

# Modelo de un simulador de la maniobra de la endoscopia gástrica basado en video

SIMPLE SIMULATOR OF GASTROINTESTINAL ENDOSCOPY WITH INCORPORATION OF REAL VIDEO IMAGES

Vanessa Hernández Quiceno<sup>1,✉</sup>, Gabriel Obregón Henao<sup>1</sup>, Andrés F. González Ramírez<sup>1</sup>,  
Edison Valencia Díaz<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería Biomédica. Escuela de Ingeniería de Antioquia-Universidad CES, Colombia

<sup>2</sup> Líneas de Bioinstrumentación, Señales e Imágenes Médicas, Ingeniería Clínica. Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica EIA-CES (GIBEC), Colombia

Recibido 21 de julio de 2008. Aceptado 12 de junio de 2009.

---

**Resumen**— En el siguiente artículo se expone un modelo simple del procedimiento de endoscopia gástrica y un modelo plástico del estómago y de la distensión estomacal. El uso correcto de imágenes ayuda al desarrollo de sistemas de realidad virtual, y presenta más realismo a la simulación. El objetivo del trabajo consiste en experimentar la posibilidad de construir sistemas simuladores de pacientes en Colombia, utilizando la tecnología localmente disponible, a bajo costo y destinados para la formación de estudiantes de medicina.

**Palabras clave**— Endoscopia, Entrenamiento virtual, Exploración gástrica, Simuladores de paciente.

**Abstract**— The following paper deals with a simple model of a gastric endoscopy procedure and a plastic model of the stomach and its distension. The correct use of imaging helps in the development of virtual reality systems, and provides a greater realism to the simulation itself. The goal is to experience the possibility of building patient simulator systems in Colombia, using locally available technology, at low costs and intended for the training of medical students.

**Keywords**— Endoscopy, Virtual training, Gastric exploration, Patient simulators.

---

## I. INTRODUCCIÓN

La actualización de los modelos pedagógicos de educación está relacionada con los avances tecnológicos, lo que permite que los aprendices experimenten nuevas formas para adquirir conocimiento [1-8]. En la formación de las escuelas de medicina, el entrenamiento con instrumentos médicos y la ejecución de procedimientos en situaciones extremas, son prácticas que cada día se desarrollan con más frecuencia. Son estas escuelas las que demandan nuevos sistemas de simulación, modelos de procedimientos para la formación e incorporación de tecnología.

Los ingenieros biomédicos, en conjunto con personal del área médica y de ingeniería, debido a las nociones técnicas y biológicas asimiladas durante su formación, desarrollan competencias, que al unir experiencias de médicos expertos, pueden diseñar y crear prototipos de simuladores de pacientes para casos específicos que ayuden a los aprendices de medicina y a los operarios de equipos médicos, a adquirir destrezas en el manejo de alguna situación específica.

Los sistemas de simuladores de pacientes son mecanismos que recrean situaciones clínicas y fisiológicas con diferentes niveles de fidelidad. Se emplean como

✉ Dirección para correspondencia: [bmvanessa@eia.edu.co](mailto:bmvanessa@eia.edu.co)

herramientas didácticas para los estudiantes del área de la salud, puesto que permiten realizar prácticas seguras en pacientes artificiales con comportamientos reales, pero sin el riesgo de ocasionar lesiones a los seres humanos [9-10].

Hoy en día es normal encontrar en las instituciones de educación en el área de la salud, algunos modelos de maniqués simuladores de pacientes. Existen según una especialidad o genéricos, y varían en talla. Las características principales de los modelos son su semejanza con el ser humano y que permiten configurar diferentes situaciones de acuerdo a la necesidad del usuario. En Medellín, la Universidad CES cuenta con un grupo de maniqués para el entrenamiento de los futuros médicos dentro de los cuales se encuentran simuladores de pacientes de diferentes edades. Contienen desde tecnología básica para procedimientos simples, hasta sistemas complejos de monitoreo de signos vitales y evaluación en tiempo real. Las principales desventajas que presentan estos modelos son el costo de los equipos relacionados y la fragilidad que presentan cuando son manipulados por un grupo numeroso de estudiantes. Por lo tanto, se considera ideal encontrar un fabricante nacional que pueda modificar los modelos de acuerdo a las nuevas necesidades y a costos razonables para el medio.

