

Modelación y Simulación de un Prototipo Robótico para Cirugía Mínimamente Invasiva

César A. Medina¹ y Vera Z. Pérez²

Abstract. *La simulación en la medicina es un área de múltiples aplicaciones por las ventajas que representa para realizar prácticas reiterativas perfeccionando los procesos de aprendizaje sin necesidad de usar pacientes sanos o animales con fines de prueba. El presente artículo muestra la simulación en tres dimensiones del sistema robótico para cirugía mínimamente invasiva RobIn Heart utilizando herramientas de Matlab™. Se presenta una manera de modelar los mecanismos en el sistema robótico visualizando la profundidad de los eslabones. Adicionalmente se realiza una reproducción del movimiento del sistema completo partiendo de los comandos que ingresa el cirujano y teniendo en cuenta la cinemática y la dinámica del sistema. Se obtuvo una interfaz gráfica que permite al usuario interactuar con el sistema RobIn Heart y que será útil en aplicaciones futuras de implementación de algoritmos de control.*

implementación en más instituciones es su alto costo. Por tal razón, desde el año 2000, *The Foundation for Cardiac Surgery Development (FCSD)* de Polonia está trabajando en el proyecto RobIn Heart (*RH*). Hoy en día es un sistema teleoperado funcional para aplicaciones en procedimientos cardíacos con posibilidad de expandir su funcionalidad a procedimientos laparoscópicos en general.

Este sistema posee un brazo que sostiene una cámara para la visualización durante la *MIS* y otros dos brazos equipados con herramientas. El Grupo de Investigaciones en Bioingeniería de la UPB ha realizado aportes en el marco del proyecto *RH* en la parte de análisis cinemático y dinámico del sistema maestro-esclavo complementados con simulaciones del mismo.

La modelación de *RH* es fundamental para los alcances del proyecto, puesto que no se tiene un acceso directo al prototipo robótico por condiciones geográficas. La simulación, por su parte es muy importante para realizar el cálculo de algunas constantes del sistema, desarrollar pruebas en un prototipo virtual, encontrar parámetros cinemáticos y dinámicos y en etapas futuras del proyecto, evaluar el desempeño de los algoritmos de control.

El presente artículo describe algunas características de los procesos de simulación aplicados al área médica y se enfoca específicamente en la estrategia usada para el caso del manipulador *RH*, presentando los resultados para la visualización tridimensional en el caso del sistema maestro y el sistema esclavo.

I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de la Cirugía Mínimamente Invasiva (*MIS* por sus siglas en inglés *Minimally Invasive Surgery*) ha tomado gran importancia a nivel mundial por las ventajas que representa para el paciente: reducción del tamaño de las incisiones y menor riesgo de hemorragias y complicaciones, lo que deriva en la reducción del tiempo de estancia hospitalaria y recuperación.

Al incorporar la robótica en este tipo de procedimientos, se logran ventajas adicionales que permiten potenciar las habilidades del cirujano; de esta manera, la Cirugía Robótica Mínimamente Invasiva (*MIRS*, por sus siglas en inglés *Minimally Invasive Robotic Surgery*) ha permitido disminuir algunas debilidades de la *MIS*.

El único sistema comercial de *MIRS* aprobado para uso en Europa, EE.UU. y algunos países asiáticos en la actualidad es daVinci® y aunque su uso ha tenido un incremento progresivo, el principal obstáculo para su

II. SIMULACIÓN MÉDICA

La simulación en el campo de la salud ha sido de gran apoyo en áreas como Medicina, Enfermería, Odontología, Tecnología Médica y Paramédica, ya que la realización de simuladores y emuladores ha permitido reemplazar los pacientes como medio de prueba, y ha revolucionado los

¹ Estudiante de Ingeniería Mecánica – Investigador Asistente Centro de Bioingeniería –Universidad Pontificia Bolivariana

² Estudiante de Doctorado en Ingeniería – Jefe de la Línea de Robótica Médica del Centro de Bioingeniería - Universidad Pontificia Bolivariana

modos de entrenamiento de habilidades motoras y del conocimiento. [1].

