

ARTÍCULO ORIGINAL

Sistema IoT de distribución de agua hasta 30L/min
usando GSM/GPRS

IoT System for Water Management Up to 30 L/min
Using GSM/GPRS

Autores: Josseline Alvarenga y Josué Baca

Sistema IoT de distribución de agua hasta 30L/min usando GSM/GPRS

IoT System for Water Management Up to 30 L/min Using GSM/GPRS

Autor: 1. Josseline Alvarenga (0009-0005-6279-5552)

2. Josué Baca (0009-0008-3453-3602)

Sobre el autor: 1. Maestrante en Ingeniería en Robótica y Automatización, Universidad de Calabria

2. Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Información del manuscrito: Recibido/Received: 30-10-24

Aceptado/Accepted: 2-12-24

Contacto de correspondencia: : jossealvarenga@gmail.com

Resumen

Introducción: Este artículo presenta un sistema IoT para monitorear el flujo y volumen de agua en tiempo real. El sistema integra sensores YF-S201 para la medición del caudal, placas Arduino Uno para el procesamiento de datos, y módulos GSM SIM800L para la transmisión a la plataforma ThingsBoard. La infraestructura basada en IoT permite un monitoreo remoto eficiente, superando las limitaciones de distancia de tecnologías como Wi-Fi y Zigbee, y ofreciendo datos precisos y actualizados en todo momento. El objetivo principal de este estudio es desarrollar y evaluar un sistema IoT que garantice la transmisión confiable de datos de caudal y volumen de agua, logrando mediciones precisas mediante la calibración del sensor y el análisis estadístico del margen de error. **Metodología:** Se realizaron pruebas experimentales en un entorno al aire libre que replicó condiciones reales de uso, con especial atención a la calibración de los sensores y la estabilidad de la comunicación GSM. **Resultados:** Se mostró un margen de error promedio de 40 mL en las mediciones de caudal, suficiente para aplicaciones prácticas. Además, la transmisión de datos demostró estabilidad, con una latencia de 3 segundos, y la plataforma ThingsBoard facilitó una visualización clara y fácil de usar, mejorando la toma de decisiones en tiempo real. **Conclusiones:** Se discuten las limitaciones del sistema, como la dependencia de la calidad de la señal GSM, y propone soluciones futuras, como la integración de tecnologías de comunicación más avanzadas. Este trabajo sienta las bases para futuras aplicaciones en la gestión hídrica, destacando la flexibilidad y eficacia del sistema IoT propuesto como una herramienta prometedora para enfrentar los desafíos de la sostenibilidad hídrica en diversos contextos.

Palabras clave: recursos hídricos, tecnología medioambiental, simulación por computadora, internet de las cosas (IoT), redes de sensores inalámbricos (WSN)

Abstract

Introduction: This article presents the development and evaluation of an IoT system for monitoring water flow and volume in real time. The system integrates YF-S201 sensors for flow measurement, Arduino Uno boards for data processing, and GSM SIM800L modules for data transmission to the ThingsBoard platform. The IoT-based infrastructure enables efficient remote monitoring, overcoming the distance limitations of technologies such as Wi-Fi and Zigbee, and providing accurate and up-to-date data at all times. The main objective of this study is to develop and evaluate an IoT system that ensures reliable data transmission of water flow and volume, achieving precise measurements through sensor calibration and statistical error analysis. **Methodology:** Experimental tests were conducted in an outdoor environment replicating real-world conditions, with special attention to sensor calibration and the stability of GSM communication. **Results:** An average error margin of 40 mL in flow measurements, which is sufficient for practical applications. Additionally, data transmission remained stable, with a latency of 3 seconds, and the ThingsBoard platform facilitated clear and user-friendly visualization, improving real-time decision-making. **Conclusions:** The limitations of the system are discussed, such as its dependence on GSM signal quality, and propose future solutions, including the integration of more advanced communication technologies. This work lays the groundwork for future applications in water management, highlighting the flexibility and effectiveness of the proposed IoT system as a promising tool to address the challenges of water sustainability in various contexts.

Keywords: Water Resources, Environmental Technology, Computer Simulation, Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN)

Introducción

“Internet of Things” (IoT) o “Internet de las Cosas” se está convirtiendo en una tecnología cada vez más utilizada en la actualidad y se refiere a cualquier dispositivo conectado a Internet. IoT representa un sistema de dispositivos informáticos interrelacionados, mecánicos y máquinas digitales, objetos, animales o personas que cuentan con un identificador único y la capacidad de transferir datos a través de una red sin requerir interacción de persona a persona o de persona a computadora (Hossain et al. 2019). La convergencia de IoT con los servicios en la nube ofrece una técnica novedosa para una mejor gestión de los datos que llegan y almacenan esta información de manera eficiente (Deekshath et al. 2018). IoT se aplica en diversas áreas, como la industria automotriz, la logística, la atención médica, las redes y las ciudades inteligentes (Chooruang y Meekul 2018).

