajo, se utiliza el teclado de la tarjeta para controlar los movimientos del manipulador robótico, ya que se requiere que sea tele-operado. Esto con la finalidad de poder mover el efector final que se requiera para la cirugía.

## 7. Manufactura del manipulador robótico

La fabricación de los eslabones que forman la estructura, los ejes y la mayoría de los mecanismos, se realizó en las instalaciones de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco (Figura 11). También es considerado el nuevo diseño de efectores finales con las siguientes características:

- Endo-plataforma.- Un endoscopio es típicamente un tubo flexible de 70 a 180 cm de longitud de 11 milímetros de diámetro. En la actualidad las herramientas endoscópicas

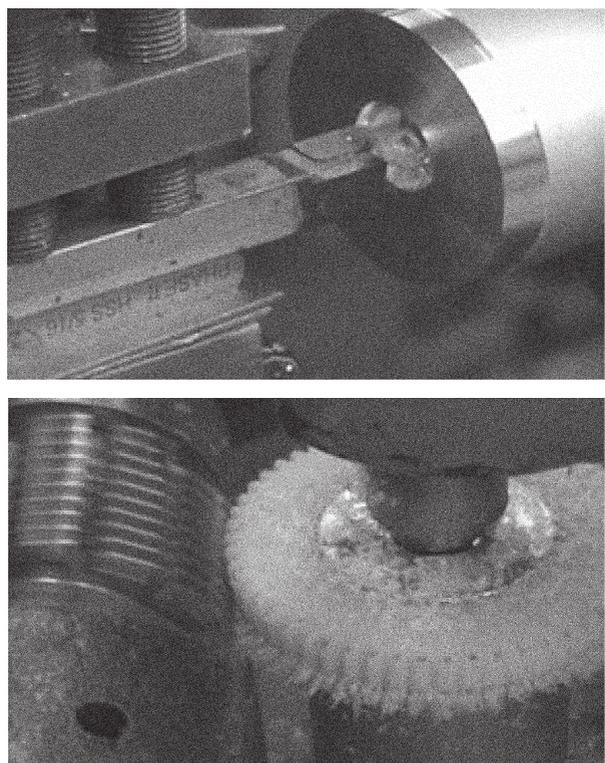


Fig. 11. Manufactura en general. a) Fabricación de eslabones. b) Fabricación de engranes.

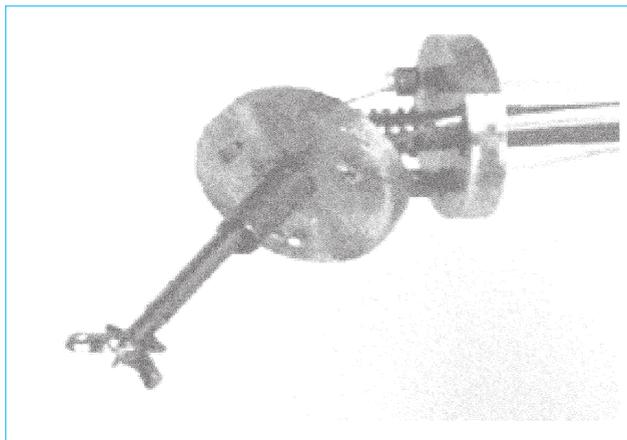


Fig. 12. Endo-plataforma con pinzas para biopsia.

son posicionadas mediante el desplazamiento de adentro hacia fuera.

- La endo-plataforma.- Diseñada por Jeff Wendlant, permitirá el más fino control de las ubicaciones de las herramientas endoscópicas (Figura 12).
- Efector final de laparoscopio.- Los sujetadores de agujas comunes y otras herramientas transmiten los movimientos de la mano del cirujano mediante mecanismos pasivos. A medida que los instrumentos se deslizan y giran a través del punto por el cual entran en la pared del cuerpo. Estos instrumentos son manipulados con cuatro grados de libertad. Consecuentemente, el cirujano puede alcanzar puntos dentro de un volumen tridimensional. Sin embargo, no tiene el control completo de la orientación. Para tareas simples, esto no es un gran impedimento, pero para tareas más complejas como la sutura es de extrema dificultad (Figura 13).

