

<https://doi.org/10.23913/ride.v16i32.2995>

Artículos científicos

Sistema de Monitoreo Continuo del Consumo de Agua Utilizando Sensores Inteligentes e IoT

***Continuous Water Consumption Monitoring System Using Smart Sensors
and IoT***

***Sistema de monitoramento contínuo do consumo de água utilizando
sensores inteligentes e IoT***

Rivera-Mejía José

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chihuahua México

jose.rm@chihuahua.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8574-9376>

Mancinas-Hernández Pedro

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chihuahua México

pedromuerte3327@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6598-4636>

Lozano-Rodríguez Jorge Gabriel

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chihuahua México

L21060685@chihuahua.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0007-3924-5944>

Morones-Báez Laura Liliana

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chihuahua México

L21060693@chihuahua.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-1995-398X>

Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chihuahua México

rocio.qm@chihuahua.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0008-5948-4376>

Resumen

La gestión hídrica actual enfrenta desafíos críticos debido a la escasez del recurso, la contaminación y la carencia de datos confiables, lo que limita el cumplimiento del Objetivo 6 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. El objetivo de este trabajo fue diseñar y evaluar un sistema continuo, autónomo y de bajo costo para el monitoreo del consumo hídrico, orientado a generar información analítica útil para detectar fugas, consumos atípicos y patrones de uso. Para ello, se desarrolló un sensor inteligente basado en el microcontrolador ATmega328P, alimentado de forma autónoma mediante panel solar y batería de litio. Este dispositivo se integró a una arquitectura de Internet de las Cosas de tres capas con comunicación Zigbee, un coordinador Raspberry Pi y una aplicación móvil en Xamarin Forms para la visualización en tiempo real. La validación experimental se realizó instalando sensores inteligentes en cuatro edificios del Instituto Tecnológico de Chihuahua y empleando MATLAB para el análisis de los datos. Los resultados demostraron una operación estable del sensor ante condiciones climáticas adversas y una transmisión inalámbrica confiable frente a obstáculos físicos. Asimismo, el sistema caracterizó con precisión la demanda hídrica, identificando mayores consumos en zonas de alta afluencia y distinguiendo patrones específicos entre días laborales, fines de semana y periodos vacacionales. Se concluye que es viable desarrollar tecnología nacional eficiente y replicable para la gestión del agua, la cual aporta evidencias cuantitativas clave para la toma de decisiones estratégicas y puede promover el uso responsable del recurso en sectores públicos y privados.

Palabras Clave: Consumo de agua, sensores inteligentes, IoT, sistemas de monitoreo, instrumentación inteligente, eficiencia hídrica.

Abstract

Current water management faces critical challenges due to resource scarcity, pollution, and a lack of reliable data, which limits the achievement of Sustainable Development Goal 6 of the United Nations 2030 agenda. The objective of this study was to design and evaluate a continuous, autonomous, and low-cost water consumption monitoring system aimed at generating actionable analytical information to detect leaks, atypical consumption, and usage patterns. To achieve this, a smart sensor based on the ATmega328P microcontroller was developed, features self-powered operation via a solar panel and a lithium battery. This device was integrated into one internet of the things of three-layer architecture utilizing

Zigbee communication, a Raspberry Pi coordinator, and a mobile application developed in Xamarin Forms for real-time visualization. Experimental validation was conducted by installing smart sensors across four buildings at the Instituto Tecnológico de Chihuahua and employing MATLAB for data analysis. The results demonstrated stable sensor operation under adverse weather conditions and reliable wireless transmission despite physical obstacles. Furthermore, the system precisely characterized water demand, identifying higher consumption in high-traffic zones and distinguishing specific patterns between workdays, weekends, and vacation periods. It is concluded that developing efficient, replicable, and domestic technology for water management is highly viable. This approach provides key quantitative evidence for strategic decision and can promote the responsible use of water resources in both public and private sectors.

Keywords: Water consumption, smart sensors, IoT, monitoring Systems, smart instrumentation, water efficiency.