De acuerdo con Bhuyar y Deshmukh (2018), un sistema completo de IoT integra cuatro componentes diferentes: dispositivos/sensores, conectividad, procesamiento de datos y plataforma de interfaz de usuario. Los sensores o dispositivos recopilan datos de su entorno. Dado que estos datos deben ser enviados a la nube, los sensores cumplen con esta función conectándose en la nube a través de varios métodos como Wi-Fi, Bluetooth y Zigbee.

En este sistema propuesto se utilizó el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM) para comunicarse con la nube. Una vez que los datos llegan a la nube, el software procesa la información. A continuación, la información es útil para el usuario final que utiliza la plataforma IoT. El sistema de IoT se estructura en cuatro partes distintas: sensores en la capa de detección, conectividad en la capa de red, procesamiento de datos en la nube y una interfaz de usuario que es una capa de aplicación.

La red de sensores inalámbricos (WSN) es un componente esencial de IoT (Manrique et al. 2016). Una WSN está compuesta por un gran número de nodos sensores con capacidad limitada de computación, almacenamiento y comunicación. Los ambientes, donde se despliegan los nodos sensores, pueden ser controlados (como el hogar, oficina, almacén, bosque, etc.) o no controlados (como áreas hostiles o de desastre, regiones tóxicas, entre otros). Las WSN, representan una de las áreas de investigación más prometedoras debido al extenso campo de aplicación y al desarrollo

de nuevas tecnologías de controladores electrónicos o electromecánicos, junto con los avances en la tecnología de comunicación inalámbrica (Valdez et al. 2017).

La hipótesis de este estudio plantea que el sistema IoT propuesto puede garantizar mediciones de caudal y volumen de agua con un margen de error menor a ± 50 mL, suficiente para aplicaciones prácticas como el monitoreo en tiempo real de recursos hídricos. Este margen se alinea con los límites de precisión especificados por el fabricante del sensor YF-S201 (3 a 10 %), y se valida mediante la calibración realizada.

El objetivo de este estudio es desarrollar y evaluar un sistema IoT que permita que cada nodo de la red se comuniquen a Internet mediante el módulo GSM SIM800L EVB, superando las limitaciones de distancia en la transmisión de datos que presentan tecnologías como ZigBee, Wi-Fi o Bluetooth. Este enfoque busca sentar las bases para aplicaciones futuras, como el riego automatizado y la gestión eficiente de recursos hídricos.

Métodos

Una red de distribución de agua permite que el agua llegue desde el lugar de captación al punto de consumo cumpliendo con los parámetros establecidos por el usuario. Es común, que este tipo de sistemas utilicen una red de nodos inalámbricos para automatizar su control y permitir su monitoreo. Se establece en (Demetillo, et al. 2019) que la WSN es adecuada para monitorear las características físicas y químicas del agua en áreas remotas a un costo más bajo y reducir la necesidad de mano de obra. También se utiliza para el control de la calidad del agua, presentando muchas ventajas, como su portabilidad y la capacidad de adquisición y registro de datos casi en tiempo real.

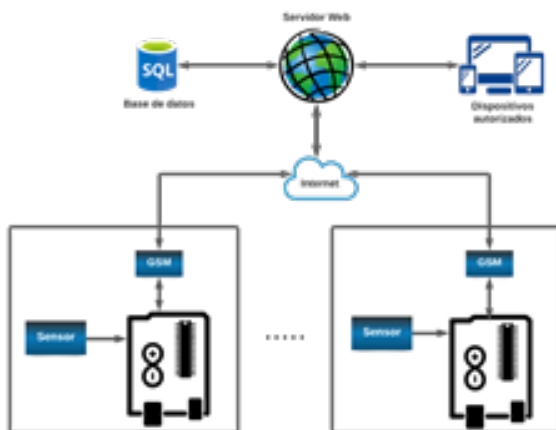
El presente estudio se desarrolló en la residencial El Molinón, ubicada en Tegucigalpa, Honduras (14.10609° N, -87.15747° W). Esta región se caracteriza por un clima tropical con temperaturas promedio de 24 °C y una humedad relativa de aproximadamente 75 %. Estas condiciones ambientales influyen en el rendimiento de los sensores y la estabilidad de las comunicaciones, elementos clave para la validación del sistema IoT propuesto.

Para este proyecto, se emplearon sensores en cada nodo de la red, siguiendo un enfoque común en la automatización de dispositivos electrónicos, como teléfonos inteligentes, automóviles, infraestructuras urbanas, y sistemas de domótica e industriales (Salvi, et al. 2017).

Las redes de sensores están compuestas por pequeños dispositivos equipados con capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica, diseñados para colaborar en tareas comunes (Fernández Martínez, et al. 2014).