## 8. Características finales

El producto final que se presenta, tiene las siguientes características:

*Compatibles con el quirófano.*

- Cualquier parte del manipulador robótico en contacto con el paciente, está esterilizada.
- Es seguro en su manejo.
- Tiene una gran capacidad para cambiar y portar diversas herramientas.
- Es de tamaño reducido, ligero y con movimientos ilimitados.

Finalmente, se ensamblaron las partes mecánicas, se colocaron los motores y se instalaron los cables de cada motor. Obteniendo

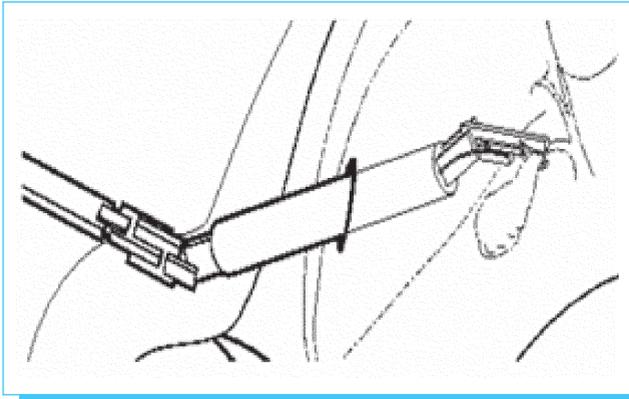


Fig. 13. Laparoscopia usando un brazo robótico.

como resultado un robot de 6 grados de libertad con la maleabilidad de cambiar manualmente su efector final y aplicarlo al área de cirugía (Figura 14).

### 9. Fase de entrenamiento para el cirujano

Una vez que se encuentra terminado en su totalidad el manipulador robótico, el entrenamiento del cirujano se realizará de la siguiente manera [33]:

- Introducción a la robótica.- El cirujano será documentado en aspectos básicos sobre la robótica y el estado del arte que esta guarda.
- Inducción básica al control.- El personal médico será inducidos al área del control para el manejo del manipulador robótico.

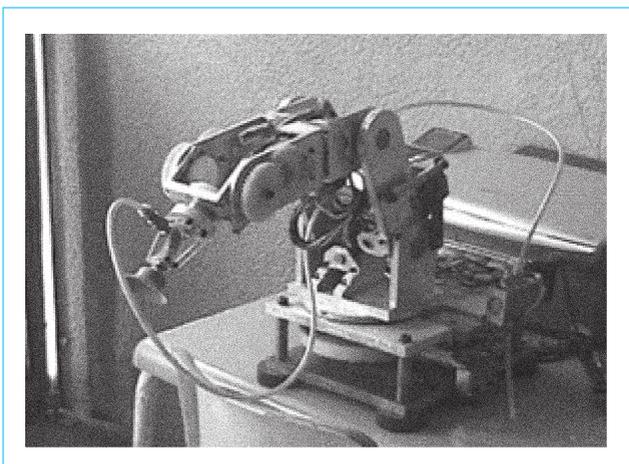


Fig. 14. Manipulador robótico para entrenamiento de cirujanos en el área de cirugía incisiva.

- Instrucción de manejo del manipulador robótico.- El robot que en este trabajo se presentó, tiene la capacidad de ser controlado por medio manual y/o programa. La manera manual, es por medio de una palanca de mando (joystick) y botones de avance. De esta manera el cirujano se relacionará con el manipulador robótico y el espacio de operación. Además de la sensibilidad y rapidez en los movimientos. Por otro lado, existen operaciones que requieren mayor precisión, por lo cual el cirujano será instruido en el desarrollo y manejo de programas para operar al robot (como se mencionó en secciones anteriores).
- Evaluación final.- Para finalizar el entrenamiento del personal, se realizará una evaluación del proceso de corte e incisión en partes que pueden ser de especímenes porcinos y/o bovinos.