En este artículo se describe la construcción de un modelo simple de un sistema que simula un procedimiento de examen de endoscopia gástrica relacionado al método de exploración con fibroscopio, y la modelación de la distensión estomacal por la ingesta de alimentos. El modelo permite simular diferentes situaciones y sugiere que la creación novedosa de sistemas de simulación es un campo de ejecución laboral para los ingenieros biomédicos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

para desarrollar el modelo que simula el procedimiento de maniobra del fibroscopio (endoscopia gástrica), se diseñó un programa asistido por computador basado en el procesamiento de señales e imágenes. El objetivo del programa consiste en controlar el ingreso de una sonda al maniqué y visualizar en un monitor de computador la imagen del sistema digestivo de forma similar a como se visualizaría en el procedimiento de endoscopia gástrica que se practica en los seres humanos.

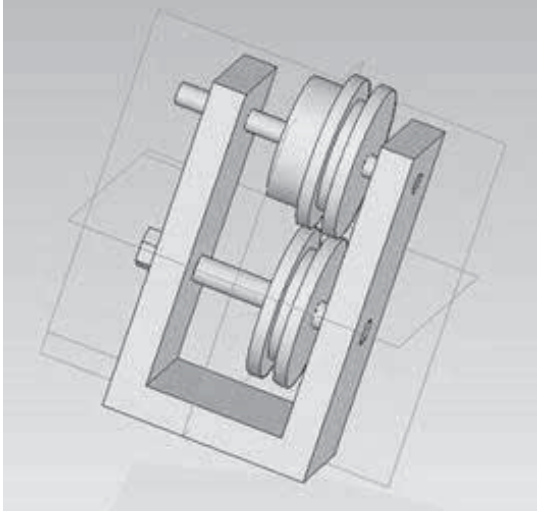
Se divide el modelo en dos partes, un sistema de control para identificar la dirección y la velocidad relacionadas con la manipulación de la sonda, y un programa de computador que presenta la visualización de las imágenes de forma similar a las que se observan en el procedimiento humano.

Para medir la dirección y el avance de la sonda, se utilizan un par de interruptores ópticos y un disco dentado (comercialmente conocidos como interruptores ópticos ranurados, referenciado H22A1) similares a los empleados en los antiguos ratones de computador basados en una esfera y un sistema de dos discos dentados para la lectura de la posición. Estos interruptores ópticos se ubican de forma tal que generen dos señales digitales desfasadas por el paso del disco dentado a través de ellos, respondiendo a la manipulación de la sonda; señales que luego se llevan a un flip-flop tipo D. Este último genera dos señales identificadas como “entra” y “sale” de acuerdo al movimiento direccionado del disco dentado. El avance de la sonda depende del número de cambios de valor de una de las señales entre 0 y 1 y la velocidad resulta de dicho número de cambios por unidad de tiempo.

La lectura de las señales por el computador se realiza utilizando una tarjeta de adquisición de señales digitales y analógicas. Se ha usado el dispositivo DAQ de National Instruments NI USB-6216, el cual es un dispositivo básico de conexión de variables análogas y digitales, tanto de entrada como de salida, que se conecta al computador a través del puerto USB. Este tipo de dispositivos se puede controlar desde el programa LabView de la misma casa o desde Matlab (usado en este caso).

Es natural sentir en la manipulación de la sonda una restricción de maniobra, generada por el sistema respiratorio de los seres humanos [11-13], por ende es necesario desarrollar una obstrucción artificial en el sistema de desplazamiento de la sonda para que la persona que manipule el simulador perciba sensaciones similares a las que siente cuando realiza el procedimiento en los seres humanos. La obstrucción artificial del sistema digestivo busca regular la velocidad de desplazamiento de la sonda. Ola Körnet *et al.* [14] expone en su trabajo un sistema novedoso para navegar por un espacio virtual. La obstrucción la simula con un dispositivo basado en la resistencia electro-mecánica que imita las diferentes restricciones de movimiento que tiene el sistema digestivo humano.