El ámbito de la *MIS* se está convirtiendo en un área interesante de incursión de los procesos de simulación, puesto que permite realizar prácticas quirúrgicas cubriendo áreas de cirugía laparoscópica, torácica y ortopédica. El personal resulta altamente capacitado y ha sido motivación para crear ambientes de simulación en *MIRS*, que permitan adicionalmente involucrar características de sistemas robóticos que potencialicen las habilidades del cirujano. El desarrollo que se presenta a continuación se ha realizado específicamente para el caso del sistema robótico *RH*.

III. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ROBIN HEART

RH es un caso específico de un sistema teleoperado para una aplicación en *MIS* cardiotorácica, desarrollado por FCSD de Polonia y conformado por un sistema maestro-esclavo: el maestro es un manipulador serial de 4 grados de libertad (DOF), dirigido por el cirujano y el esclavo es un manipulador en paralelo de 7 DOF, que tiene el contacto directo con el paciente [2].

Debido a la consideración de sistema teleoperado, es necesario realizar el análisis de la cinemática directa del maestro, que permite conocer la posición del efector final del dispositivo manipulado por el cirujano; cinemática inversa del esclavo, para identificar los movimientos de cada una de las articulaciones del robot que interactúa con el paciente y cinemática directa del esclavo, que permite conocer el punto final del instrumental quirúrgico, interpretando la posición del efector final que debe coincidir con la punta de la herramienta en el sistema maestro.

La cinemática directa se realizó aplicando el algoritmo de Denavit Hartenberg y permite conocer la posición del manipulador con respecto a un marco de referencia (base). Para el caso de los cálculos y la simulación de *RH* se utilizó la forma Standard y la Forma modificada, dando validez de esta manera a los resultados obtenidos.

Para la realización de la cinemática inversa se aplicaron métodos numéricos, puesto que las ecuaciones que rigen la posición del sistema maestro y esclavo eran mayores que el número de incógnitas presentes.

Para realizar el análisis dinámico se calcularon los valores de torques en cada una de las articulaciones del robot a partir de sus posiciones, velocidades y aceleraciones. Este análisis se realizó utilizando las dos técnicas más comunes en el campo de la robótica: el método de Lagrange-Euler y el método de Newton-Euler, ratificando los resultados entre sí y validando de esta manera la dinámica del sistema.

IV. MODELACIÓN DE MECANISMOS

Todos los análisis de mecanismos parten de una simplificación esencial, la cual los reduce a simples líneas que permiten ver mejor la conformación del mismo y su relación entre las articulaciones, determinando sus características de movimiento, como se muestra en el caso de la Fig. 1 para el manipulador esclavo *RH*.

La simulación de los mecanismos a partir de líneas posee como desventaja la falta de visualización de la profundidad de los eslabones, por lo cual, para mecanismos de configuración espacial no es muy conveniente este tipo de simulación. Por lo anterior, la implementación de una función general para visualizar los eslabones en el sistema *RH* es esencial en un proceso de simulación, dado que tanto el sistema maestro como el esclavo poseen una configuración espacial.

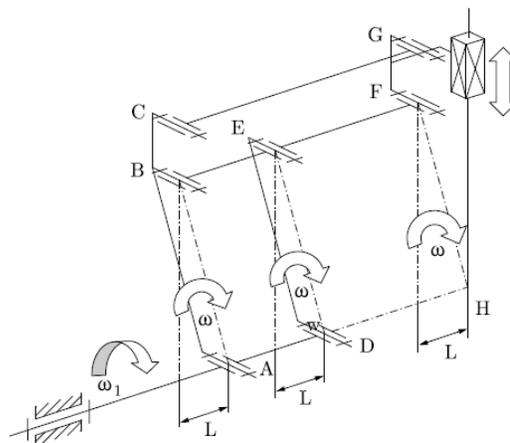


Figura 1. Simplificación del sistema esclavo [3].

La implementación del posicionamiento se realizó teniendo en cuenta nuevamente los cálculos de la cinemática, y específicamente, a partir de las transformaciones matriciales que permiten extraer los puntos en que se articulan los manipuladores, con esto se determinó que el posicionamiento de las barras se realizaría a partir de dos vectores (inicial-final).

Se realizó por tanto una función que permite hacer barras rectangulares, hexagonales o circulares según el caso, y que permite también cambiar las propiedades dimensionales, de relación entre el ancho y la profundidad para secciones rectangulares, e implementar rotaciones para barras que giran sobre su eje como el caso de una corredera.