Es muy importante mencionar, que este manipulador robótico es el primero en su tipo y aplicación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Donde su objetivo principal está dirigido al entrenamiento de cirujanos, por lo que actualmente se utilizan miembros porcinos y bovinos. Además, de que como es para el entrenamiento no se ha considerado, en este momento, que el manipulador se utilice en una cirugía de ser humano, por lo que no se consideran la higiene y condiciones de salud requeridas para realizar cirugías incisivas en humanos. Sin embargo, para que este tipo de componente mecánico cumpla con su potencial, sería necesario en un futuro tomar en cuenta las condiciones de higiene y salubridad que deben de existir para desarrollar cirugías incisivas en personas.

### 10. Conclusiones

En este trabajo se muestra el diseño y desarrollo de un manipulador robótico, el cual reúne las características necesarias para ser utilizado como entrenador de médicos y cirujanos en una disección incisiva. En la muñeca del manipulador robótico se pueden cambiar de manera manual los diferentes tipos de herramientas quirúrgicas necesarias para desarrollar el entrenamiento de un cirujano en operaciones incisivas, como: cámara de video, telescopio, separadores, tijeras, pinzas, bisturís, etc. El manipulador que aquí se presenta, muestra una gran sensibilidad-continua en sus movimientos, así como ser discretos y estables. La tolerancia del movimiento es de  $\pm 0.5$  mm, que lo hace un manipulador no extremadamente exacto, pero si utilizable para el entrenamiento y cirugías de mediana precisión. Su volumen de operación es de radio 0.4 m el volumen de trabajo es 0.06702 m<sup>3</sup>. Actualmente se ha entrenado personal médico y estudiantes de Ingeniería en la incisión en cuerpos de ranas, marranos y partes bovinas. Asimismo, se realizaron algunos estudios generales utilizando el laparoscopia. Este nuevo

dispositivo mecánico puede ser de gran utilidad para el sector salud y un gran avance para la tecnología del país.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional y a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidades Azcapotzalco y Zacatenco, por el apoyo proporcionado para la realización de este proyecto. Así como, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación. Además de agradecer al Ing. Jorge Gómez Villarreal por el apoyo e interés en esta investigación.

