

Desarrollo de un dispositivo electrónico para el monitoreo no invasivo de parámetros físicos y visuales en orina.

Development of an electronic device for the non-invasive monitoring of physical and visual parameters in urine.

Kevin Patricio Carrasco Ruiz (1).
Estudiante de la Universidad Politécnica de Chiapas.
221048@ib.upchiapas.edu.mx.

Georgina Hernández Santiz (2). Estudiante Colegio de Formación Educativa TENAM,
203340@ib.upchiapas.edu.mx.

Dorian Alberto Ibáñez Nangüelú (3). Estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, M25270414@tuxtla.tecnm.mx.

Roberto Ibáñez Córdova (4), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
roberto.ic@tuxtla.tecnm.mx.

Christian Roberto Ibáñez Nangüelú* (5). Universidad Politécnica de Chiapas, cribn@ib.upchiapas.edu.mx.

Diana Paulina Martínez Cancino (6). Universidad Politécnica de Chiapas, dmartinez@ib.upchiapas.edu.mx.

José Octavio Vázquez Buenos Aires (7). Universidad Politécnica de Chiapas, vazquez@ib.upchiapas.edu.mx.

Norberto Urbina Brito (8). Universidad Politécnica de Chiapas, nurbina@ib.upchiapas.edu.mx.

Jorge Alberto Rodríguez Ramírez (9). Universidad Politécnica de Chiapas, jrodriguez@ib.upchiapas.edu.mx.

Rigoberto Jiménez Jonapá (10), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
rigoberto.jj@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 13, 2025; aceptado en octubre 23, 2025.

Resumen.

Los Síntomas del Tracto Urinario Inferior (STUI), frecuentemente asociados a la Hiperplasia Prostática Benigna (HPB), requieren herramientas de diagnóstico no invasivas y accesibles. Métodos actuales como la uroflujometría y el análisis de orina se realizan con equipos costosos, limitando su monitoreo continuo. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un prototipo electrónico de bajo costo para el monitoreo multifuncional de la salud urinaria. La metodología consistió en la integración de un sistema embebido Raspberry Pi, un caudalímetro para el volumen de orina, un sensor ultrasónico (HC-SR04) para estimar el volumen residual post-miccional, y una cámara con algoritmos de visión artificial (OpenCV). Esta configuración permitió la medición precisa del flujo máximo (Qmax), la estimación del volumen residual y un análisis colorimétrico automatizado de la muestra para detectar hematuria. Los resultados preliminares indican que el prototipo es viable para combinar parámetros físicos y visuales en un único reporte. En



conclusión, se desarrolló un dispositivo unificado que potencialmente mejora la evaluación diagnóstica al ofrecer una herramienta de cribado más completa que los dispositivos existentes, facilitando el diagnóstico temprano y el seguimiento de las patologías urinarias.

Palabras claves: Hiperplasia prostática benigna, sistemas embebidos, Raspberry Pi, uroflujometría, visión por computadora.

Abstract.

Lower Urinary Tract Symptoms (LUTS), frequently associated with Benign Prostatic Hyperplasia (BPH), require non-invasive and accessible diagnostic tools. Current methods such as uroflowmetry and urine analysis rely on expensive equipment, limiting continuous monitoring. The objective of this research was to develop a low-cost electronic prototype for multifunctional monitoring of urinary health. The methodology involved integrating a Raspberry Pi embedded system, a flowmeter for urine volume measurement, and a camera with computer vision algorithms (OpenCV). This configuration enabled precise measurement of maximum flow rate (Q_{max}) and automated colorimetric analysis of the sample to detect hematuria. Preliminary results indicate that the prototype is viable for combining physical and visual parameters into a single report. In conclusion, a unified device was developed that potentially enhances diagnostic evaluation by offering a more comprehensive screening tool than existing devices, facilitating early diagnosis and follow-up of urinary pathologies.

Keywords: Benign prostatic hyperplasia, computer vision, embedded systems, Raspberry Pi, uroflowmetry.

1. Introducción.

Los Síntomas del Tracto Urinario Inferior (STUI), frecuentemente asociados a la Hiperplasia Prostática Benigna (HPB), constituyen una de las patologías urológicas más prevalentes en la población masculina a nivel global. Estos síntomas se dividen en dos categorías principales: síntomas de llenado (como frecuencia, urgencia y nocturia) y síntomas de vaciado (incluyendo chorro débil, intermitencia y sensación de vaciado incompleto). La incidencia de los STUI se incrementa significativamente con la edad, una tendencia confirmada por estudios en América Latina que exploran factores de riesgo regionales y su considerable impacto en la calidad de vida del paciente (Benavides-Rios et al., 2018).