Resumo

A gestão hídrica atual enfrenta desafios críticos devido à escassez de recursos, à poluição e à falta de dados confiáveis, o que limita o alcance do Objetivo 6 da Agenda 2030 das Nações Unidas. O objetivo deste trabalho foi projetar e avaliar um sistema contínuo, autônomo e de baixo custo para monitoramento do consumo de água, visando gerar informações analíticas úteis para detectar vazamentos, consumo atípico e padrões de uso. Para tanto, foi desenvolvido um sensor inteligente baseado no microcontrolador ATmega328P, alimentado autonomamente por um painel solar e uma bateria de lítio. Este dispositivo foi integrado a uma arquitetura de Internet das Coisas (IoT) de três camadas com comunicação Zigbee, um coordenador Raspberry Pi e um aplicativo móvel em Xamarin Forms para visualização em tempo real. A validação experimental foi realizada instalando sensores inteligentes em quatro edifícios do Instituto de Tecnologia de Chihuahua e utilizando o MATLAB para análise de dados. Os resultados demonstraram operação estável do sensor em condições climáticas adversas e transmissão sem fio confiável, apesar de obstáculos físicos. Além disso, o sistema caracterizou com precisão a demanda de água, identificando maior consumo em áreas de grande circulação e distinguindo padrões específicos entre dias úteis, fins de semana e feriados. Conclui-se que o desenvolvimento de tecnologia nacional eficiente e replicável para a gestão da água é viável, fornecendo evidências quantitativas essenciais para a tomada de

decisões estratégicas e promovendo o uso responsável desse recurso tanto no setor público quanto no privado.

Palavras-chave: Consumo de água, sensores inteligentes, IoT, sistemas de monitoramento, instrumentação inteligente, eficiência hídrica.

Fecha Recepción: Septiembre 2025

Fecha Aceptación: Abril 2026

Introducción

El agua es un recurso importante en todas las actividades vitales y productivas. El tema del agua es transversal y apoya el logro de muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a través de estrechos vínculos con el clima, la energía, las ciudades, el medio ambiente, la seguridad alimentaria, la pobreza, la igualdad de género y la salud, entre otros. La contaminación y la carencia de infraestructuras de saneamiento seguro constituyen los desafíos más severos de la crisis del agua contemporánea. La ausencia de un tratamiento adecuado de los recursos hídricos genera descargas contaminantes que comprometen la salud de la población y aceleran la degradación ambiental, evidenciando que una gestión hídrica deficiente impacta de manera transversal en el bienestar humano. Además, hoy en día, una cuarta parte de la población mundial utiliza fuentes de agua potable no seguras. El agua es de hecho el mayor factor decisivo para alcanzar los objetivos y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (United Nations, 2023). La Agenda 2030 de la ONU del 25 de septiembre de 2015 estableció 17 objetivos para el desarrollo sustentable. Particularmente, el objetivo 6 está enfocado en “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos” (United Nations, 2015). Se puede observar cómo en el reporte de la evaluación de 2023 esta meta revela tres grandes preocupaciones (United Nations, 2023): La primera, a pesar de los grandes avances, miles de millones de personas todavía carecen de acceso a agua potable, saneamiento e higiene. La segunda, la eficiencia en el uso del agua ha aumentado un nueve por ciento, pero el estrés y la escasez de agua siguen siendo una preocupación en muchas partes del mundo. La tercera, las estrategias clave para volver a encarrilar el Objetivo 6 incluyen aumentar la inversión y el desarrollo de capacidades en todo el sector, promover la innovación y la acción basada en evidencia, mejorar la coordinación y cooperación intersectorial entre todas las partes interesadas y adoptar un enfoque más integrado y holístico del agua. En el informe del Objetivo 6 se recomienda promover la innovación y la acción basada en evidencia. Esto será posible solo mediante el uso de tecnología, que permita generar evidencias confiables.

En la revisión de literatura se encuentran estudios sobre el consumo de energía y el costo para suministrar agua caliente en edificios residenciales (Maltais y Gosselin, 2021). El uso de Internet de las Cosas (IoT) para desarrollar un sistema para conocer en tiempo real el consumo de agua en un cultivo, en el que los usuarios del sistema podrán tomar acciones correctivas para optimizar su consumo de agua, este sistema muestra y analiza información utilizando MATLAB (López-Torres et al., 2020). Se han realizado estudios para determinar las variaciones del consumo de agua en edificios de oficinas por el cambio de presión en el suministro de agua (Tuhovcak et al., 2018). Se ha hecho medición de consumo de agua inteligente utilizando un sensor de flujo por medio del cual se registra el consumo de agua del hogar, los datos recopilados se envían a un centro de datos para su análisis a través de la línea eléctrica de la red mediante un módem de comunicación en líneas de voltaje (Khalifa et al., 2020).