En este trabajo, se diseñó un dispositivo mediante un juego de poleas (Fig. 1) al cual se le integró el sistema de control de velocidad y direccionamiento de la sonda. Con las poleas se busca generar presión sobre la sonda para frenar el desplazamiento de ésta. Las poleas están sujetas a un armazón que limita los giros por tensión superficial ajustable; de esta forma, cuando la sonda pasa por el medio de las poleas se experimenta una restricción del movimiento producto de fuerzas de presión y tensión superficial, simulando la contracción muscular de la garganta y la rugosidad del sistema gástrico humano [13].



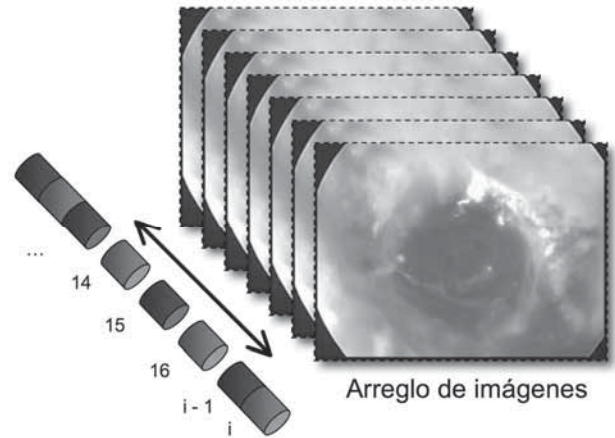
**Fig. 1.** Esquema del juego de poleas que simula la obstrucción de la sonda al pasar por la garganta. Modelo realizado con la aplicación *Solid Edge*.

Una vez que se tiene el sistema de control de la sonda que simula la manipulación del fibroscopio en el procedimiento de endoscopia gástrica se procede a la visualización de las imágenes para crear un sistema de realidad virtual. Existen diversas técnicas expuestas por diferentes autores que solucionan el problema de la simulación. El trabajo de Thomas Schiemann *et al.* [15] está inspirado en las imágenes de una tomografía axial computarizada y aplicando técnicas de procesamiento de imágenes, construye un espacio virtual del cuerpo humano y del sistema digestivo. El realismo de este sistema es pobre, y la representación de las enfermedades gástricas son difíciles de observar. La ventaja de esta técnica es la forma de los conductos gástricos puesto que son muy cercanos a la realidad.

En el trabajo de Hochberger *et al.* [16] se describe un simulador para entrenamiento de procesos médicos de endoscopia gástrica que hace uso de vídeos realizados a pacientes y que son presentados de forma controlada por el simulador. Esta solución ha sido la inspiración para la propuesta de realidad virtual que se expone en este trabajo.

Para la simulación de la labor médica de exploración del sistema digestivo desde la boca hasta el estómago, se han tomado vídeos de pacientes reales, se borra la identificación por protección al derecho de intimidad del paciente (dato que no es relevante), se segmenta el vídeo y mediante procesamiento digital de imágenes, más específicamente usando la transformada de Fourier y calculando el factor de correlación entre una imagen con la siguiente según el orden de la animación, se filtran las imágenes del vídeo en las que la filmación no presenta cambios de movimiento. Estas imágenes se eliminan con

el fin de obtener un arreglo de imágenes en donde cada una representa una distancia física en el sistema digestivo desvinculada del tiempo del vídeo. De esta forma, al indexar dichas imágenes de forma progresiva desde la boca hasta el estómago, se puede relacionar el movimiento de la sonda con un contador (positivo o negativo según la dirección de movimiento) que manipula el índice relacionado con la imagen a presentar. La Fig. 2 ilustra la idea de asociar a cada tramo de la sonda una imagen, de tal forma que el movimiento de ésta relacione una imagen.