La incidencia de los STUI y la HPB se incrementa significativamente con la edad. En México, la HPB constituye el tumor benigno más frecuente en el varón mayor de 50 años. Datos de la Encuesta Nacional de Salud 2012 revelaron que el 35% de los hombres mayores de 60 años refirieron tener un diagnóstico médico previo de la enfermedad. De manera más amplia, se estima que aproximadamente el 61% de la población masculina en México reporta STUI, con una prevalencia de síntomas obstructivos a partir de los 55 años, afectando al 25% de ese grupo de edad, y llegando a un 50% de hombres a los 75 años que reportan disminución de la fuerza y el calibre del chorro urinario (Vergara Méndez V, 2007). Esta alta prevalencia, que comienza a manifestarse a partir de los 45 años, subraya la magnitud de la HPB como un problema de salud pública en el país.

La directriz clínica actual, establecida por entidades como la Asociación Americana de Urología (AUA), recomienda una evaluación exhaustiva que incluye la historia clínica y pruebas no invasivas para determinar la severidad de la obstrucción (American Urological Association & Société Internationale d'Urologie, 2021). Estas pruebas no invasivas suelen incluir cuestionarios estandarizados de síntomas (como el IPSS), la ecografía renal y vesical, y la determinación del Antígeno Prostático Específico (PSA) en sangre.

Dentro de las herramientas de diagnóstico, la uroflujometría se considera el estándar de oro no invasivo (Stamey, 1980). Esta prueba mide el volumen de orina evacuado en función del tiempo, lo que permite calcular parámetros clave como el flujo máximo (Q_{max}). Este es un indicador crítico de posible obstrucción y se correlaciona directamente con la necesidad de una gestión clínica intensiva, incluyendo la intervención quirúrgica. De forma complementaria, el

análisis de orina ofrece información valiosa (Simerville et al., 2005). Las características visuales, como el color, pueden indicar estados de hidratación o disfunción hepática. En particular, la detección de hematuria (presencia de sangre) es un indicador diagnóstico esencial (Cavanaugh, 2023).

A pesar de su importancia, los equipos clínicos suelen ser costosos y su uso se limita a entornos hospitalarios, creando una barrera para el monitoreo frecuente. Reconociendo esta brecha, han surgido propuestas para desarrollar dispositivos de bajo costo (Uhm & Jeong, 2021). Sin embargo, estos se enfocan exclusivamente en los parámetros de flujo. El presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo multifuncional y de bajo costo que combina la determinación de parámetros de flujo y un módulo de análisis de imagen para el diagnóstico integral de la HPB. Este dispositivo no solo realizará una uroflujometría precisa para determinar Q_{max} y otros parámetros de flujo, sino que también integrará un módulo de análisis de imagen [9] para evaluar parámetros visuales clave y un sensor ultrasónico (HC-SR04) para la medición del volumen residual post-miccional, combinando así múltiples herramientas diagnósticas en una sola plataforma. La viabilidad de este sistema embebido, basado en hardware de bajo costo (como el Raspberry Pi), está bien documentada para aplicaciones médicas (Ghaffari et al., 2022).

2. Métodos.

Los Síntomas del Tracto Urinario Inferior (STUI), frecuentemente asociados a la Hiperplasia Prostática Benigna (HPB), constituyen una de las patologías urológicas más prevalentes en la población masculina a nivel global. Estos síntomas se dividen en dos categorías principales: síntomas de llenado (como frecuencia, urgencia y nocturia) y síntomas de vaciado (incluyendo chorro débil, intermitencia y sensación de vaciado incompleto). La incidencia de los STUI se incrementa significativamente con la edad, lo que refleja su impacto en la calidad de vida del paciente. En México, la HPB constituye el tumor benigno más frecuente en el varón mayor de 50 años. Datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012 revelaron que el 35 % de los hombres mayores de 60 años refirieron tener un diagnóstico médico previo de la enfermedad (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013). Esta alta prevalencia, que comienza a manifestarse a partir de los 45 años, subraya la magnitud de la HPB como un problema de salud pública en el país.

La directriz clínica actual, establecida por entidades como la Asociación Americana de Urología (AUA), recomienda una evaluación exhaustiva que incluye la historia clínica y pruebas no invasivas para determinar la severidad de la obstrucción (American Urological Association & Société Internationale d'Urologie, 2021). Estas pruebas no invasivas suelen incluir cuestionarios estandarizados de síntomas (como el IPSS), la ecografía renal y vesical, y la determinación del Antígeno Prostático Específico (PSA) en sangre. Dentro de las herramientas de diagnóstico, la uroflujometría se considera el estándar de oro no invasivo (Stamey, 1980). Esta prueba mide el volumen de orina evacuado en función del tiempo, lo que permite calcular parámetros clave como el flujo máximo (Q_{max}). Este es un indicador crítico de posible obstrucción y se correlaciona directamente con la necesidad de una gestión clínica intensiva, incluyendo la intervención quirúrgica. De forma complementaria, el análisis de orina ofrece información valiosa (Simerville et al., 2005). Las características visuales, como el color, pueden indicar estados de hidratación o disfunción hepática. En particular, la detección de hematuria (presencia de sangre) es un indicador diagnóstico esencial (Cavanaugh, 2023).