La Figura 1 muestra un esquema del sistema propuesto. Este sistema recolecta información del caudalímetro para obtener el caudal y volumen. A continuación, cada nodo se conecta a Internet a través del módulo GSM/GPRS. Una vez que los datos se suben a Internet, el software procesa esta información. Luego, la información resulta útil para el usuario final que utiliza la plataforma IoT. Cualquier persona autorizada también puede realizar las mismas tareas visitando la página web.

Figura 1. Esquema de la red de nodos



Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

A continuación, se proporciona una descripción de las partes principales del sistema.

A. Caudalímetro

Instrumento usado para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido (Maruthi, et al. 2018).

Según mencionan Corona Ramíres, et al. (2014), la medición del flujo de líquidos o gases tiene un amplio campo en diversos procesos industriales, donde además juega un papel en extremo relevante, ya que la medición de flujos sirve como base para controlar el desarrollo del proceso de manera adecuada.

Para entender los principios de funcionamiento de los sensores de flujo, es necesario definir algunos conceptos básicos. Un flujo se define como la cantidad de sustancia que pasa por una sección determinada durante un instante dado. Por su parte, la unidad de medida utilizada en el sistema internacional para cuantificar el flujo es m³/s. Una relación muy utilizada para medir el flujo de un gas o fluido es:

$$Q_V = vA \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

Q_V : flujo volumétrico (m³/s)

v : velocidad de la sustancia (m/s)

A : área del conductor (m²)

Además, con el caudal se puede medir el volumen de agua. La Ec. 1 se puede expresar como:

$$Q_V = \frac{m}{s} \cdot m^2 = \frac{V}{t}$$

donde:

V : volumen (m³)

t : tiempo (s)

Puesto que el caudal es la variación del volumen con respecto al tiempo, se puede calcular el volumen como:

$$Q_V = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{\Delta t} \quad \text{Ec. 2}$$

$$v = v_0 + Q_V \cdot \Delta v \quad \text{Ec. 3}$$

De esta forma, es posible conocer el consumo del agua.

Calibración del pensar

En este proyecto, se utilizó el sensor YF-S201 de $\frac{1}{2}$. Según Lalnunthari y Thanga (2017), el sensor de flujo de efecto Hall YF-S201 es uno de los sensores de flujo más comunes, económicos, confiables y precisos que se utilizan en muchas aplicaciones para la medición del caudal de líquidos. Para calcular el flujo, es necesario el factor de conversión K, proporcionado por el fabricante. Teniendo K, se calcula la frecuencia de los pulsos del sensor y posteriormente, con K, se convierte de frecuencia a caudal.

$$Q = \frac{f}{K} \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

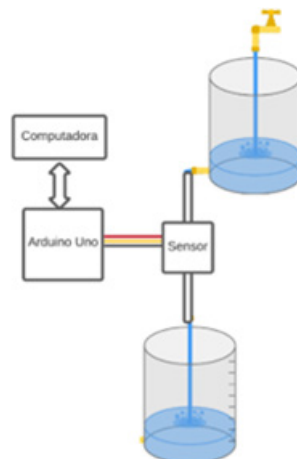
Q : flujo volumétrico (L/min)

f : frecuencia del caudal (Hz)

K : factor de conversión (Hz/(L/min))

De acuerdo con la información del fabricante, el YF-S201 está especificado para un K de alrededor de 7.5 a 8 con un nivel de precisión de 3 a 10 % de incertidumbre. Para tener mediciones más exactas, se calibró el sensor, ya que su exactitud depende de la relación lineal entre la frecuencia de pulso del sensor y el caudal. El montaje de calibración se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Montaje de calibración



Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

Las variables que se midieron son: cantidad de pulsos (usando el Arduino) y volumen de agua (con ayuda de un recipiente con graduación). Con estos datos, se calculó K utilizando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{n^{\circ}\text{pulsos}}{V \cdot 60} \quad \text{Ec. 5}$$

donde:

$n^{\circ}\text{pulsos}$: pulsos contados con el Arduino durante un intervalo de tiempo t

V: volumen que alcanzó el fluido en el recipiente durante t

K: factor de conversión (Hz/(L/min))

Las unidades de K son dictadas por el escalar que multiplica al volumen, es decir

$$K = \begin{cases} \text{Hz/(L/min)}, & \text{escalar} = 60 \\ \text{Hz/(L/seg)}, & \text{escalar} = 1 \end{cases}$$

B. Arduino Uno

La placa Arduino se desarrolló originalmente en el año 2005 en el Interaction Design Institute, de Ivrea Italia, como una plataforma de hardware de código abierto. Estudios sobre Arduino muestran su utilidad en las mediciones automatizadas, y ofrecen una guía para otros investigadores en el desarrollo de sensores de bajo costo, sistemas de monitoreo y automatización en diversos campos de aplicación (Valdéz et al. 2017).

El Arduino Uno está disponible como dispositivo de montaje en superficie (SMD) o como conector IC estándar (Bell 2013; Thwin 2018).