### 11. Referencias

- [1] Ollero-Baturone, A., *Robótica; manipuladores y robots móviles*, Boixareu editores, España, pp 2, 2001.
- [2] Iñigo-Madrigal, R. y Vidal-Idiarte, E., *Robots industriales manipuladores*, Ed. Maracambo editores, pp 26, 2002.
- [3] Dormido-Bencomo, S. y Segado-Bernal, A., *Robótica Industrial; Tecnología, programación y aplicaciones*, Ed. McGraw-Hill, pp 405-515, 1990.
- [4] Devol, G. H., *Forty years; A gambler on the Mississippi*, Ed. Applewood Books, pp 5, 2006.
- [5] Targarona-Soler, E. M. y Trías-Folch, M., *Terapéutica mínimamente invasiva y nuevas tecnologías en cirugía general y digestiva*, Ed. Masson, pp 361-363, 2003.
- [6] Merchán-Cruz, E. A. y Morris, A. S., *Fuzzy-GA-based trajectory planner for robot manipulators sharing a common workspace*, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 22, No. 4, pp 613-624, 2006.
- [7] Merchán-Cruz, E. A., Morris, A. S. y Ramírez-Gordillo, J., *Soft-computing techniques for the trajectory planning of multi-robot manipulator systems*, Robot Manipulators, Chapter 20, pp 373-398, ISBN: 978-953-7619-06-0, 2008.
- [8] Merchán-Cruz, E. A., Hernández-Gómez, L. H., Velázquez-Sánchez, A. T., Lugo-González, E. y Urriolagoitia-Sosa, G., *Exploiting monotony on a genetic algorithm based trajectory planner (GABTP) for robot manipulators*, 16th International Conference on Applied Simulation and Modeling, Palma de Mallorca, España, IASTED, pp 501-506, 2007.
- [9] Time-Life Books, *Robotics; Understanding computers*, Ed. Time, USA, pp 106, 1986.
- [10] Torres-Torres, C., Trejo-Valdez, M., Sobral, H., Santiago-Jacinto, P. y Reyes-Esqueda, J. A., *Stimulated emission and optical third order nonlinearity in Li-doped ZnO nanorods*, Journal of Chemical Physics C, Vol. 113, pp 13515-13521, 2009.
- [11] López-Suárez, A., Torres-Torres, C., Rangel-Rojo, R., Reyes-Esqueda, J. A., Santana, G., Ortíz, A., Alonso, J. C. y Oliver, A., *Modification of the nonlinear optical absorption and optical Kerr response exhibited by Nc-Si embedded in a silicon-nitride film*, Opt. Express, Vol. 17, pp 10056-10068, 2009.
- [12] Torres-Torres, C., Reyes-Esqueda, J. A., Cheang-Wong, J. C., Crespo-Sosa, A., Rodríguez-Fernández, L. y Oliver, A., *Optical third order nonlinearity by nanosecond and picosecond pulses in Cu nanoparticles in ion-implanted silica*, Journal of Applied Physics, Vol. 104, pp 014306\_1-014306\_6, 2008.
- [13] Torres-Torres, C., Khomenko, A. V., Tamayo-Rivera, L., Rangel-Rojo, R., Mao, Y. y Watson, W. H., *Measurements of nonlinear optical refraction and absorption in an amino-triazole push-pull derivative by a vectorial self-diffraction method*, Opt. Commun. Vol. 281, pp 3369-3374, 2008.
- [14] Camacho-Pinto, M., *De la neurocirugía a las neurociencias*, Ed. Academia Nacional de Medicina, pp 273, 2004.
- [15] Sabiston, D., *Sabiston, Tratado de cirugía: Fundamentos biológicos de la práctica quirúrgica moderna*, Ed. Elsevier España, pp 509, 2005.
- [16] Horgan, S. y Vanuno, D., *Robots in laparoscopic surgery*, Journal of laparoendoscopic and advanced surgical techniques, Vol. 11, No. 6, pp 415-419, 2001.
- [17] Targarona-Soler, E. y Abu-Abeid, S., *Terapéutica mínimamente invasiva y nuevas tecnologías en cirugía general y digestiva*, Ed. Elsevier España, pp 364, 2003.
- [18] Mahlke, G., *Conductores de fibras ópticas: Conceptos básicos, técnica del cable, planificación de las Instalaciones*, Ed. Marcombo, pp 232, 2000.
- [19] Domarus, A., *Medicina interna*, Ed. Elsevier España, pp 40, 1966.
- [20] Abbou, C. y Dubernard, J. M., *Cirugía de la próstata*, Ed. Elsevier España, pp 78, 2007.
- [21] Janetschek, G., Rassweiler, J. y Griffith, D. P., *Cirugía laparoscopia en Urología*, Ed. Elsevier España, pp 302, 1998.
- [22] Rodríguez-Montes, J. A., *Ciencias de la salud; Fundamentos de práctica quirúrgica*, Ed. Ramón Areces, pp 404, 2005.
- [23] Menon, M., Shrivastava, A., Tewari, A., Sarle, R., Hemal, A., Peabody, J. y Vallacien, G., *Laparoscopic and robot assisted radical prostatectomy: Establishment of structured program and preliminary analysis of outcomes*, The Journal of Urology, Vol. 168, No. 3, pp 945-949, 2002.
- [24] Gettman, M. T., Blute, M. L., Peschel, R. y Bartsch, G., *Current status of robotics in urologic laparoscopic*, European urology, Vol. 43, No. 2, pp 106-112, 2003.
- [25] Fortunato-Phillips, N., *Técnicas de quirófano*, Ed. Elsevier España, pp 302 y 327-340, 2005.
- [26] Chávez-Arreola, A., García-Guadarrama, O. y Rodríguez-Martínez, O. H., *Diseño y fabricación de un robot de seis*