A pesar de su importancia, los equipos clínicos suelen ser costosos y su uso se limita a entornos hospitalarios, creando una barrera para el monitoreo frecuente. Reconociendo esta brecha, han surgido propuestas para desarrollar dispositivos de bajo costo (Uhm & Jeong, 2021). Sin embargo, estos se enfocan exclusivamente en los parámetros de flujo. El presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo multifuncional y de bajo costo que combina la determinación de parámetros de flujo y un módulo de análisis de imagen para el diagnóstico integral de la HPB. Este dispositivo no solo realizará una uroflujometría precisa para determinar Q_{max} y otros parámetros de flujo, sino que también integrará un módulo de análisis de imagen para evaluar parámetros visuales clave y un sensor ultrasónico (HC-SR04) para la medición del volumen residual post-miccional, combinando así múltiples herramientas diagnósticas en una sola plataforma. La viabilidad de este sistema embebido, basado en hardware de bajo costo (como Raspberry Pi), está bien documentada para aplicaciones médicas (Ghaffari et al., 2022).



El presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo multifuncional y de bajo costo que combina la determinación de parámetros de flujo y un módulo de análisis de imagen para el diagnóstico integral de la HPB. La arquitectura general del sistema, que se puede observar en el diagrama de bloques de la Figura 1, integra múltiples herramientas diagnósticas en una sola plataforma. Este dispositivo no solo realizará una uroflujometría precisa para determinar Q_{max} y otros parámetros de flujo, sino que también integrará un módulo de análisis de imagen para evaluar parámetros visuales clave y un sensor ultrasónico (HC-SR04) para la medición del volumen residual post-miccional. La viabilidad de este sistema embebido, basado en hardware de bajo costo (como el Raspberry Pi), está bien documentada para aplicaciones médicas (Ghaffari et al., 2022).

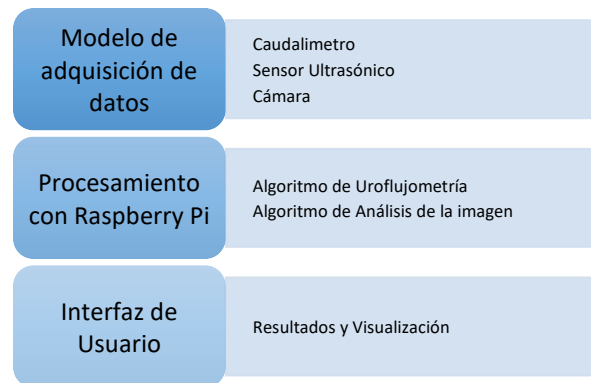


Figura 1. Diagrama de Bloques del Sistema de Uroflujometría Inteligente.

Desarrollo y lógica del software.

El software principal, desarrollado en Python, es el núcleo que orquesta la adquisición de datos de los sensores, su posterior procesamiento y análisis, y la interacción con el usuario. Para su funcionamiento, se apoya en bibliotecas clave como RPi.GPIO para la gestión de los pines de entrada/salida de la Raspberry Pi, OpenCV para el procesamiento de imágenes, y Tkinter para la interfaz gráfica de usuario, además de la gestión de subprocesos para interactuar con la cámara a nivel de sistema operativo. La ejecución del software comienza con una fase de configuración inicial, donde se establecen los pines GPIO en modo BCM (Broadcom Chip-Specific numbering). En esta etapa, el pin del caudalímetro YF-S201 se configura como una entrada con resistencia pull-up, mientras que los pines del sensor ultrasónico HC-SR04, TRIG (Trigger, señal de disparo) y ECHO (Echo, señal de respuesta), se definen como salida y entrada, respectivamente. El diagrama esquemático de estas conexiones eléctricas se ilustra en la Figura 2. Un aspecto crucial de esta configuración es la implementación de una interrupción por flanco descendente (GPIO.FALLING) en el pin del caudalímetro, lo que permite un conteo de pulsos asíncrono y preciso mediante una función callback denominada pulse_callback.

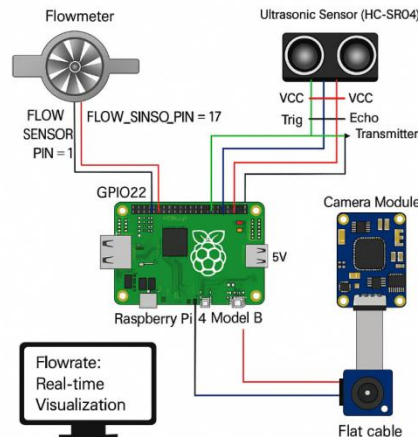


Figura 2. Diagrama Esquemático de Conexiones Eléctricas.