C. Válvula solenoide/Electroválvula

Las válvulas solenoides ofrecen funciones de apertura o cierre total y no se pueden utilizar para la regulación del flujo de gas o fluido, solo para permitir o no su paso. Tanto el caudalímetro como la válvula solenoide, se utilizaron para un total monitoreo y control del sistema de distribución de agua (Maruthi, et al. 2018).

D. Módulo GSM SIM800L EVB

GSM son las siglas de Global System for Mobile Communications. Fue desarrollado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones. SIM800L es un módulo celular en miniatura. Permite enviar y recibir SMS y realizar y recibir llamadas. La característica clave de GSM Sim800L es que ocupa poco espacio a bajo costo (Kanani y Padole 2020; Agrawal y Qadeer 2018).

E. Relé

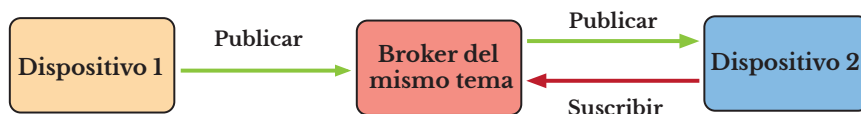
Se utilizó un relé de un canal que funciona con 5V. El circuito se empleó para controlar una electroválvula de 120 V durante las pruebas realizadas. El pin de entrada "INP" recibe lógica alta con un pulsador o haciendo la alimentación manual, como se realizó en las pruebas con el caudalímetro. Al alimentar INP con 5V, el común está conectado a NO, lo que enciende la electroválvula mientras el relé permanece activado. Los pines "VCC" y "GND" del relé están conectados a una fuente de 5V y a tierra, respectivamente (Agrawal y Singhal 2015).

Arquitectura IoT

A. Servidor web

Se establece en Hossain et al. (2019) que, un servidor web es un dispositivo conectado a Internet que almacena y entrega archivos. Los clientes pueden solicitar datos específicos, y el servidor los envía utilizando los protocolos como HTTP, MQTT, etc. Para IoT, es preferible el protocolo MQTT.

Figura 3. Esquema del protocolo MQTT



Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

El protocolo MQTT representa un protocolo de mensajería ideal para las comunicaciones IoT y comunicación máquina a máquina (M2M). Es capaz de proveer direccionamiento en redes vulnerables y de bajo ancho de banda para dispositivos pequeños, de baja energía, y de poca memoria (Ramírez y Pedraza 2017).

B. Plataforma IoT ThingsBoard

Según Adityawarman et al. (2019), varias plataformas de IoT están disponibles para su uso con servicios en la nube existentes. La plataforma IoT de código abierto ThingsBoard fue elegida para esta solución debido a su disponibilidad, tanto para implementaciones en la nube como locales. Está lista para su uso en producción dentro de redes privadas o públicas. Los nodos del servidor pueden implementarse como un servidor independiente o en modo de clúster con un equilibrador de carga si se necesitan más recursos. Además, ThingsBoard utiliza la base de datos PostgreSQL de forma predeterminada.

Esta plataforma proporciona un servidor IoT listo para producción, que incluye un administrador de base de datos, un intermediario MQTT, un servidor web y herramientas para la visualización del panel de control. Para simplificar el proceso, se implementó un servidor Live Demo de un solo nodo. Un administrador de inquilinos puede aprovisionar nuevos dispositivos, agregar clientes y crear paneles (Bhuyar y Deshmukh 2018).

En ThingsBoard se enviaron las variables relevantes con sus valores respectivos. Para ello, se creó un dispositivo por nodo, que genera un token único, necesario para la transmisión de datos.

Algoritmo

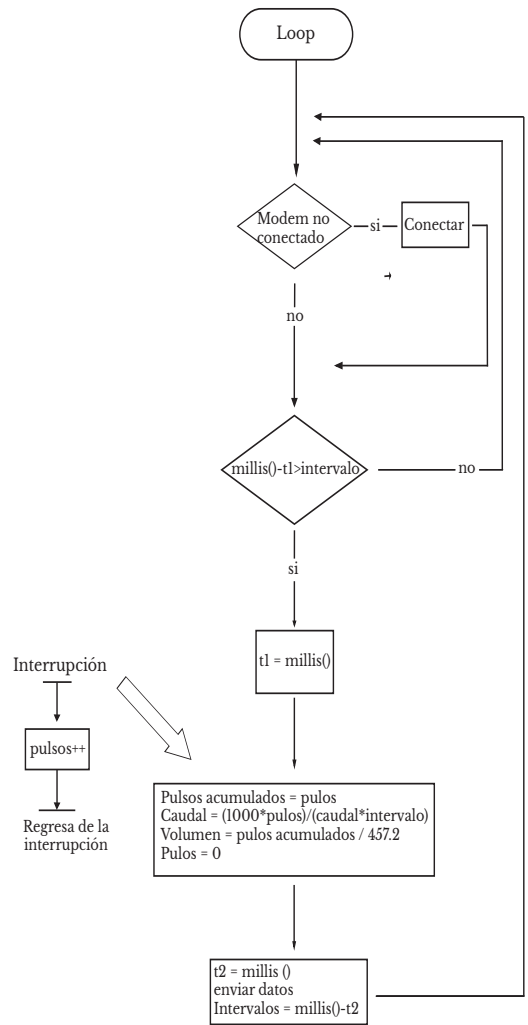
Se enviaron a ThingsBoard las variables de interés con sus valores respectivos para monitorearlas y visualizarlas en tiempo real.