V. MODELACIÓN DE LOS PROTOTIPOS MECÁNICOS DEL SISTEMA ROBIN HEART

La implementación de la visualización en MATLAB™ de los sistemas de maestro y esclavo se realizó a partir de algunos planos e imágenes que se tenían del trabajo realizado en FCSD; partiendo de los esquemas más básicos se incorporaron características dando como resultado unos sistemas muy semejantes a los reales, los cuales se incluyeron dentro de una interfaz gráfica que les permitió interactuar entre sí y con el usuario teniendo en cuenta los análisis cinemático y dinámico en el sistema.

De esta manera es posible visualizar el movimiento equivalente que realiza el esclavo como respuesta a los comandos que le imprime el cirujano al maestro, grabar dichos comandos y visualizarlos posteriormente. Adicionalmente, es posible visualizar de forma detallada las curvas que describen dicha trayectoria cinemática y las curvas dinámicas tanto para el maestro como para el

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO DE MEDELLÍN JUL IO 31 2008
DÍA MATLAB
PONENCIA N. 15

esclavo en el movimiento anteriormente registrado por el software.

Las Fig. 2 y 3 comparan los sistemas maestro y esclavo simulados con el prototipo real, los cuales se realizaron completamente desde la plataforma MATLAB™.

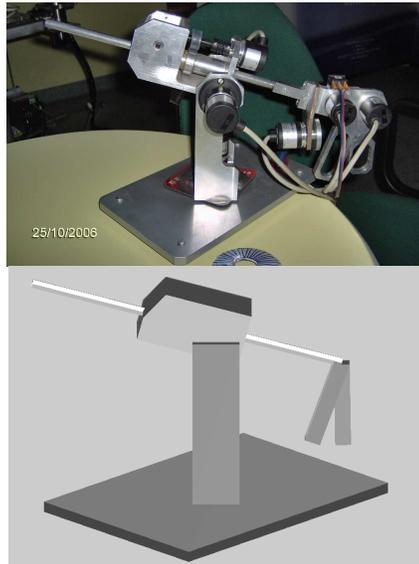


Figura 2. Imagen del prototipo del sistema maestro real (*superior*) y del simulado en MATLAB™ (*inferior*).

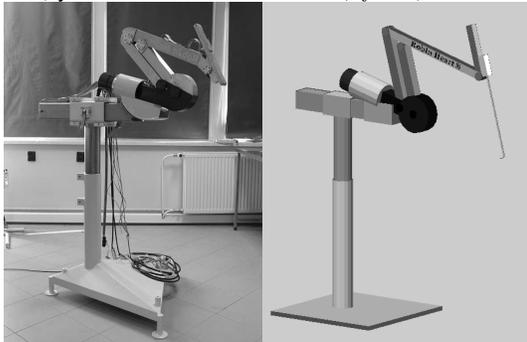


Figura 3. Imagen del prototipo del sistema esclavo real (*izquierda*) y del simulado en MATLAB™ (*derecha*).

VI. CONCLUSIONES

La simulación en la actualidad ha cambiado radicalmente el modo de aprendizaje de los nuevos estudiantes de las diferentes ciencias, haciendo una enseñanza más eficiente y con herramientas visuales para el fácil entendimiento.

La reducción de la práctica con animales o personal sano es un punto muy interesante que ha logrado la simulación, como también nos permite la realización de diversas pruebas con una ilimitada reiteración sin la necesidad de ningún tipo de sacrificio animal o poner en riesgo a algún individuo para la obtención de los resultados.

La visualización de los mecanismos espaciales mediante barras tridimensionales, nos da la posibilidad de adquirir

mejores resultados y una mejor presentación de los sistemas, para que personal no muy capacitado en el campo de los mecanismos entienda fácilmente su conformación.

En el caso de las simulaciones realizadas para el caso de RH, se logró una ambiente amigable para el usuario con la facilidad en la visualización de los mecanismos. De esta manera se busca una mejor realimentación del personal médico para los procesos de incorporación futura de los sistemas de control.

REFERENCIAS

- [1]. Avendaño, G., *La Importancia De La Simulación En La Docencia De Ciencias Biomédicas E Ingeniería Biomédica*. 2008: p. 6.
- [2]. Podsedkowski, L., *RobIn Heart 0,1, and 3 - mechanical construction development*. Bulletin of the polish academy of sciences, 2005. **53**(1): p. 79-85.
- [3]. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4623>. *National Instruments*. [cited].