

Datos generales

Jorge Chávez
María Monterrubio
Tadeo Caballero
Emiliano Martínez
Gabriel Rivero
Itzel Cabrera

Ingeniería biomédica
6to semestre

Idea del proyecto

Se presenta el diseño y desarrollo de un simulador de endoscopia orientado al entrenamiento en la exploración del tracto esofágico, con énfasis en el esófago distal, la unión gastroesofágica y el cardias, consideradas zonas críticas en la transición entre el esófago y el estómago.

Este sistema utiliza un dummy físico y un instrumento equipado con una microcámara para detectar estructuras anatómicas clave y analizar el movimiento durante la navegación endoscópica. A través de sensores integrados y la sonda, se extraen métricas objetivas relacionadas con la trayectoria, estabilidad, proximidad a las paredes y tiempo de ejecución.

Estas métricas permiten evaluar habilidades fundamentales en endoscopia, como el control del instrumento y el reconocimiento de la anatomía en la región de la unión esófago-estómago, donde se presentan patologías frecuentes como el reflujo gastroesofágico. Finalmente, el sistema proporciona una retroalimentación automática que facilita la evaluación del desempeño del usuario sin la intervención directa de un instructor.

Objetivo

General.

Desarrollar un simulador de endoscopia basado en visión por computadora y sensorización, orientado al entrenamiento en la exploración del esófago distal, la unión gastroesofágica y el cardias, que permita detectar estructuras anatómicas, analizar el recorrido del instrumento y generar métricas objetivas de desempeño con retroalimentación automática en tiempo real.

Específicos.

1. Diseñar un dummy físico que simule la anatomía del tracto digestivo superior, incluyendo el esófago y su transición hacia el estómago, utilizando materiales que reproduzcan propiedades mecánicas y visuales del tejido biológico.
2. Desarrollar un sistema de visión por computadora capaz de identificar estructuras anatómicas clave dentro del simulador, mediante el uso de una microcámara y un dataset de imágenes endoscópicas.
3. Construir un instrumento compacto que integre una unidad de procesamiento embebida (Raspberry Pi Zero 2W), una microcámara y los sensores necesarios para la adquisición de datos durante la exploración.
4. Implementar un sistema de sensores y algoritmos que permita cuantificar métricas de desempeño como trayectoria, estabilidad, proximidad a las paredes y tiempo de ejecución durante el procedimiento.

5. Diseñar una interfaz gráfica que permita la visualización en tiempo real del procedimiento endoscópico, la selección de escenarios clínicos y la interacción del usuario con el sistema.
6. Desarrollar un sistema de evaluación automatizado que compare el desempeño del usuario con un estándar de referencia (experto), generando reportes de retroalimentación sobre habilidades técnicas y áreas de mejora.

Diseño del proyecto

El desarrollo del simulador endoscópico esofágico se estructuró en cuatro fases metodológicas principales, abarcando desde el diseño físico y la integración de hardware, hasta la validación algorítmica y pedagógica del sistema.

Fase I: Diseño Físico, Software e Integración de Hardware Esta etapa inicial se enfoca en la construcción del entorno físico y la infraestructura básica de captura.

- **Modelado y Fabricación del dummy:** Se comenzó con el diseño 3D y la impresión del modelo anatómico (dummy) del esófago, utilizando materiales y texturas (como silicona) que imitan la distensibilidad, la sensación táctil y el aspecto visual del tejido real.
- **Acondicionamiento Óptico y Visión:** Simultáneamente, se modeló la carcasa de la cámara endoscópica y se realizaron pruebas rigurosas de resolución y latencia. Para la extracción de características, se optimizó el reconocimiento visual de las estructuras anatómicas internas mediante el entrenamiento y uso de un *dataset* específico de imágenes endoscópicas.
- **Integración Embebida:** La fase culminó con el ensamblaje del hardware, integrando la cámara dentro del *dummy* y conectándola a la unidad de procesamiento central (Raspberry Pi 2W Zero).

Fase II: Desarrollo de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) Con el hardware funcional, la segunda etapa se centró en la interacción usuario-máquina para facilitar el entorno de simulación.