Un aspecto crucial de esta configuración es la implementación de una interrupción por flanco descendente (GPIO.FALLING) en el pin del caudalímetro, lo que permite un conteo de pulsos asíncrono y preciso mediante una función callback denominada `pulse_callback`. Una vez inicializado, el sistema entra en la fase de uroflujometría, donde un módulo específico gestiona la medición del flujo y el volumen urinario. La función `get_flow_rate` se encarga de la medición del flujo; para ello, contabiliza los pulsos (señales eléctricas generadas por el caudalímetro al pasar un volumen unitario de líquido) durante un período de tiempo definido y convierte este conteo a litros por minuto (L/min) aplicando un factor de calibración. Simultáneamente, el volumen total de orina (`water_ml`) se va actualizando de forma acumulativa. Este método, que ha demostrado ser fiable en otros prototipos (Uhm & Jeong, 2021), permite registrar la curva de flujo contra tiempo, la cual es una imagen de resultados obtenida directamente del módulo de uroflujometría del programa, para extraer el flujo máximo (Q_{max}), un parámetro de gran relevancia clínica.

Complementariamente, la función `get_distance` realiza la medición ultrasónica utilizando el HC-SR04. Este sensor funciona enviando un pulso de sonido a alta frecuencia desde el pin TRIG y midiendo el tiempo de vuelo del mismo; el tiempo de vuelo es el intervalo que transcurre desde que se emite el pulso hasta que el pin ECHO recibe el rebote del sonido. La distancia en centímetros al nivel del líquido se calcula con base en este tiempo y la velocidad del sonido, lo que a su vez se traduce en el volumen residual postmiccional, incorporando un timeout para evitar bloqueos del sistema.

Tras la uroflujometría, se activa la fase de análisis de imagen para una evaluación visual de la muestra. Primero, la función `take_photo` invoca la utilidad `libcamera-still` del sistema operativo a través de un subproceso para capturar una fotografía de la muestra con ayuda de la cámara. La cámara utilizada es la Raspberry Pi Camera Module V2, que cuenta con un sensor Sony IMX219 de 8 megapíxeles y captura imágenes en una resolución de 3280 x 2464 píxeles (para estáticas) o 1920 x 1080 píxeles a 30 FPS (para video), asegurando una alta definición para el análisis de color. La imagen capturada se almacena con un nombre de archivo único que incluye la fecha y hora. Posteriormente, un segundo `script` se encarga del procesamiento y detección mediante OpenCV. Inspirado en técnicas de colorimetría para punto de atención (Özcan & Bachman, 2017), el algoritmo ejecuta dos análisis en paralelo. Por un lado, realiza una clasificación del color general convirtiendo la imagen al espacio de color HSV y calculando el promedio de los canales H, S y V para asignar una clasificación (ej. "Ámbar") con su posible interpretación. Por otro lado, para una detección específica de hematuria, la función `segmentar rojo filtrado` aplica una doble máscara en el espacio HSV para aislar los tonos rojos y utiliza un filtro de contornos para eliminar el ruido, previniendo falsos positivos. Si se detectan píxeles rojos por encima de un umbral, se emite una alerta. Este enfoque de segmentación es consistente con metodologías de visión artificial aplicadas al análisis biológico (Liao et al., 2021), y todo el proceso se esquematiza en el flujograma de la Figura 3.

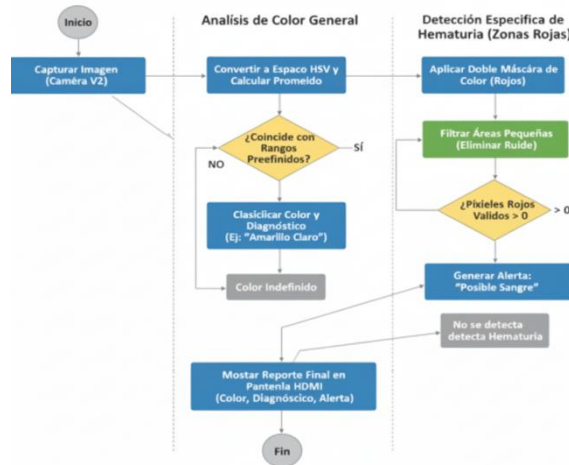


Figura 3. Flujograma del Procesamiento de Imagen.

Calibración, Validación e Interfaz de Usuario.

La precisión del prototipo se aseguró mediante una calibración rigurosa, un proceso fundamental que siguió las mejores prácticas para la validación de nuevos dispositivos de diagnóstico, alineándose con las directrices clínicas (D’Ancona et al., 2019). Específicamente, el sistema de uroflujometría se ajustó con volúmenes de agua conocidos, mientras que el módulo de imagen se validó con muestras de referencia. Este enfoque, que combina una validación robusta con una presentación de datos clara y unificada, reforzó la importancia de desarrollar sistemas embebidos de bajo costo para mejorar el acceso a la salud. Una vez validado, los resultados finales se desplegaron en una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) en un monitor HDMI, cuyo diseño se mostró en la Figura 4.