La secuencia de las tareas del algoritmo desarrollado es la siguiente:

- Se verifica la conexión GSM.
- Se establece un intervalo de tiempo para calcular los valores de las variables de interés (caudal y volumen) mediante el conteo de pulsos durante dicho intervalo.
- Se cuentan los pulsos a través de la función de interrupción, que se activa al detectar un valor creciente en la entrada digital.
- Se envían las variables de interés y se calcula el tiempo empleado en dicho envío para utilizarlo como un nuevo intervalo.

En la Figura 4 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al algoritmo descrito.

Figura 4. Diagrama de flujo



Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

Análisis Estadístico

Para medir correctamente el caudal, se calibró el caudalímetro utilizando la Ec. 5. Los datos se recopilaron contando los pulsos generados por el sensor y midiendo el volumen de agua con un recipiente graduado. Posteriormente, se aplicó la Ec. 5 para calcular el factor de conversión.

Para el análisis de datos, se asumió que estos siguen una distribución normal. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar esta suposición. Posteriormente, el valor de K se utilizó para medir el caudal en una tubería de media pulgada y para estimar el volumen total de agua circulada.

El volumen se calculó de dos maneras:

1. Usando la Ec. 3 (dependiente de tiempo)
2. Usando la Ec. 5 (despejada para el volumen)

Ejemplo

Se supone que por la tubería circula un caudal de 6L/min durante 10 segundos, seguido de 24L/min durante otros 10 segundos y finalmente 12L/min durante otros 10 segundos más.

Finalizado este tiempo, el flujo se detiene bruscamente.

Basados en la ecuación 3, el cálculo del volumen es:

Volumen = $Q_V \cdot \Delta t$

Volumen = $Q_1 \cdot \Delta t_1 + Q_2 \cdot \Delta t_2 + Q_3 \cdot \Delta t_3$

Volumen = $[(6L/min) \cdot 10s + (24L/min) \cdot 10s + (12L/min) \cdot 10s] \cdot \frac{1min}{60s}$

Volumen = $[(6) + (24) + (12)] \cdot \frac{1L}{6} = 7L$

La segunda manera consiste en usar la cantidad de pulsos acumulados por litros. En la hoja de datos del fabricante del sensor se incluye el factor de pulsos por litros igual a 450, que está relacionado con el valor de K establecido (7.5). Sin embargo, el valor de equivalencia de pulsos por litros se puede calcular utilizando el factor K obtenido a partir de la Ec 5.

Resultados

Calibración del caudalímetro

Tabla 1. Mediciones de pulsos

n	Litros	Pulsos	K
1	1	458	7.633
2	1	457	7.617
3	1	431	7.183
4	2	897	7.475
5	2	902	7.517
6	2	885	7.375
7	4	1 826	7.608
8	4	1 847	7.696
9	4	1 885	7.854
10	6	2 831	7.864
11	6	2 857	7.936
12	6	2 784	7.733
Media ($K_{promedio}$)			7.624
Desviación estándar (σ)			0.216

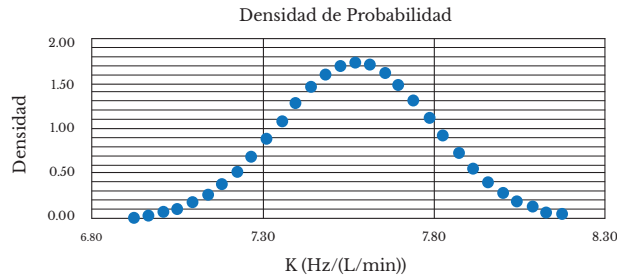
Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

Para este caso se obtuvieron los siguientes valores de pulsos según con los litros vertidos correspondientes:

K se obtuvo mediante la ecuación 5. Analizando los valores de K para las 12 mediciones experimentales encontramos un $K_{promedio} = 7.62425$ y una desviación estándar de 0.21646462.

El valor de $K_{promedio}$ y su desviación estándar se calcularon utilizando las fórmulas correspondientes. Para evaluar la normalidad de los datos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un valor $W = 0.844872 > 0.05$, lo que indica que no se rechaza la hipótesis de normalidad con un nivel de confianza del 95 %. La Figura 5 muestra la función de densidad de probabilidad del factor K.

Figura 5. Función de densidad de probabilidad



Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

Se procedió a calcular la tolerancia del factor K mediante el error sistemático y la dispersión de los datos (2 desviaciones estándar). Los resultados se resumen en la Tabla 1, tomando el valor del fabricante como $K_{ref} = 7.5$.