- **Gestión de Escenarios:** Se programó un módulo principal de selección de casos, permitiendo al usuario navegar un menú para elegir la patología específica o el módulo que se insertará en el *dummy* para la práctica.
- **Digitalización de la Evaluación:** Se implementó una interfaz dedicada para un Formulario de Evaluación.
- **Fase III:** Adquisición de Sensores para cuantificar el desempeño del usuario.
- **Adquisición:** Se programó la lectura y calibración continua de los datos provenientes de los sensores integrados en el endoscopio modificado.
- **Telemetría y Registro:** Se desarrolló un algoritmo especializado para procesar estas lecturas en tiempo real, logrando extraer métricas críticas como la trayectoria, la estabilidad del pulso y la profundidad de inserción. Toda esta información se almacena mediante un sistema de *Data Logging*, guardando el "recorrido" completo del estudiante para su posterior análisis del usuario.
- **Fase IV:** Validación Algorítmica y Retroalimentación.
- **Establecimiento del Valor verdadero:** Se capturaron los datos y la telemetría de un profesional experimentado realizando la técnica de endoscopia esofágica en el simulador, estableciendo así el estándar oro o referencia de experto.
- **Lógica de Evaluación:** Se implementó un software de comparación algorítmica que cruza los datos de desempeño del usuario (trayectoria, métricas DOPS) contra los datos del experto.
- **Reporte de Competencias:** Finalmente, el sistema genera automáticamente un módulo de retroalimentación estructurada. Este reporte evalúa las competencias adquiridas, indicando al estudiante las áreas específicas de mejora.

Simulación y/o adelante del proyecto

Variables independientes.

- *Diseño 3D PLA y silicona del material para el dummy.*
- *Microcontrolador.*

- Sonda.
- Interfaz.

Variables dependientes.

Prueba de desgaste y resistencia mecánica (Evaluación del Dummy): Para medir la durabilidad del elastómero y su respuesta a la fricción, se realizará una prueba de ciclos de inserción.

- **Metodología:** Se someterá el modelo anatómico a 20 ciclos consecutivos de intubación y extracción con la sonda endoscópica lubricada (simulando las condiciones reales de uso).
- **Métrica:** Al finalizar los ciclos, se realizará una inspección visual y táctil para documentar la presencia de microdesgarros en la pared interna del silicón, pérdida de distensibilidad o alteraciones en la textura, determinando así la vida útil estimada del módulo antes de requerir reemplazo.

2. Prueba de Latencia Visomotora (Evaluación del Sistema Embebido): Para asegurar que el retraso en el procesamiento de video no afecte la inmersión del usuario, se cuantificará la latencia del sistema de extremo a extremo (desde el movimiento físico hasta la actualización en pantalla).

- **Metodología:** Se utilizará una cámara de alta velocidad (grabación a 120 FPS, disponible en dispositivos móviles estándar) para grabar simultáneamente la mano del usuario moviendo la sonda física y la pantalla del monitor mostrando la interfaz de simulación.
- **Métrica:** Mediante análisis de video fotograma por fotograma, se calculará el diferencial de tiempo (Δt) entre el instante exacto en que inicia el desplazamiento físico del endoscopio y el instante en que dicho movimiento se refleja visualmente en la interfaz gráfica. Se establece como criterio de éxito mantener una latencia inferior a 100 milisegundos para evitar el mareo por simulador o la pérdida de coordinación.

Características

Componente	Descripción	Imagen	Precio
Raspberry pi 2w zero	Placa única de bajo costo y tamaño reducido, cuenta con un procesador quad-core y conectividad inalámbrica (Wi-Fi y Bluetooth)		\$681
Cámara de Raspberry	Modulo compacto de captura de imagen y video. Permite obtener imágenes en tiempo real con buena resolución y baja latencia.		\$227

Memoria	Permite almacenar datos de uso, imágenes o videos generados durante las prácticas, facilitando la documentación y evaluación del desempeño del usuario.		\$100
Impresión 3D de dummy	Diseño 3D del modelado anatómico del órgano humano (estomago)		\$400
Silicona de platino	Material que nos servirá para simular piel humano y hacer mas real el dummy		\$400 250gr