**Fig. 2.** Esquema que ilustra la asociación entre el desplazamiento de la sonda y el movimiento de las imágenes. Cada cilindro al lado izquierdo de la imagen representa una imagen.

Con las imágenes se pueden realizar varias aplicaciones desde el punto de vista de la formación académica. Se puede complementar el simulador con el análisis de las imágenes que se perciben y de esta manera la práctica no se limita únicamente a adquirir la destreza de maniobrar la sonda, sino que se complementa con el entrenamiento del diagnóstico y la explicación de las imágenes. Como complemento al simulador desarrollado se ha creado un sistema simple de análisis orientado a la ayuda diagnóstica. La fig. 3 ilustra un flujo de datos que simula una exploración gástrica y permite ejecutar diferentes algoritmos para reconocimiento de patologías, como ejercicio pedagógico.

Mediante una interfaz gráfica desarrollada en Matlab se carga el conjunto de imágenes y se realiza una proyección de las mismas utilizando los sistemas de obstrucción gástrica y direccionamiento de la sonda. Esta interfaz no solo se limita a presentar las imágenes segmentadas del vídeo sino que cada imagen tiene la posibilidad de ser procesada utilizando la información del color para resaltar tumores o zonas de color distinto al de la imagen en general, lo cual puede ser de utilidad para el diagnóstico [17-18].

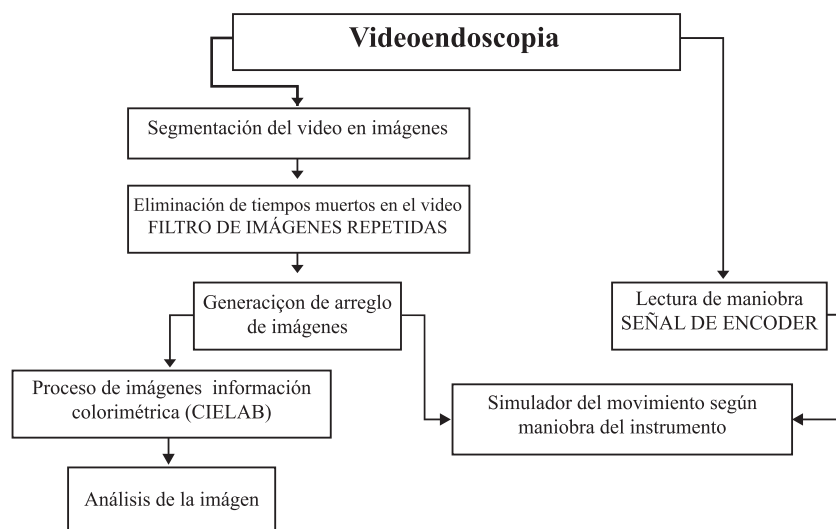


Fig. 3. Esquema del movimiento, procesado y análisis de imágenes (endoscopia).

El simulador se completa con una representación física del estómago que presenta una aproximación de la distensión estomacal. El modelo del estómago se realiza con la vejiga de un balón recubierta con caucho silicona y rodeada por una capa delgada de espuma suave que le confieren la apariencia de estómago (Fig. 4). La vejiga simula la distensión estomacal con el ingreso y egreso de agua, la cual es impulsada de manera controlada por una pequeña bomba alimentada con corriente alterna. El movimiento del agua a través del estómago simula la entrada de alimentos y la salida del quimo. El agua se transporta desde un tanque y a través de dos mangueras hasta la vejiga, motivo por el cual ésta se comienza a llenar y cuya distensión se mide mediante un sensor LVDT.