$Error\ sistemático = K_{promedio} - K_{ref}$

$Error\ sistemático = 7.624 - 7.5 = 0.124$

$2 = 0.433$

$Tolerancia = |Error\ sistemático| + 2 = \pm 0.557$

Decidimos que el valor de K a utilizar es 7.62, con un factor de pulsos por litros de 457.2. Por lo tanto, cada 457 pulsos se considera que ha pasado un litro de agua.

La calibración se realizó para minimizar el error en la medición del caudal y de volumen. Con $K_{promedio} = 7.62$, se obtuvo una diferencia promedio en las lecturas del sensor de 40 mL, como se muestra en la Tabla 2.

Figura 2. Diferencias de volumen

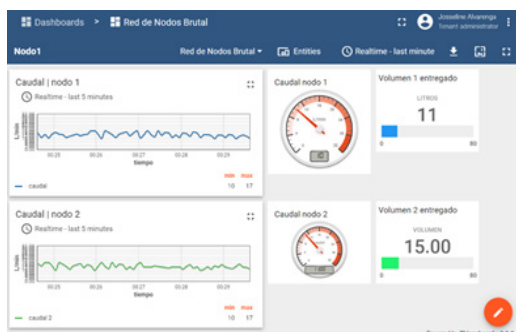
n	Vteórico (L)	VTB (L)	Diferencia (L)
1	2.06	2.13	0.07
2	3.64	3.60	0.04
3	2.63	2.67	0.04
4	2.63	2.68	0.05
5	4.03	3.99	0.04
6	3.28	3.23	0.05
7	2.64	2.63	0.01
8	3.77	3.72	0.05
9	2.46	2.40	0.06
10	3.67	3.63	0.04
11	1.88	1.94	0.06
12	3.3	3.28	0.02
Promedio			0.04

Nota: Vteórico: valor medido directamente con el recipiente graduado.
VTB: valor enviado a ThingsBoard después de ser enviado por el Arduino.
Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

Envío de datos a plataforma IoT

Luego de calibrar el caudalímetro, se verificó la medición confiable de caudal y volumen. Varias plataformas IoT fueron probadas, y ThingsBoard se seleccionó por su facilidad de uso y flexibilidad. A continuación, la Figura 6 muestra los datos enviados en un ejercicio de prueba.

Figura 6. Monitoreo de datos en ThingsBoard



Fuente: Alvarenga y Baca, 2021.

Discusión

Los resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro YF-S201, junto con la prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0.844 > 0.05$), confirmaron que los datos del factor K siguen una distribución normal con un nivel de confianza del 95 %. El valor promedio calculado para K fue de 7.624, con una desviación estándar de 0.216, lo que refleja una baja dispersión en los datos obtenidos. Esto valida la metodología empleada para el tratamiento estadístico de los datos y garantiza la precisión del sistema en las mediciones de caudal y volumen. Además, la distribución normal observada refuerza la fiabilidad del factor K, permitiendo su aplicación en condiciones prácticas.

El error promedio en las mediciones de volumen fue de ± 40 mL, lo que se encuentra dentro del rango aceptable y respalda la hipótesis de que el sistema puede proporcionar mediciones precisas para aplicaciones prácticas. Este margen de error es comparable con investigaciones previas en sistemas similares, donde se han reportado errores de magnitudes similares al utilizar sensores de flujo económicos como el YF-S201.

En cuanto a la transmisión de datos mediante el módulo GSM SIM800L, se observó una latencia promedio de 3 segundos, lo que demuestra la viabilidad de esta tecnología para monitoreo en tiempo real en redes de sensores inalámbricos (WSN). No obstante, se identificaron desafíos relacionados con la alimentación del módulo GSM y la compatibilidad con ciertas redes móviles, lo que indica la necesidad de mejorar la infraestructura para garantizar un funcionamiento estable en diversas condiciones.

Estos resultados coinciden con hallazgos reportados por otros estudios, realizados por Lalnunthari y Thanga (2017), que destacan las limitaciones y fortalezas del uso de módulos GSM y sensores económicos en aplicaciones IoT. Además, se confirma la importancia de integrar tecnologías IoT en sistemas de monitoreo ambiental para mejorar la sostenibilidad y optimización de recursos hídricos.

Por ejemplo, Samudrala et al. (2022) destacaron la efectividad de un sistema similar para monitorear el flujo de agua y detectar robos en redes hídricas, demostrando una aplicación viable de tecnologías IoT en la prevención de pérdidas. Asimismo, Boudville et al. (2023) desarrollaron un sistema de detección de fugas en tuberías domésticas, lo que subraya la versatilidad de los sensores IoT para diversas escalas de aplicación.