- grados de libertad, Tesis de Ing. Robótica Industrial, ESIME Azcapotzalco, 2007.
- [27] Mabie, H. H., Ocvirk, F. W. y Fernández-Everest, S., Mecanismos y dinámica de maquinaria, Ed. Limusa, pp 151-281, 1996.
- [28] Catalogo de Metales y Cobres de México, S.A. de C.V.
- [29] Manual de Bandas y Cadenas de DODGE, 1999
- [30] Maloney, T., Electrónica Industrial Moderna, Ed. Mc Graw Hill, pp 2-26 y 526-542, 2002.
- [31] Catalogo de Rodamientos FAG, 2002.
- [32] Manual del Microcontrolador 8051 de Intel.
- [33] Sarle, R., Tewari, A., Shrivastava, A., Peabody, J. y Menon, M., Surgical robotics and laparoscopic training drills, Journal of Endourology, Vol. 18, No. 1, pp 63-67, 2004.

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

#### SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

# XI CNIES CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA Y DE SISTEMAS

MÉXICO, NOVIEMBRE, 2009.

# Indicaciones para los investigadores que deseen publicar en la revista Científica

La revista *Científica* ESIME es una publicación trimestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que presenta trabajos de investigación o propuestas originales en el área de la Ingeniería Electromecánica y sus ciencias afines.

Los artículos se reciben en la Coordinación Editorial de manera personal con una copia del archivo digital del trabajo y una copia impresa en el Edificio 5, Primer Piso, Oficina de la revista *Científica*, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP. 07738, México, DF; o por medio de correo electrónico: [revistacientifipn@yahoo.com.mx](mailto:revistacientifipn@yahoo.com.mx). Para aclaraciones se puede comunicar al teléfono 5729 6000 extensión 54518.

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros o más para que evalúen el escrito, quien recibe las observaciones de éstos e informa al Comité sobre los resultados de la revisión. Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas.

## Estructura de los artículos

Dentro del artículo la numeración comienza a partir del 'Resumen' o el 'Abstract', según sea el caso. Ésta continúa de acuerdo a los siguientes elementos: 1. Resumen, 2. Abstract, 3. Introducción, 4. Desarrollo, 5. Conclusiones y 6. Referencias.

## Título

El título debe ser lo más corto posible (sin utilizar abreviaciones de preferencia) y no exceder de tres líneas.

## Datos del autor

Éstos muestran el o los nombres de los autores, la dirección de la institución a la cual pertenecen, el teléfono, fax y correo electrónico.

## Resumen

Debe contener 200 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir la relevancia de éste.

## Abstract

Se incluye un resumen en inglés si el artículo está en español o viceversa. Éste aparece inmediatamente después del resumen en inglés o español, según sea el caso.

## Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo, y expresa el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

## Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo diseño. Es la parte medular y está compuesta por el planteamiento del problema y análisis del mismo, mencionando los materiales, métodos y técnicas. Las subdivisiones de este apartado se dejan al criterio del autor.

## Conclusiones

Establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

## Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: libros, artículos, manuales, memorias, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo con las siguientes especificaciones:

### Libros:

- [1] Autor, *Título*, número de edición, Editorial, Ciudad, año de publicación.  
[2] Autor, 'Capítulo del libro', *Título*, número de edición, Editorial, Ciudad, año de publicación, páginas.

Ejemplo:

- [1] Kays, W.M. & Crawford, M.E., *Convection Heat and Mass Transfer*, 2ª ed., McGraw-Hill, New York, 1993.

### Revistas:

- [1] Autor, «Título del artículo», *Revista*, **volumen** (número), año, páginas.

Ejemplo:

- [1] Lara, J.C., Hernández, D.G. y Alonso-Vanegas, M.A., «Desarrollo de un aparato estereotáctico con arco centrado», *Arch Neurocien.* **10**(3), 2005, pp. 196-202.