También se encuentran estudios como el consumo de agua y su predicción, utilizando modelos de regresión diseñados para un experimento sobre un edificio administrativo en la República Checa (Rucka et al., 2018). Con el propósito de examinar el impacto de la infraestructura, los patrones de consumo de los residentes (factores internos) y el clima (factor externo) en la demanda de agua de los hogares, se llevó a cabo un estudio cuantitativo mediante encuestas en tres sectores con diferentes niveles socioeconómicos (Rondinel y Sarmiento, 2020). Podemos encontrar trabajos como el análisis de los impactos de las medidas de protección tomadas para la pandemia de COVID-19 en el consumo de agua y las fugas después de la pandemia en lugares públicos. Para este estudio se seleccionaron 22 espacios públicos, los cuales incluyeron instituciones educativas, cementerios, parques, mezquitas, sanitarios públicos, un complejo universitario y una infraestructura deportiva.

Establecer y alcanzar objetivos de reducción de pérdidas por agua no contabilizada es una tarea crítica para los responsables de administrar el agua, que buscan mejorar la eficiencia operativa, estabilidad financiera, protección ambiental y sustentabilidad. La optimización de la gestión hídrica se fundamenta en la definición de objetivos realistas, el monitoreo continuo del progreso y el análisis de casos de éxito. Las empresas de servicios públicos pueden emprender un camino hacia un sistema de suministro de agua más sostenible. Para lograr esto, existen muchos fabricantes de medidores de agua como Itron, Kamstrup, Neptune, Sensus, entre otras. Estas empresas ofrecen medidores y sistemas de monitoreo, el problema es que son transnacionales y sus costos resultan elevados para su implementación a gran escala (Muhammetoglu y Muhammetoglu, 2022; Blackridge Research & Consulting Global,

2025; Itron, 2025; Kamstrup, 2025). Además, en nuestro país en la gran mayoría de las ciudades el servicio del suministro de agua potable es proporcionado por los gobiernos municipales con recursos limitados para la extracción y distribución. Por consiguiente, es necesario el desarrollo de tecnología propia y de vanguardia. Se puede encontrar trabajos importantes como la industria 4.0 relacionados con la manufactura sustentable (Jena et al., 2019). El uso de Internet de las Cosas (IoT) en diferentes aplicaciones como la agricultura (Dholu y Ghodinde 2018) y los sistemas de monitoreo de consumo de agua (Perumal 2015). Propuestas sobre las arquitecturas de IoT (Gubbi et al., 2013 y Lloret et al., 2016).

En el presente trabajo presenta un sistema de monitoreo para el consumo de agua con base en sensores inteligentes e IoT. En el que primero se diseñó un sensor inteligente (Rivera, 2021 y Rivera et al., 2013) después se seleccionó una arquitectura IoT (Hassan, 2018) y se construyó el sistema de monitoreo. También se presentan los resultados del consumo de agua en una institución de educación superior. Lo anterior evidencia la existencia de capital humano altamente calificado en México, capaz de desarrollar infraestructura tecnológica nativa, económica y eficiente para la gestión del agua. De este modo, se promueve una cultura del agua en la formación de profesionales orientados a la gestión sostenible y la preservación del recurso hídrico.

Métodos

Sensores inteligentes

Un sensor inteligente (SI) es definido por el comité del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) *como un sensor que provee funciones más allá de lo necesario para generar una correcta representación de una cantidad medida o controlada*. Esta función típicamente simplifica la integración del transductor en aplicaciones en ambientes de red (Frank, 2000; Rivera, 2021). De acuerdo con Mekid 2006, las funciones de un sensor inteligente deben ser procesamiento, comunicación, validación, integración y fusión de datos. De acuerdo con la definición de la IEEE las funciones básicas de un sensor inteligente deben de ser la de procesamiento, compensación y comunicación.