El sistema propuesto también se alinea con los hallazgos de Putri et al. (2024), quienes diseñaron un sistema de monitoreo para represas, demostrando la utilidad de estas soluciones en la mitigación de desastres como inundaciones. Estos estudios refuerzan la idea de que la tecnología IoT ofrece soluciones escalables y flexibles para abordar problemas complejos relacionados con la gestión hídrica.

Control y monitoreo de distribución de agua.

Para una comunidad usando Arduino y otros dispositivos IoT, Natividad y Palaoag (2019) desarrollaron un sistema de distribución de agua de bajo costo; transmiten los datos a un servidor con Raspberry Pi 3 mediante un módulo GSM y lo controlan con una válvula motorizada en función de la presión en las tuberías.

Sistema de riego por goteo inteligente.

De acuerdo a Agrawal y Singhal (2015), este sistema permite un uso eficiente del agua y fertilizante. El agua que gotea lentamente va a las raíces de las plantas a través de tubos estrechos y válvulas.

Sistema de iluminación inteligente.

Según Siregar y Soegiarto (2014), el sistema de iluminación usando energía solar ha sido ampliamente utilizado en el sector público. Investigaciones recientes muestran que hubo varios métodos para monitorear este sistema de iluminación. Por ejemplo, usando Zig Bee, Wi-Fi y Bluetooth. La mayor parte de esta tecnología inalámbrica solo se puede monitorear con una distancia entre 10 m - 100 m. Se presenta como solución reemplazar las líneas de comunicación para monitorear la lámpara con otros medios de comunicación como: comunicaciones por radiofrecuencia, sistema de comunicación GSM y sistema de comunicación GPRS.

Monitoreo del clima y la calidad del aire.

Los parámetros de calidad del aire que deben medirse son dióxido de azufre, nitrógeno óxidos y dióxido de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y composición química en el agua. Kusuma et al. (2019) utilizaron Arduino para controlar la temperatura, la humedad, la intensidad de la luz y el humo. Además, se presentan la comunicación inalámbrica como GSM, Wi-Fi y satélite en el sistema como herramientas para enviar datos a un servidor remoto.

Conclusiones

El sistema IoT propuesto cumplió con el objetivo principal de monitorear en tiempo real el caudal y volumen de agua que atraviesa una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada. Las mediciones obtenidas presentan un margen de error de $\pm 40\text{mL}$, validando la hipótesis inicial de la investigación. Este margen es adecuado para aplicaciones prácticas y supera las limitaciones de tecnologías convencionales, como ZigBee, Wi-Fi o Bluetooth.

Además, el sistema demostró ser escalable, lo que abre la posibilidad de incluir múltiples nodos en una red para aplicaciones más grandes, como el riego automatizado y la gestión eficiente de recursos hídricos. Las pruebas realizadas destacan la viabilidad del uso de Arduino Uno y el módulo GSM SIM800L en redes de sensores inalámbricos.

Recomendaciones

Se recomienda considerar los siguientes aspectos para futuras implementaciones:

- Garantizar un plan de datos adecuado y configurar correctamente las credenciales de red móvil.
- Seleccionar fuentes de alimentación independientes para evitar problemas de conexión en módulos GSM.

- Explorar el uso de tecnologías de comunicación más avanzadas para mejorar el rendimiento general del sistema.

En síntesis, este trabajo establece una base sólida para futuras aplicaciones en la gestión sostenible del agua, proporcionando una solución económica y eficiente que puede ser adaptada a diversos contextos.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin el valioso apoyo y guía del MSc. Daniel Flores, su experiencia en diseño y prototipado, así como su enfoque en la investigación científica en ingeniería, fueron fundamentales para el desarrollo y la validación de esta investigación. Agradecemos profundamente su orientación y dedicación en este proyecto.

Referencias

- Hossain, M. S., M. Rahman, M. T. Sarker, M. E. Haque, and A. Jahid. 2019. "A Smart IoT Based System for Monitoring and Controlling the Sub-Station Equipment". *Internet of Things 7*: 100085. doi:10.1016/j.iot.2019.100085.
- Deekshath, R., P. Dharanya, K. R. Dimpil Kabadia, G. Deepak Dinakaran, and S. Shanthini. 2018. "IoT Based Environmental Monitoring System Using Arduino UNO and Thingspeak". *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering* 4, no. 9: 68-75. ISSN 2349-784X.
- Chooruang, K., y K. Meekul. 2018. "Design of an IoT Energy Monitoring System". 2018 Sixteenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 1-4. doi:10.1109/ICTKE.2018.8612412.
- Bhuyar, D. L., y N. S. Deshmukh. 2018. "A Smart Solar Photovoltaic Remote Monitoring and Control System". *Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS 2018)*, 67-71. doi:10.1109/ICCONS.2018.8663127.
- Manrique, J. A., J. S. Rueda-Rueda, y J. M. Portocarrero. 2016. "Contrasting Internet of Things and Wireless Sensor Networks: A Survey". *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom)*, 252-257. doi:10.1109/iThings-GreenCom-CPSCoM-SmartData.2016.66.
- Valdéz, J., D. Pandolfi, y A. Villagra. 2017. "Redes de sensores inteligentes para monitoreo de datos remotos". En *XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 919-923.
- Demetillo, A. T., M. V. Japitana, and E. B. Taboada. 2019. "A System for Monitoring Water Quality in a Large Aquatic Area Using Wireless Sensor Networks and LoRa Technology". *Sustainable Environment Research* 29, no. 1: 1-9. doi:10.1186/s42834-019-0009-4.
- Salvi, S., J. S. Pramod, H. Sanjay, T. Harshita, M. Farhana, J. Naveen, and M. Suhas. 2017. "Cloud Based Data Analysis and Monitoring of Smart Multi-Level Irrigation System Using IoT". *IEEE*: 752-757.
- Fernández Martínez, R., J. Ordieres Meré, F. J. Martínez de Pisón Ascacíbar, A. González Marcos, F. Alba Elías, R. Lostado Lorza, y A. V. Pernía Espinoza. 2014. "Redes

inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica”. *Material Didáctico Ingenierías*, núm. 26. ISBN 978-84-692-3007-7.

- Maruthi, H. V., P. Lakshmi, A. R. Lavanya, y M. Meda. 2018. “An IoT-Based Water Supply Monitoring and Controlling System”. *International Journal of Advanced Research in Computer Science* 9, no. 3 : 202-206. ISSN 0976-5697.
- Corona Ramíres, L. G., G. S. Abarca Jiménez, y J. Mares Carreño. 2014. “Sensores y actuadores”. *Azcapotzalco*, México D. F.: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V.
- Lalnunthari, J., y H. H. Thanga. 2017. “Dependence of Hall Effect Flow Sensor Frequency on the Attached Inlet and Outlet Pipe Size”. *IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia)*, 56-60. doi:10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842.
- Bell, C. 2013. *Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi*. Nueva York: Apress.
- Thwin, M. M. 2018. “IoT (Internet of Things) Based Water Supply”. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9, no. 12: 546-550. ISSN 2229-5518.
- Kanani, P., and M. Padole. 2020. “Real-Time Location Tracker for Critical Health Patients Using Arduino, GPS Neo6m, and GSM Sim800L”. *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 242-249.
- Agrawal, T., and M. A. Qadeer. 2018. “Tracing Path with Arduino Uno Using GPS and GPRS/GSM”. *International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 1203-1208.
- Agrawal, N., and S. Singhal. 2015. “Smart Drip Irrigation System Using Raspberry Pi and Arduino”. *International Conference on Computing, Communication & Automation*, 928-932.
- Ramirez, J., and C. Pedraza. “Performance Analysis of Communication Protocols. 2017”. 2017 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM), 1-7. doi:10.1109/ColComCon.2017.8088198.
- Adityawarman, Y., J. S. Matondang, and R. Arifandri. 2019. “Open Source Environmental Sensor Integrated Platform Solution Based on APRS and MQTT”. *IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 62-66. doi:10.1109/AGERS48446.2019.9034423.
- Samudrala, Varakumari, Ajay Reddy Yeruva, Jayapal N, T. Vijayakumar, M. Rajkumar, and Shaik Razia. 2022. “Smart Water Flow Monitoring and Theft Detection System Using IoT”. *Proceedings of the International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS 2022)*, IEEE, doi:10.1109/ICACRS55517.2022.10029129.
- Boudville, Rozan, Khairul Azman Ahmad, Muhamad Haikal Hakimi, Saiful Zaimy Yahaya, Muhammad Zaim Bin Kamal Abdul, and Nurul Izza Husin. 2023. “IoT Based Domestic Water Piping Leakage Monitoring and Detection System”. *IEEE 13th International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, doi:10.1109/ICCSCE58721.2023.10237150.
- Putri, Bellia Dwi Cahya, Adnan Fauzi, Adian Fatchur Rochim, Muhamad Yahya Oktariansyah, M. Irmawan, Erwin Adriono, and Fairuzsyah Naufal Fikri. 2024. “Designing a Water Condition Monitoring System in a Dam as a Preventive Measure for Flood Disaster Based on IoT”. *11th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, IEEE, doi:10.1109/ICITACEE62763.2024.10762787.

- Natividad, J. G., y T. D. Palaoag. 2019. "IoT Based Model for Monitoring and Controlling Water Distribution". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 482, no. 1: 012045. doi:10.1088/1757-899X/482/1/012045.
- Siregar, S., and D. Soegiarto. 2014. "Solar Panel and Battery Street Light". *2nd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 272-275. doi:10.1109/ICoICT.2014.6914078.
- Kusuma, H. A., R. Anjasmara, T. Suhendra, H. Yunianto, y S. Nugraha. 2019. "An IoT Based Coastal Weather and Air Quality Monitoring Using LoRa Technology"-*International Conference on Science & Technology (ICoST 2019)* 1501, no. 1. doi:10.1088/1742-6596/1501/1/012004.