

# INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA PARA MONITOREO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS

## ADVANCED MEASUREMENT INFRASTRUCTURE FOR MONITORING DRINKING WATER CONSUMPTION BASED ON THE INTERNET OF THINGS

Andrea Libertad Alarcón Ortiz <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Electrónica del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0003-1392-0343>. Correo: [alalarcon@institutos.gob.ec](mailto:alalarcon@institutos.gob.ec)

Diego Javier Barba Chérrez <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Carrera de Electrónica del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0002-3322-2673>. Correo: [dbarba@institutos.gob.ec](mailto:dbarba@institutos.gob.ec)

Efraín Henry Tibanta Narvaez <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Carrera de Electrónica del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-8656-6392>. Correo: [etibanta@institutos.gob.ec](mailto:etibanta@institutos.gob.ec)

Wilson Fabián Tenorio Cando <sup>4</sup>

<sup>4</sup> Carrera de Electrónica del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0009-9554-0846>. Correo: [wilsontenorio47@gmail.com](mailto:wilsontenorio47@gmail.com)

\* Autor para correspondencia: [alalarcon@institutos.gob.ec](mailto:alalarcon@institutos.gob.ec)

### Resumen

El acceso al agua potable es fundamental para el desarrollo sostenible de las poblaciones, sin embargo, el aumento de habitantes, la industria y la agricultura incrementa la demanda mundial de agua en casi un 1% anualmente. En la provincia de Tungurahua, Ecuador, el control del consumo de agua potable así como su facturación se realiza de manera manual provocando que el usuario tenga un desconocimiento del dispendio que realiza, es así que el prototipo de bajo costo de medición en tiempo real del consumo de agua potable de una vivienda familiar, permitió monitorear su consumo, a la vez que proporcionó la capacidad para determinar

los costos aproximados a cancelar en la planilla de consumo, alertando de los usuarios de posibles fugas. Se utilizó la comunicación inalámbrica para integrar la base de datos a una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) que permitió realizar el análisis de los datos recopilados. Las pruebas demuestran que el prototipo tiene un 96% de confiabilidad respecto al medidor tradicional utilizado por la Empresa Pública – Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Ambato.

**Palabras clave:** IoT; Consumo de agua; plataforma de medición

### Abstract

*Access to drinking water is essential for the sustainable development of populations, however, the increase in population, industry and agriculture increases the global demand for water by almost 1% annually. In the province of Tungurahua, Ecuador, the control of drinking water consumption as well as its invoicing is done manually, causing the user to be unaware of the expense he makes, so the low-cost prototype of real-time measurement of the drinking water consumption of a family home, allowed monitoring its consumption, while providing the ability to determine the approximate costs to be paid in the consumption form, alerting users of possible leaks. Wireless communication was used to integrate the database to an Internet of Things (IoT) platform that allowed analysis of the collected data. The tests show that the prototype has a 96% reliability with respect to the traditional meter used by the Public Company - Municipal Drinking Water and Sewerage Company of Ambato.*

**Keywords:** IoT; Water consumption; measurement platform

**Fecha de recibido:** 07/02/2023

**Fecha de aceptado:** 29/05/2023

**Fecha de publicado:** 09/06/2023

### Introducción

El acceso al agua potable es un derecho humano indispensable para el desarrollo sostenible de la vida, por lo que requiere una gestión consciente de los recursos hídricos (UNESCO, 2019). A nivel mundial el uso del agua ha incrementado anualmente un 1% desde los años 80, provocado por factores como el aumento de la población, desarrollo socioeconómico, sector industrial y agricultura (AQUASTAT, 2020). De acuerdo a estimaciones se prevé que la demanda de agua al año 2050, incremente entre un 20% o 30% (Burek et al., 2016).

Latinoamérica cuenta con la tercera parte del agua dulce del planeta y una disponibilidad de 22.929 m<sup>3</sup> por persona al año, es decir casi un 300% por encima de la media global. Sin embargo, esta región del planeta presenta significativas desigualdades, lo que provoca escasez en ciertos lugares y limita el desarrollo de la agricultura, la industria, la minería, e incluso ocasiona conflictos debido a la competencia por el recurso

(Arroyo, 2017). Los usos indiscriminados e incluso ilegales del agua en ciertos sectores, impiden una correcta distribución del recurso natural.