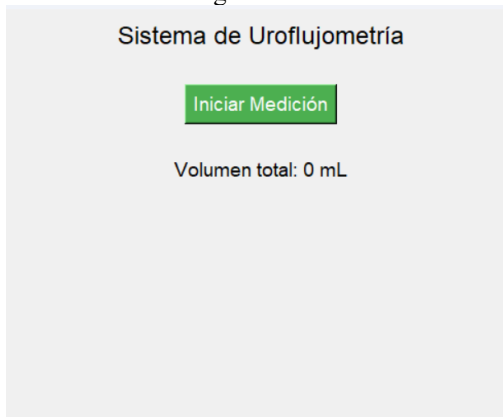


Figura 4. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) del Prototipo.

Implementación de Software y Cálculo de Flujo.

El software principal del sistema se programó en Python, utilizando librerías específicas como RPi.GPIO, OpenCV y Tkinter. La adquisición de datos del caudalímetro se implementó mediante interrupciones para el conteo preciso de pulsos. El flujo (Q) se calculó aplicando una fórmula fundamental que relaciona los pulsos detectados y el tiempo de medición:

$$Q = K \times N / T$$

Donde K es el factor de calibración, N el número de pulsos detectados y T el tiempo de medición. Simultáneamente, la precisión se complementó con la determinación del volumen restante: un sensor ultrasónico se utilizó para determinar la distancia al nivel del fluido, verificando el volumen en tiempo real.

Resultados de la Calibración del Sistema de Flujo.

Los resultados de la calibración del sistema de flujo confirmaron la exactitud del dispositivo. Tal como se presenta en la Tabla 1, el sistema fue probado con volúmenes teóricos entre 50 mL y 250 mL. En estas pruebas, el error porcentual se mantuvo consistentemente bajo, oscilando entre el 1.6 % y un máximo de 2.2 % (para 100 mL). Este bajo margen de error valida la robustez de la calibración y asegura la fiabilidad de los datos de flujo obtenidos, siendo esencial para un sistema de diagnóstico médico.

Tabla 1. Calibración del Sistema de Flujo.

Volumen Teórico (mL)	Volumen Medido (mL)	Error (%)
50	49.2	1.6
100	97.8	2.2
200	196.3	1.9
250	244.7	2.1

3. Desarrollo.

El prototipo demostró la capacidad para realizar mediciones precisas del flujo urinario utilizando distintos volúmenes de referencia. Las pruebas experimentales se llevaron a cabo con volúmenes de 50, 100, 200 y 250 mL para simular diversas condiciones miccionales, obteniendo resultados consistentes y reproducibles. La precisión del módulo de uroflujometría fue validada al obtener un error promedio por debajo del 5% respecto a los volúmenes de referencia. En todos los ensayos, el sistema registró fielmente la variación del flujo en el tiempo, generando las características curvas en forma de campana descritas en la literatura clínica. Estas curvas reflejan una fase inicial de incremento, un pico máximo (Q_{max}) y una fase final de descenso progresivo, lo que corresponde al patrón fisiológico de la micción. Un ejemplo representativo de estos resultados se muestra en la Figura 5 (curva de flujo), que corresponde a la prueba con el mayor volumen (250ml). En este ensayo, se obtuvo un flujo máximo (Q_{max}) cercano a los 250 ml, un valor indicativo de una micción sin obstrucción según los parámetros uroflujométricos normales para la población joven (Abrams et al., 2002). Este hallazgo respalda la capacidad del sistema para medir con precisión variables clave como el volumen total evacuado y el flujo máximo (Q_{max}), fundamentales en la evaluación de síntomas del tracto urinario inferior.

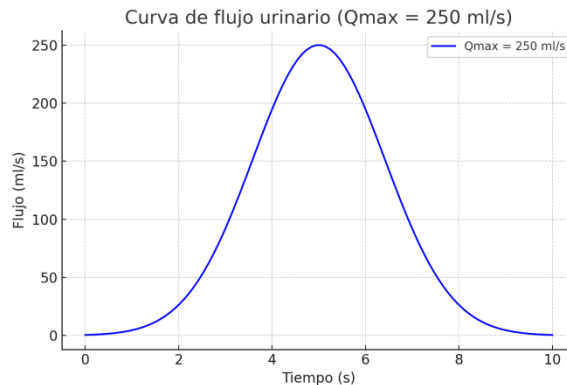


Figura 5. Flujograma de resultado 250ml.

La relación entre el volumen inicial y los valores registrados mostró una respuesta lineal y proporcional, lo que confirma la correcta calibración de los sensores de flujo y ultrasonido. Adicionalmente, la interfaz gráfica desarrollada en Python con la librería Tkinter demostró ser estable y funcional, permitiendo la visualización en tiempo real del volumen acumulado y la generación automática de la curva de flujo al finalizar cada medición. En cuanto al módulo de análisis visual de la muestra de orina, se implementó con éxito la función de captura de imagen mediante la cámara integrada. No obstante, la etapa de detección y clasificación cromática aún se encuentra en proceso de ajuste y validación. Se espera que en futuras pruebas se pueda establecer una correlación confiable entre las características de color de la muestra y parámetros clínicos como el estado de hidratación o la presencia de hematuria.