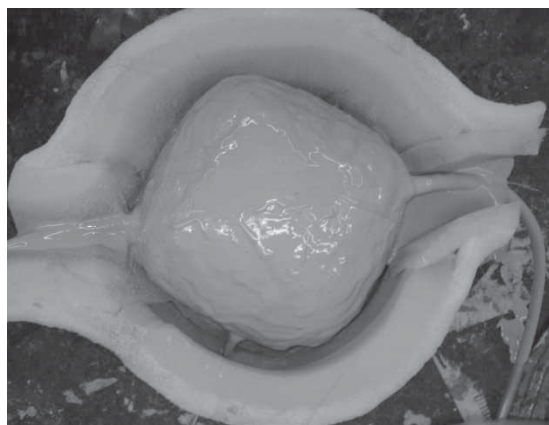


Fig. 4. Modelo plástico del estómago.

La distensión estomacal se regula de manera indirecta mediante un control análogo de tipo proporcional integral

(PI) simulando señales neuronales. Se logró fijando diferentes puntos de partida (set-points) a través de un teclado y actuando sobre el flujo de la bomba, motivo por el cual fue indispensable emplear un circuito de cruce por cero y la electrónica que permita el control. Para fines de la simulación, previamente se tuvo que identificar el modelo que rige la expansión de la vejiga (función de transferencia).

### III. RESULTADOS

Se obtuvo un sistema de simulación de una exploración gástrica mediante un procedimiento de endoscopia basado en el desplazamiento de una sonda “artificial” flexible a través de un juego de poleas dotado con un sistema de obstrucción que controla la maniobra de la sonda. El simulador se apoya de un sistema de procesado de imagen capaz de identificar el grado de invasión de diferentes patologías (úlceras, gastritis, etc.) de manera cualitativa.

Adicionalmente, se construyó un modelo estomacal que se comporta como una planta capacitiva de primer orden de respuesta lenta y distensible de manera controlada (regulador PI) por el flujo de agua a través del mismo; el flujo del líquido es posible gracias a la actuación de una pequeña bomba. Un sensor LVDT simula los diferentes mecanismos del organismo que miden el grado de relajación de la musculatura gástrica, y cuyos límites se establecen con la definición de un *set-point* mediante un teclado.

El modelo es simple, pero es un comienzo para conocer el cuerpo humano y simular de forma mecánica, electrónica e informática sus funciones.

#### IV. DISCUSIÓN

En una etapa posterior, la simulación del examen de endoscopia podría indicar la profundidad de la sonda en todo momento y entregar, mediante archivos de audio pregrabados, por ejemplo, información pedagógica sobre los diferentes órganos que componen el sistema digestivo a medida que éstos vayan apareciendo en la interfaz gráfica.

Con respecto al modelo del estomago, se podría diseñar un mejor acondicionamiento y acople del LVDT buscando una señal menos ruidosa para obtener una mejor toma de datos y por consiguiente una identificación del sistema y un regulador más confiables.

Este ejercicio demuestra que las competencias adquiridas en la formación de los ingenieros biomédicos son útiles para desarrollar sistemas de simulación que apoyen la formación de los estudiantes de ciencias de la salud.

#### V. CONCLUSIÓN

Tratar de simular funciones anatómicas, es un gran ejercicio para aprender cómo funciona el cuerpo humano y cuál es su analogía con los sistemas artificiales. Esto conduce al desarrollo tecnológico en el área de la robótica aplicada a la medicina. Adicionalmente, llevando a cabo un trabajo interdisciplinario, utilizando tecnología local e ingenio, se pueden construir sistemas de simulación de pacientes generando así un nuevo campo de apoyo a la educación.

Con el fin de explicar los fenómenos naturales de diferentes maneras, se conciben métodos originales para adquirir nuevos conocimientos; esta afirmación se refleja en este trabajo. Al tratar de explicar cómo avanza y retrocede un video de un procedimiento de exploración gástrica, de forma artificial comparado con el procedimiento real, surgen varias preguntas relacionadas con la exploración gástrica real. Por ejemplo, cómo se podría medir la reacción del cuerpo al paso de la sonda, o, cómo se podría iluminar mejor la exploración gástrica. Dejando con esto una semilla para comprender y explorar los sistemas de observación del cuerpo humano.