En el Ecuador existe una importante riqueza hídrica, sin embargo, la disponibilidad de agua varía de acuerdo a las estaciones climáticas entre 4320.000 hm<sup>3</sup> hasta 146.000 hm<sup>3</sup> y la distribución espacial es muy diversa (Garcés, 2019). En el país la cobertura de agua potable en las viviendas tiene un promedio de 78.8%, con continuidad en el servicio del 91%. De acuerdo a los datos de la Agencia y Regulación y control del Agua (2021) el costo promedio de metro cúbico de agua es de 0.94 dólares (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2021).

En la provincia de Tungurahua en el cantón Ambato existen 49.143 viviendas, y 329.856 habitantes aproximadamente, tiene una cobertura de 87,20% de agua potable suministrada por la Empresa Pública – Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A). De acuerdo al sistema de facturación el cobro del servicio se realiza después del mes de consumo de manera manual, en los puntos de instalación del cliente. Por lo que los ciudadanos no pueden conocer el valor a pagar sin que finalice el periodo de tarificación. Este desconocimiento provoca que los habitantes no sean conscientes del consumo de agua, como lo revela un estudio realizado por dicha empresa donde muestra que cada habitante utiliza 260 litros de agua por día aproximadamente, lo que sobrepasa los 100 litros recomendados por la OMS (Telégrafo, 2015).

Adicional a ello el problema de las fugas de agua en los sistemas de tuberías se ha convertido en un tema estimulante para revisión. En consideración a la escasez y la importancia del líquido vital para el desarrollo humano como lo indica el Objetivo 6 de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (2015), “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” (p.18). El presente proyecto propone visibilizar el consumo de agua potable en tiempo real a través del desarrollo de un sistema de medición avanzada para la concientización del gasto dentro de la población, de esta manera permitirá ahorrar recursos hídricos y económicos. Con relación a esta temática se han realizado varios estudios que proponen soluciones tecnológicas para ayudar a controlar el consumo de agua, se puede citar los siguientes.

Swarnapali y Kumarage (2020), desarrolló un prototipo de medición en tiempo real de consumo de agua y detección de fugas, con sensores de flujo de agua YF – S201 y una tarjeta de control NODEMCU para cargar la información en una base de datos por conexión a Internet MSQl. El programa permite calcular la factura de consumo de acuerdo al valor del proveedor de servicio en Sri Lanka. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, sin embargo, proponen utilizar sensores con mayor sensibilidad para mejorar la exactitud de las mediciones. Este trabajo muestra que la utilización de placas con conexión a Internet puede proporcionar una solución para reunir información en bases de datos (Swarnapali & Kumarage, 2020).

Somontina y Macabebe (2020) presenta un sistema de monitoreo de agua que utiliza un sensor de presión que es un método no intrusivo de determinación de la actividad del agua, permite calcular el volumen de agua consumida, mediante el uso de una tarjeta Raspberry Pi como controlador de datos. Los resultados muestran que el reconocimiento de aparatos, utilizados como técnicas de preprocesamiento, mejor el rendimiento con precisión del 88 %, precisión del 91 %, recuperación del 88 %, lo que lleva a una puntuación del 87 %. Se puede conocer que utilizar Internet de las Cosas (IoT) como plataforma de medición es efectiva (Adrian Somontina & Queen Macabebe, 2020).

Saidi et al. (2020) propone un medidor de agua inteligente que utiliza sensor de caudal que recoge el consumo de agua de la vivienda. El trabajo propuesto tiene como objetivo el aumento de la precisión en la lectura y el proceso de recopilación. El sistema propuesto establece un límite umbral en el que el agua se corta mediante una válvula electrónica. Los datos recopilados son enviados a un centro de datos para el análisis de datos a través de la línea eléctrica de la red usando módem PLC. Los resultados obtenidos son satisfactorios. (Saidi et al., 2020).