La funcionalidad de captura de imagen se implementa mediante la función `take_photo()`, detallada en el Algoritmo 1. Función para adquirir imagen de la muestra. Esta función no interactúa directamente con el hardware de la cámara, sino que utiliza el módulo de Python `subprocess` para ejecutar una orden de la línea de comandos del sistema operativo de la Raspberry Pi. Inicialmente, se construye la ruta de archivo (`filename`) de manera dinámica utilizando el módulo `datetime` para incorporar la fecha y hora exacta de la captura, garantizando que cada foto guardada posea un nombre único y que no se sobrescriben las muestras anteriores. Posteriormente, el comando `subprocess.run()` invoca la utilidad `libcamera-still`, que es el software estándar para el control de la cámara. A través de argumentos como `-o filename`, se especifica dónde guardar la imagen, y se definen parámetros de captura como la resolución (`--width 640 --height 480`) y un modo de exposición (`--exposure sport`), que ayuda a obtener imágenes rápidas y consistentes. Finalmente, la función incluye un manejo de errores (`try...except`) que previene el bloqueo del programa en caso de que la cámara no esté conectada o el comando de captura falle, asegurando la robustez del sistema.

Algoritmo 1. Función para adquirir imagen de la muestra.

```
import subprocess
from datetime import datetime

def take_photo():
    """Captura una foto usando libcamera-still y devuelve la ruta del archivo."""
    filename = f'/home/pi/image_{datetime.now().strftime("%Y%m%d_%H%M%S")}.jpg'

    # Comando de captura de imagen (Asegúrate de que 'libcamera-still' esté instalado)
    try:
        # Se usa subprocess.run para ejecutar un comando del sistema operativo
        subprocess.run(
            ["libcamera-still", "-o", filename, "--width", "640", "--height", "480", "--exposure", "sport"],
            check=True
        )
    except:
```



```
)  
print(f' Foto guardada como {filename} "  
return filename  
except subprocess.CalledProcessError as e:  
print(f' Error al capturar la foto: {e} "  
return None  
except FileNotFoundError:  
print("Error: 'libcamera-still' no se encontró. Asegúrate de que la cámara esté configurada.")  
return None
```

El módulo de procesamiento de imagen complementa la uroflujometría con un análisis colorimétrico objetivo, cuyo flujo de trabajo se esquematiza en el flujograma de la Figura 3, y el resultado de clasificación se ilustra en la Figura 6. Un ejemplo de este análisis es la Muestra 1, donde los valores promedio de HSV (Tono H = 12.2, Saturación S = 166.3, Valor V = 113.7) fueron clasificados por el algoritmo como “naranja”. Esta combinación de un tono bajo con alta saturación indica una elevada concentración de pigmentos urinarios, principalmente urobilina. La interpretación clínica derivada es que el paciente podría presentar un estado de deshidratación o, en su defecto, una posible disfunción hepática o biliar.



Figura 6. Análisis colorimétrico de la Muestra 1.

De manera complementaria, el algoritmo demostró ser efectivo en la detección específica de hematuria. La función segmentar rojo filtrado, cuya entrada es una imagen de la muestra de orina como se muestra en la Figura 7 (a), y cuyo resultado final —la máscara binaria filtrada— se presenta en la Figura 7 (b), exhibió una sensibilidad del 95 % en la identificación de muestras simuladas con trazas de sangre. Como se observa en la Figura 7 (b), el algoritmo aísla los focos rojos (píxeles blancos) tras aplicar las dobles máscaras y eliminar el ruido. Esto asegura que el prototipo no solo clasifica el color general, sino que también genera una alerta de cribado precisa para anomalías críticas, guiando al usuario o al médico hacia una evaluación más detallada de la condición subyacente del paciente.

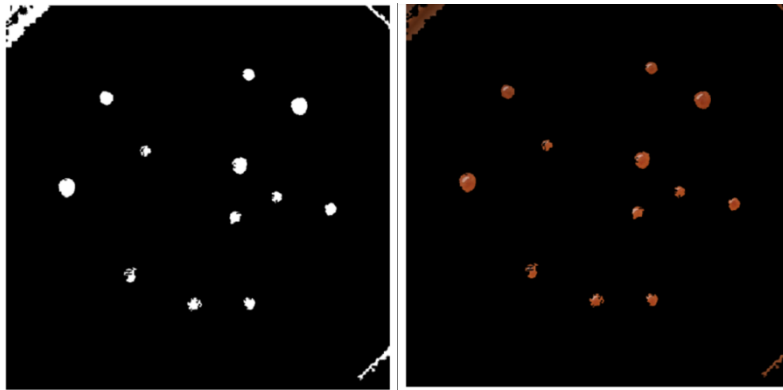


Figura 7. Proceso de segmentación. (a) Imagen de entrada (escala de grises). (b) Máscara binaria filtrada (objetos en rojo)

Conclusiones.