## Anexos

Los agradecimientos, simbología, notación y otros anexos, se consideran dentro del cuerpo del artículo y se dejan a consideración del autor. Se debe indicar si el trabajo ha sido previamente presentado en alguna institución científica o realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

## Consideraciones sobre el formato general

Para obtener la mejor calidad al realizar la edición de los manuscritos en el formato de la revista, se recomienda que: a) el texto se capture en un procesador de textos (*word*); b) el tipo de letra del texto sea *Times* de 10 puntos, en una página con márgenes superior e inferior y derecho de 2.5 cm, margen izquierdo de 3 cm a dos columnas con espaciado de 0.77 cm entre ellas; c) las ecuaciones y fórmulas numeradas para mayor claridad, acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto; d) los pies de las figuras deben estar debajo de éstas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes de las figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de éstas; e) las figuras y tablas en el documento deben entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). De antemano gracias.

# Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

The manuscript must be prepared in following a Camera Ready format with all its section numbered starting with the abstract, as shown below:

1. **Abstract**
2. **Resumen (Spanish abstract if it is possible).**
3. **Body of the manuscript**
4. **Reference list**
5. **Acknowledgements if any**
6. **Reference list**
7. **Appendix if any**

## Title

Must be concise and no longer than 3 lines using capital and lower case letters.

## Authors Name and Affiliations

The authors name must be written below the title using a one column format starting with the given name followed by one or two family names, if two family names applies. Below the authors names must be written the affiliation including the address quality, fax, telephone number or email.

## Abstract

The abstract with about 200 words must give a brief description about the research including some comments about the experimental or simulation results and conclusion.

## Resumen (Spanish abstract)

It is desirable that, if it is possible, a Spanish abstract be provided.

## Body of the Manuscript

The body of the manuscript must include an introduction in which the relevance of the research must be explained. A review of related research works by either, the same or another authors must be included.

The body of the manuscript also must include the theoretical aspects of the research, as well as experimental or simulation results is any, together with a Conclusions Section.

## Format

All manuscripts must be written in letter size paper, only by one side, with the following requirements. *a)* It is recommended that, if possible, the text be written using a word processor. *b)* The text must be written in two columns with a separation between them of 0.77cm, using a 10 points Times font or similar, with lower, upper and right margins equal to 2.5 cm and left margin equal to 3.0 cm. *c)* All the equations must be numbered and written using an equations editor. *d)* All symbols or abbreviations must be defined the first time that they be used in the text. *e)* All figures must be inserted in the manuscript. *f)* All figures must be numbered and its captions must be inserted below them. It is strongly recommended to use, when it be possible, words instead of symbols in the graphic axis. The table captions must be inserted above the corresponding table. *g)* All pictures and scanned figures must be high quality pictures for proper reproduction.

## References

References must appear in the format given below. For multiple authors all family names and given names initials must be given. Titles of the journals must be all in lower case except the fist letter of each word. All references must be cited by number in brackets, in the order that they appear in the text.



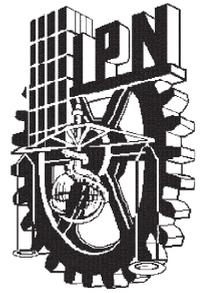
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
**Científica: LA REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos  
Edificio 5, Primer Piso, Oficina de la revista *Científica*,  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,  
Col. Lindavista, CP. 07738, Tel. 5729 6000 ext. 54518, Fax 55860758  
email: [revistacientifpn@yahoo.com.mx](mailto:revistacientifpn@yahoo.com.mx)



**El Instituto Politécnico Nacional  
y la Escuela Superior de Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica  
publican**

# Científica

LA REVISTA MEXICANA DE  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



**Suscripciones  
y venta de  
ejemplares:**

**Edificio 5, primer piso,  
Oficina de la revista Científica,  
Sección de Posgrado e  
Investigación de la  
ESIME Zacatenco,  
Unidad Profesional  
Adolfo López Mateos,  
Col. Lindavista,  
CP 07738,  
México, DF.**

**Tel. 5729 6000  
ext. 54518  
correo electrónico:  
revistacientifipn@yahoo.com.mx**