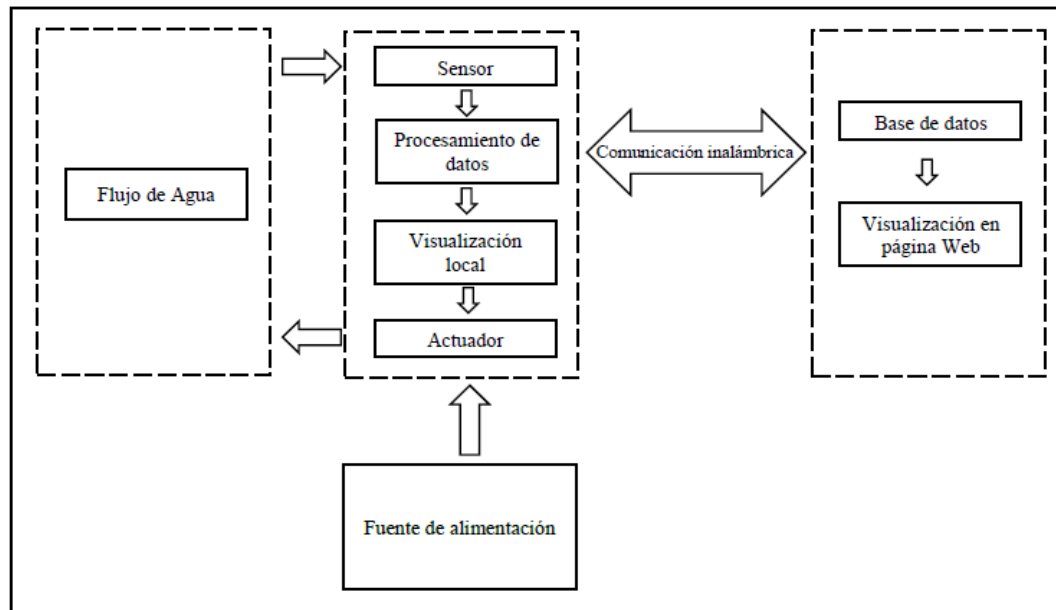
El presente artículo se divide en cuatro secciones que incluyen la introducción. La sección dos presenta los materiales y métodos utilizados. Sección tres muestra los resultados y discusión. En la sección cuatro se detallan las conclusiones.

## Materiales y métodos

La presente investigación describe un paradigma positivista con enfoque cuantitativo, se apoya en una modalidad de investigación documental y de campo en un nivel descriptivo. Para analizar y sintetizar la información se emplearon métodos de inducción-deducción y análisis. El objetivo de esta investigación fue realizar un prototipo de bajo costo de medición en tiempo real del consumo de agua potable de una vivienda familiar, a través de la selección e instalación de sensores en lugares estratégicos con la finalidad de integrarlos en una plataforma de monitoreo. Mediante comunicación inalámbrica se pudo integrar una base de datos a la plataforma de IoT, que permita realizar el análisis de los datos recopilados.

El desarrollo de la infraestructura de medición avanzada de consumo de agua potable plantea los siguientes requerimientos, monitoreo del consumo de agua, almacenamiento de información en una base de datos, visualización de datos en tiempo real, y control de cierre y apertura del flujo de agua.

La Figura 1 muestra la estructura en bloques del sistema propuesto, el flujo de agua suministrado por la empresa de servicio público es registrado por un sensor de caudal, los datos registrados son procesados por un microcontrolador compatible con plataformas IoT a la vez que se visualizan en una pantalla LCD en tiempo real. Por otra parte, se realiza el registro de la información del consumo de agua potable para su control y supervisión a través de una base de datos, mediante el uso de protocolos de comunicación inalámbrica compatible con el microcontrolador. Todo el sistema se energiza con una fuente de alimentación que provee la tensión adecuada para los sensores, controlador y actuador.



**Figura 1.** Diagrama de bloques de la Infraestructura de medición.

**Fuente:** Los investigadores

## Selección de Materiales y Componentes

### A. Medición del consumo de agua.

Para la medición del consumo de agua se requiere medir el flujo existente a través de sensores. En la tabla 1 se detalla los dispositivos que permiten medir el flujo de agua que circula por tuberías de instalaciones residenciales de acuerdo a la norma NHE-NEC.