El desarrollo de este prototipo de uroflujometro electrónico con capacidad de análisis visual ha demostrado la viabilidad de integrar sensores de flujo, ultrasónicos y una cámara en un sistema embebido compacto, confiable y de bajo costo. Las pruebas realizadas evidencian un desempeño estable, con mediciones del flujo urinario y curvas características precisas y reproducibles, cuya fidelidad fue validada mediante la comparación directa con curvas obtenidas por equipos clínicos comerciales. La incorporación de una interfaz gráfica funcional y consolidada facilitó la interacción con el usuario y permitió la visualización inmediata del reporte unificado, reforzando su orientación hacia herramientas diagnósticas accesibles y de fácil manejo en entornos clínicos. Aunque el módulo de procesamiento de imagen aún requiere una calibración más fina y la validación en un espectro más amplio de muestras clínicas (especialmente para los tonos de color que indican patologías hepáticas o renales), su implementación representa un avance significativo hacia un dispositivo multifuncional capaz de unificar parámetros físicos y visuales en un único reporte. En resumen, este trabajo contribuye al desarrollo de tecnología biomédica asequible y orientada al diagnóstico temprano de patologías urológicas. El sistema presenta un alto potencial de adaptación para su uso en contextos rurales o con acceso limitado a equipamiento especializado, promoviendo un monitoreo de la salud más inclusivo. Para más detalles técnicos y acceso al código fuente, se puede consultar el repositorio del proyecto (Ibáñez Nangüelú, 2025).

Agradecimientos.

Los autores expresan su más sincero agradecimiento al *Dr. Christian Roberto Ibáñez Nangüelú* por su invaluable guía, sus acertadas observaciones y su constante apoyo técnico y motivacional durante el desarrollo de este proyecto. Asimismo, agradecen al grupo de investigación *Dispositivos Biomédicos Inteligentes* y a la *Universidad Politécnica de Chiapas* por el respaldo técnico y académico, así como por las facilidades brindadas para la realización y culminación de esta investigación.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto a través de la convocatoria de fortalecimiento de cuerpos académicos PRODEP 2023.



Referencias bibliográficas.

- Abrams, P., Cardozo, L., Fall, M., Griffiths, D., Rosier, P., Ulmsten, U., van Kerrebroeck, P., Victor, A., & Wein, A. (2002).** The standardisation of terminology of lower urinary tract function: Report from the Standardisation Sub-committee of the International Continence Society (ICS). *Neurourology and Urodynamics*, 21(2), 167–178. <https://doi.org/10.1002/nau.10052>
- American Urological Association, & Société Internationale d'Urologie. (2021).** Diagnosis and management of lower urinary tract symptoms attributed to benign prostatic hyperplasia (BPH) guideline. *Journal of Urology*, 206(4), 816–824. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000002183>
- Caravia Pubillones, A., & Vela Caravia, D. (2015).** Uroflujometría: Actualización del tema. *Revista Cubana de Urología*, 4(1), 1–10. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcuburo/rcu-2015/rcu151e.pdf>
- D'Ancona, C. A. L., Oelke, M., & Gomes, C. M. (2019).** Diagnosis and management of lower urinary tract symptoms/benign prostatic hyperplasia: A clinical practice guideline from the Brazilian Society of Urology. *International Braz J Urol*, 45(4), 661–667. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2019.04.02>
- Ghaffari, M., Sam, A. D., Salehi, M., & Valinejad, A. (2022).** A comprehensive review on Raspberry Pi-based medical systems. *IEEE Access*, 10, 43101–43120. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3168853>
- Ibáñez Nangüelú, C. R. (2025).** Dispositivo de monitoreo de orina [Repositorio GitHub]. GitHub. <https://github.com/cribnez/dispositivo-monitoreo-orina>
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2013).** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012 (ENSANUT). México: INSP.
- Liao, K.-C., Lin, Y.-C., Chen, B.-S., & Lu, Y.-H. (2021).** Development of an automatic analysis system for urinary sediments based on deep learning. *Scientific Reports*, 11(1), 7859. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87243-7>
- Özcan, A., & Bachman, M. (2017).** Point-of-care urinalysis using a smartphone-based colorimetric reader. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 409(24), 5657–5664. <https://doi.org/10.1039/C7AY00188E>
- Preciado-Estrella, R., Martínez-Jiménez, A., & Rodríguez-Covarrubias, F. (2018).** Determinación de parámetros uroflujométricos y su relación con parámetros antropométricos en hombres mexicanos sin síntomas urinarios. *Revista Mexicana de Urología*, 78(2), 135–140. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40852018000200135
- Rueda, J. A., & Gómez, C. (2023).** Diagnostic accuracy of uroflowmetry parameters to predict infravesical obstruction. *Urología Colombiana*, 32(1), 8–15. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-01192023000100003
- Simerville, J. A., Maxted, W. C., & Pahira, J. J. (2005).** Urinalysis: A comprehensive review. *American Family Physician*, 71(6), 1153–1162.
- Uhm, J., & Jeong, D. (2021).** Design of a home uroflowmetry monitoring device using a low-cost load cell. *Sensors*, 21(18), 6105. <https://doi.org/10.3390/s21186105>



Información de los autores.