Como trabajo futuro se tiene la construcción de mundos virtuales para tener diferentes formas de navegación y metrología en procedimientos de esofagogastroduodenoscopia

#### AGRADECIMIENTO

Este trabajo se presentó como proyecto integrador de estudiantes de séptimo semestre del programa de Ingeniería Biomédica EIA-CES. Los autores agradecen a la Escuela de Ingeniería de Antioquia, a la Universidad CES, a los profesores de las áreas de biomédica y mecatrónica por todo el apoyo brindado.

#### REFERENCIAS

- [1] EIA & ACOFI. (2008). Aprendizaje Activo: aspectos curriculares y metodológicos para la formación de ingenieros de calidad. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- [2] Fried M.P., Satava R., Weghorst S., Gallagher A.G., Sasaki C., Ross D., Sinanan M., Uribe J.I., Zeltsan M., Arora H., Cuellar H. Identifying and reducing errors with surgical simulation. *Quality and safety in health care*, 13,S1, 19-26, 2004.
- [3] Gorman P.J., Meier A.H., Krummel T.M. Simulation and virtual reality in surgical education-real or unreal? *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage*, 134, 1203-1208, 1999.
- [4] Graaff E.D., Ravesteijn W., Kroesen J.O. The engineering of engineering education: curriculum development from a designer's point of view. *European journal of engineering education*, 31,2, 215-226, 2006.
- [5] Jellonek K., Kotulska M. Measuring and diagnostic systems in biomedical education. *Engineering science and education journal*, 11,1, 2-6, Feb 2002.
- [6] Langevin F., Donadey A., Hadjes P., Blagsklonov O. Biomedical education for clinical engineers. *Proceedings of the 29th annual international conference of the IEEE EMBS*, Lyon, France: IEEE, 5940-5941, 2007.
- [7] Panchaphogsaphak B., Burgkart R., Riener R. Three-dimensional touch interface for medical education. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 11,33, 251-263, 2007.
- [8] Ziv A., Ben-David S., Ziv M. Simulation based medical education: an opportunity to learn from errors. *Medical teacher*, 27,3, 193-199, 2005.
- [9] Aggaarwal R., Grantcharov T., Moorthy K., Hance J., Darzi A. A competency-based virtual reality training curriculum for the acquisition of laparoscopic psychomotor skill. *The American journal of surgery*, 191,1, 128-133, 2006.
- [10] Akay M., Marsh A. Information technologies in medicine, vol. 1, medical simulation and education. Willey-IEEE Press, April 2001.
- [11] Tortora G.J., Derrickson B. Principios de anatomía y fisiología. Onceava edición. Editorial panamericana. Págs 901-950.
- [12] Guyton A.C., Hall J.E. Tratado de Fisiología Médica. McGraw-Hill, 2001.
- [13] Bouchet A., Cuilleret J. Anatomía descriptiva, topográfica y funcional-abdomen. Editorial Médica Panamericana. Pág 164.
- [14] Körner O., Männer R. Haptic display for a virtual reality simulator for flexible endoscopy. Editors S. Müller, W. Stürzlinger. Eighth eurographics workshop on virtual environments, 2002.
- [15] Schiemann T., Tiede U., Höhne K.H. Segmentation of the visible human for high-quality volume-based visualization. *Medical image analysis*, 1,4, 263-270, 1997.
- [16] Hochberger J., Euler K., Naegel A., Hahn E.G., Maiss J. The compact Erlangen active simulator for interventional endoscopy: a prospective comparison in structured team-training courses on 'endoscopic hemostasis' for doctors and nurses to the 'Endo-Trainer' model. *Scandinavian journal of gastroenterology*, 39, 9, 895-902, 2004.
- [17] Millán M.S., Valencia, E. Color image sharpening inspired by human vision models. *Applied Optics*, 45,29, 7684-7697, 2006.
- [18] González R.C., Woods R.E., Eddins S.L. Digital image processing using MATLAB-Prentice-Hall, 2004.