**Tabla 1.** Características técnicas de sensores de flujo de agua.

|                      | FY-S401                                                                             | YF-S201                                                                              | FS300A                                                                                |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Imagen               |  |  |  |
| Voltaje de operación | 5V – 12V                                                                            | 5V – 18V                                                                             | 5V – 24V                                                                              |
| Conexión de tubería  | 1/4"                                                                                | 1/2"                                                                                 | 3/4"                                                                                  |
| Caudal               | 0.3 a 6 L/min                                                                       | 1 a 30 L/min                                                                         | 1 a 60 L/min                                                                          |
| Aplicación           | Domótica básica                                                                     | Domótica básica                                                                      | Domótica semi-industrial                                                              |

**Fuente:** Mecatrónica (2022).

Se selecciona el sensor YF-S201 por ser el más adecuado para instalar en la tubería de 1/2", utilizada en las instalaciones residenciales. Está formado por un rotor cuyas paletas tienen un imán que al girar activa el sensor de efecto hall el cual detecta el campo magnético provocado por el movimiento del rotor. Mecatrónica (2022). Así también se utiliza una electroválvula con la finalidad de controlar la salida de agua con la finalidad de habilitar o restringir el flujo del mismo.

## B. Procesamiento y control de datos

Para el procesamiento de los datos obtenidos por el sensor se analiza la utilización de varios microcontroladores cuyas características se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características técnicas de placas de microcontroladores.

|                         | Arduino Uno      | Arduino Mega     | NodeMCU ESP32                |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------------------|
| Voltaje input           | 5-12V            | 5-12V            | 5V                           |
| Microcontrolador        | ATmega 328       | ATmega 2560      | Tensilica Xtensa LX6 160 MHz |
| Entradas analógicas     | 6                | 16               | 18                           |
| I/O digitales           | 14               | 54               | 24                           |
| Frecuencia de operación | 16MHz            | 16MHz            | 160MHz                       |
| Memoria SRAM            | 2Kb              | 8Kb              | 520 Kb                       |
| Memoria EEPROM          | 1Kb              | 4Kb              | 1Kb                          |
| Comunicación            | I2C / SPI Serial | I2C / SPI Serial | I2C / SPI Wifi Bluetooth     |
| Costo                   | \$ 15            | \$ 28            | \$ 16                        |

**Fuente:** Monjaraz, J. C., Cortes, F. R. (2020)

Por prestaciones en consumo energético, velocidad de transmisión y costos se decide utilizar la placa NodeMCU ESP32, la misma tiene incorporado el módulo para la comunicación a través de wifi en un rango de 150 metros aproximadamente y bajo protocolos IEEE 802.11; tecnología de comunicación más recomendada por el volumen de datos a transmitir (Monjaraz y Cortes, 2020).

## Desarrollo del prototipo

Una vez seleccionados los materiales idóneos para la implementación se los conecta bajo el esquema mostrado en la Figura 2, el microcontrolador NodeMCU ESP32 está montado sobre una placa electrónica para su conexión a través de bornes con el sensor de flujo de agua YF-S201, la electroválvula, y la pantalla de visualización LCD; además este microcontrolador cuenta con un módulo WiFi integrado que es compatible con el estándar IEEE 802.11 lo que permite conectarlo a una Red de Área Local para su convergencia con la base de datos.



**Figura 2.** Esquema de conexión de materiales de la Infraestructura de medición

**Fuente:** Los investigadores

El sensor de caudal YF-S201 basa su funcionamiento en una sonda de efecto Hall que produce pulsos eléctricos de onda cuadrada a una frecuencia proporcional al caudal, según la siguiente igualdad:

$$f = Q \times K$$

En la que  $f$  corresponde a la frecuencia en Hertzios,  $Q$  el caudal del fluido en litros por minuto y  $K$  el factor de conversión proporcionado por el fabricante, que para el modelo YF-S201 corresponde a 7,5. Es así que para registrar el caudal en litros por hora y su posterior cálculo de volumen consumido en metros cúbicos, se utilizan las siguientes expresiones:

$$\text{Caudal [l/min]} = (\text{frecuencia de pulsos [Hz]} / 7.5)$$

$$\text{Caudal [l/h]} = (\text{frecuencia de pulsos [Hz]} / 7.5) * 60$$

De la misma manera, en las especificaciones técnicas del sensor se indica un volumen promedio por pulso eléctrico equivalente a 2,25 ml, lo que representa un aproximado de 445 pulsos por cada litro de fluido que atraviesa el sensor; con estos datos se puede determinar el volumen consumido aplicando la siguiente igualdad:

$$\text{Volumen [l]} = \text{Cantidad de pulsos} / 445$$

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = (\text{Cantidad de pulsos} / 445) / 1000$$