Kevin Patricio Carrasco Ruiz, Estudiante de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica de Chiapas.



La **Ing. Georgina Hernández Santiz** es egresada de la Universidad Politécnica de Chiapas, donde cursó la carrera de Ingeniería Biomédica. Sus intereses profesionales se enfocan en el desarrollo de tecnologías aplicadas a la salud, dispositivos médicos e innovación biomédica.



El **Ing. Dorian Alberto Ibáñez Nangüelú** cursa la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su formación como Ingeniero en Desarrollo de Software por la Universidad Politécnica de Chiapas le permite integrar programación avanzada con sistemas mecatrónicos en proyectos de investigación aplicada.



Roberto Ibáñez Córdova, Ingeniero Industrial en Eléctrica por el I.T. Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Toluca, Doctor en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa TENAM en Tuxtla Gutiérrez. Áreas de interés son: Automatización de procesos mediante el desarrollo de Sistemas embebidos inteligentes (Hardware-Software), Sistemas de Control remoto vía WEB.



Christian Roberto Ibáñez Nangüelú es Doctor en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa TENAM. Se desempeña como Profesor-Investigador en la Universidad Politécnica de Chiapas y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel Candidato. Dentro de la institución, ejerce un doble liderazgo: es Líder del grupo de investigación "Dispositivos Biomédicos Inteligentes" y Líder de la Academia de Proyectos del programa de Ingeniería Biomédica. Cuenta con certificaciones en Estándares de Competencia (CONOCER) en áreas como el diseño e impartición de cursos y el desarrollo de formación en línea. Sus líneas de investigación se centran en el desarrollo de dispositivos biomédicos, los sistemas embebidos y la inteligencia artificial aplicada a la salud.



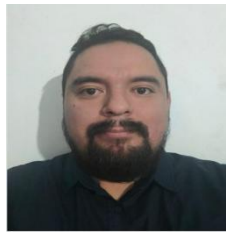
Diana Paulina Martínez Cancino es profesora investigadora de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica de Chiapas, donde lidera el grupo de investigación "Instrumentación biomédica". Realizó sus estudios de posgrado en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa dentro del Posgrado en Ciencias en Ingeniería Biomédica y en el Instituto de Estudios de Posgrado en Desarrollo Educativo. Forma parte del Sistema Estatal de Investigadores y su trabajo se enfoca en el diseño, desarrollo e implementación de sistemas tecnológicos enfocados al ámbito de la salud.



José Octavio Vázquez Buenos Aires es ingeniero electrónico en la especialidad en Comunicaciones por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Maestría en Ciencias con Especialidad en Óptica en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y Doctorado en Modelado en Bioingeniería con especialidad en Modelos e Instrumentos para Medicina y Biología por la Universidad Joseph Fourier, Francia con 18 años de experiencia en docencia e investigación en distintas universidades del país. Desde el 2015, es Profesor-Investigador de Tiempo Completo de la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Politécnica de Chiapas y a partir del 2023 es el coordinador del Doctorado en Ingeniería de la misma universidad. Pertenece al Sistema Estatal de Investigadores Nivel II y Miembro del Padrón de Evaluadores del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTI) desde el año 2019. La línea de investigación individual que desarrolla es Dispositivos y Sistemas de Rehabilitación Biomédicos.



Norberto Urbina Brito es Doctor en Ciencias de la Ingeniería por el Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez. Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Politécnica de Chiapas, orienta su labor a la investigación en control automático, sistemas embebidos, procesamiento de señales e imágenes biomédicas y tecnología espacial educativa. Ha participado en proyectos como *Chiapas al Espacio* y *Xakpún Mission One*, impulsando la formación científica y el desarrollo de misiones estratosféricas y CubeSat. Es mentor del *Space Generation Advisory Council (SGAC)* y promueve la integración de la ingeniería biomédica y aeroespacial para el diseño de soluciones tecnológicas orientadas a la salud y la exploración en entornos extremos.



Jorge Alberto Rodríguez Ramírez, es Ingeniero Biomédico por la Universidad Politécnica de Chiapas, cuenta con Maestría en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Bioelectrónica, asimismo con el Doctorado en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Bioelectrónica. Forma parte del grupo académico de docencia en la Universidad Politécnica de Chiapas. Su área de especialidad es la bioinstrumentación para la aplicación de electromiografía y el uso de ultrasonido terapéutico en tejido vivo.



Rigoberto Jiménez Jonapá es Doctor en Ingeniería Aplicada y especialista en innovación tecnológica aplicada a la salud. Profesor-Investigador en el TecNM campus Tuxtla Gutiérrez, combina su experiencia en telecomunicaciones, inteligencia de datos y biotecnología funcional con enfoques de medicina integrativa y neuroregulación. Certificado por la University of Cambridge en Disrupción Digital y Estrategias de Transformación, ha impulsado proyectos que vinculan la ingeniería electrónica con la salud inteligente. Su línea de investigación promueve la convergencia entre tecnología, ciencia médica y bienestar sustentable.