Se procede ahora a la creación de la base de datos y posterior configuración, para esto se utiliza la herramienta XAMPP a través de sus servicios web como Apache y MySQL. En primera instancia se crea la base de datos, en la que se incluyen tablas de datos, historial y usuarios. En la Figura 3 **A** muestra los registros de identificación del dispositivo, **B** las variables medidas de caudal de agua, volumen y consumo total que es el valor calculado en dólares, **C** indica los valores correspondientes a cada variable, y finalmente **D** la fecha de registro de los eventos.



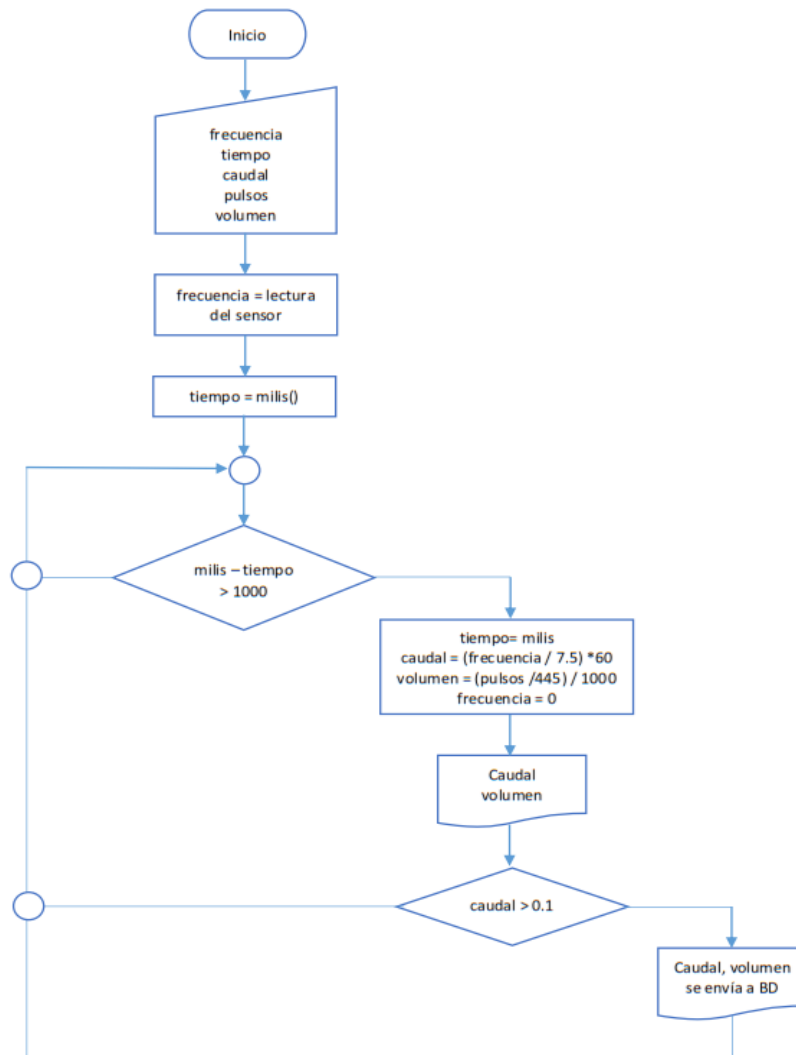
| ID    | variable      | valor | fecha               |
|-------|---------------|-------|---------------------|
| Esp32 | ConsumoTotal  | 3     | 2022-05-12 10:46:11 |
| Esp32 | ConsumoTotal  | 7.3   | 2022-05-12 11:08:45 |
| Esp32 | Consumo Total | 7.45  | 2022-05-12 13:13:57 |
| Esp32 | Consumo Total | 7.45  | 2022-05-12 23:26:09 |
| Esp32 | ConsumoTotal  | 8.72  | 2022-05-12 23:41:02 |
| Esp32 | Caudal        | 22.72 | 2022-05-12 23:41:31 |
| Esp32 | Consumo Total | 15.64 | 2022-05-12 23:48:58 |
| Esp32 | Caudal        | 28.14 | 2022-05-12 23:48:59 |
| Esp32 | Consumo Total | 18.33 | 2022-05-12 23:51:25 |
| Esp32 | Caudal        | 22.65 | 2022-05-12 23:51:25 |
| Esp32 | Consumo Total | 20.11 | 2022-05-12 23:56:39 |
| Esp32 | Caudal        | 16.43 | 2022-05-12 23:56:39 |

A
B
C
D

**Figura 3.** Información registrada en la base de datos en tiempo real.

**Fuente:** Los investigadores.

La conexión entre el microcontrolador NodeMCU ESP32 y la base de datos se establece a través líneas de comando PHP desarrolladas en Visual Studio Code, aquí se alimenta la base de datos denominada *consumoagua* con los registros obtenidos desde el microcontrolador a través de un servidor local. El diagrama de flujo que permite la comunicación y registro de información se muestra en las Figura 4.



**Figura 4:** Flujograma de recolección y envío de información.

**Fuente:** Los investigadores

## Resultados y discusión

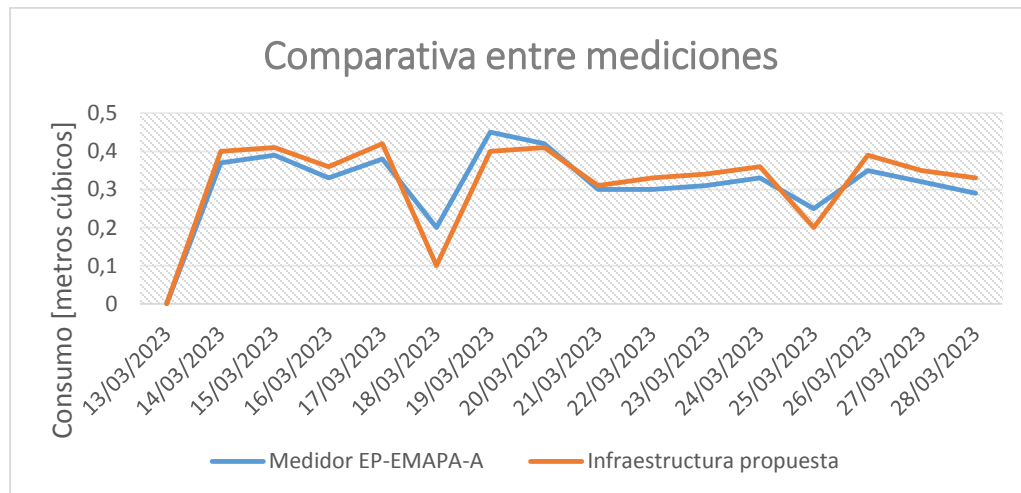
La puesta en marcha del prototipo se realizó en un domicilio unifamiliar de la ciudad de Ambato, en la que se realizaron modificaciones en la tubería del agua potable, sin llegar a interferir con el funcionamiento habitual del medidor de agua instalado por la EP-EMAPA-A. Para evitar que los efectos ambientales o salpicaduras causen efecto negativo en la parte electrónica del sistema, se lo coloca dentro de una caja plástica hermética, permitiendo tan solo la visualización de los datos de consumo a través de la pantalla LCD.



**Figura 6.** Instalación de la Infraestructura de medición

**Fuente:** Los investigadores

Los resultados de caudal y volumen obtenidos a través del sistema de medición IoT se registran y actualizan en tiempo real. Luego estos resultados fueron comparados con los registrados por el medidor de la Empresa Municipal de Agua Potable; todo esto durante un intervalo de dos semanas, los registros fueron tomados diariamente a las 08:00 AM y su comparativa gráfica se muestra en la Figura 8.



**Figura 8.** Histograma comparativo entre mediciones registradas.

**Fuente:** Los investigadores

En base al análisis realizado durante el período de prueba y evaluación, se pone en evidencia el funcionamiento del Sistema de medición logrando un nivel de confianza del 96%. Esta discrepancia entre las medidas obtenidas, si bien es mínima, pone en tela de duda no solo los datos recogidos por el sensor YF-S201, sino también los valores registrados por los medidores tradicionales, ya que al manejar tecnología análoga son más propensos a registrar errores.

## Conclusiones

La metodología planteada en el prototipo de infraestructura inteligente para medición del consumo de agua, a partir de la selección y la instalación de sensores en lugares estratégicos, así como la integración de los de los mismo a una plataforma de monitoreo centralizada, permite analizar los datos recopilados y la toma de acciones basadas en estos datos con la finalidad de optimizar el uso del agua y reducir costos en la planilla de consumo.

El prototipo de sistema de medición de agua potable basado en plataformas IoT desarrollado evidencia un 96% de confiabilidad respecto al medidor tradicional utilizado por la EP-EMAPA-A, con el gran diferenciador de que el registro de consumo se actualiza en tiempo real en una base de datos alojada en la nube. Todo esto supone e incentiva una migración, de lo análogo a lo digital, en la forma en que actualmente se registra el consumo de agua potable en las viviendas urbanas, e inclusive permitiría disminuir los costes del proceso al producir en masa versiones mejoradas del prototipo presentado.

Al realizar mediciones continuas el usuario puede determinar el comportamiento de consumo de la familia, implementando estrategias de mejoras en su utilización, en caso de existir fugas detectarlas a tiempo. Adicional a ello se puede experimentar con sensores de caudal de mejor precisión y exactitud como mejoras a futuro.

## Referencias

- Adrian Somontina, J., & Queen Macabebe, E. (2020). A Non-Intrusive Water Consumption Monitoring System. 2020 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 1-6. <https://doi.org/10.1109/GHTC46280.2020.9342898>
- Agencia de Regulación y Control del Agua. (2021). BENCHMARKING DE PRESTADORES PÚBLICOS DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN EL ECUADOR. [http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boleti%cc%81n-estadi%cc%81stico-APS-2021\\_fn.pdf](http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boleti%cc%81n-estadi%cc%81stico-APS-2021_fn.pdf)
- Agenda 2030: Así contribuye Envera a once Objetivos de Desarrollo Sostenible - Envera. (2020, enero 16). [grupoenvera.com](https://grupoenvera.com). <https://grupoenvera.org/sin-categoria/agenda-2030-asi-contribuye-envera-once-los-objetivos-desarrollo-sostenible/>
- AQUASTAT. (2020, noviembre 26). El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático | Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>
- Arroyo Víctor. (2017). La paradoja de la escasez de agua en América Latina. AméricaEconomía. <http://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/la-paradoja-de-la-escasez-de-agua-en-america-latina>
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2016). Water Futures and Solution—Fast Track Initiative (Final Report) [Monograph]. WP-16-006. <https://iiasa.dev.local/>

- Cortes, F. R., & Monjaraz, J. C. (2020). Arduino: Aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías. Marcombo.
- Garcés, L. M. (2019). PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019—2027.
- MACTRONICA. (2023). CAMARA RASPBERRY PI 5MPX. MACTRONICA. <https://www.mactronica.com.co/camara-raspberry-pi-5mpx>
- Saidi, A. H. K. S. A., Hussain, S. A., Hussain, S. M., Singh, A. V., & Rana, A. (2020). Smart Water Meter using Power Line Communication (PLC) Approach for measurements of Accurate Water Consumption and Billing Process. 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), 1119-1122. <https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9197956>
- Swarnapali, S., & Kumarage, P. (2020). Real-Time Synchronized Monitoring of Water Consumption and Leak Detectection in the Urban Water Supply of Sri Lanka. 2020 IEEE International Conference on Advent Trends in Multidisciplinary Research and Innovation (ICATMRI), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICATMRI51801.2020.9398325>
- Telégrafo, E. (2015, noviembre 30). Los ambateños consumen 260 litros de agua por día, según Emapa. El Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/los-ambatenos-consumen-260-litros-de-agua-por-dia-segun-emapa>