Comunicación del sensor inteligente

La comunicación del SI se puede hacer de forma alámbrica e inalámbrica. Para facilitar la instalación del sistema de monitoreo se optó por la comunicación inalámbrica. Para seleccionar una comunicación inalámbrica se recomienda evaluar las siguientes

características: cobertura, capacidad, aplicaciones, seguridad, simplicidad, redundancia, integración de redes, manejo, el medio donde se utiliza y el costo (TechTarget 2025).

Después de evaluar diversas tecnologías de comunicación (Wi-Fi, Li-Fi, Bluetooth, LoRaWAN y Zigbee) bajo criterios de viabilidad operativa, costo, cobertura y capacidad de integración en red, se seleccionó el protocolo Zigbee para la comunicación del SI. (TechTarget 2025; RUMTIME 2025; Bhavanam & Ragam 2023).

Zigbee es un protocolo de redes inalámbricas de alto nivel aprobado por la IEEE, basado en el estándar 802.15.4. Fue desarrollado por Zigbee Alliance, con el objetivo de proporcionar una comunicación de bajo costo, bajo consumo de energía, confiable y bidireccional para aplicaciones de corto alcance. Zigbee utiliza la radiofrecuencia de 2.4 GHz para ofrecer una variedad de normas confiables y fáciles de usar en cualquier parte del mundo. El alcance normal en línea de vista (sin obstáculos) es de aproximadamente de 1200 m y en interiores más de 60 m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 250 kbps. Las principales ventajas del Zigbee es su mayor alcance y el número de dispositivos que permite la red, hasta 65,535 nodos. La estructura de Zigbee contempla tres roles: Coordinador, *Router* y *End device* (Digi 2025).

Arquitectura IoT

Hoy en día se cuenta con mayor disponibilidad de recursos de cómputo, paquetes de software, redes de comunicación y una continua reducción del tamaño físico del hardware, lo que ha hecho posible la integración de la tecnología de información y su comunicación, construir virtualmente cualquier cosa, contribuyendo al surgimiento de un nuevo paradigma en informática conocido como Internet de las Cosas (IoT). En la literatura disponible existen muchas propuestas para la arquitectura IoT (Dholu y Ghodinde 2018; Gubbi et al., 2013; Lloret et al., 2016; Perumal 2015; Hassan 2018). Para el desarrollo de este sistema de monitoreo se seleccionó una “Arquitectura de alto nivel para IoT” propuesta por Hassan 2018, en la que muestra que la arquitectura de IoT se estructura en tres capas, como se muestra en la Tabla 1 (Hassan, 2018).

Aplicando estos conceptos de la visión de alto nivel para la arquitectura de IoT se adapta bien al desarrollo de este tipo de proyectos que incluyen hardware y software. Los SI cumplen con los requisitos de la Capa I. Para la Capa II de conectividad depende de la aplicación y las redes de comunicación más comunes son Bluetooth, GSM, LoRa, RFID, DASH7, Z-Wave y Zigbee en combinación con WiFi o Ethernet para interactuar con la nube (Hassan, 2018). La

Capa III que es la capa de aplicaciones se necesitan las herramientas de software dependiendo de los usuarios y básicamente están basados en sistemas operativos más comunes como Windows, iOS y Android.

Tabla 1.- Arquitectura de alto nivel para IoT.

Capas	Características o Elementos
Capa I. Cosas o Capa del Dispositivo	• Componentes IoT. Procesadores, sensores, actuadores embebidos y puertos de conectividad / antenas. • Hardware de la (del) Cosa/dispositivo. Todos los componentes necesarios del dispositivo o cosa. • Software de la (del) Cosa/dispositivo. Software embebido para interactuar con la cosa física para operar su funcionalidad
Capa II. Capa de conectividad	• Red de Comunicación. Protocolos que permiten la comunicación entre cosa/dispositivo y/o la nube. Incluye su infraestructura
Capa III. Capa de aplicaciones	• Cosa / Manejo y comunicación con el dispositivo • Plataformas de aplicaciones • Procesos de administración • Análisis y manejo de datos • Aplicaciones IoT.

Fuente: Elaboración propia

Prototipo: Sensor Inteligente para el monitoreo continuo del consumo de agua

La topología del sensor inteligente (SI) se muestra en la Figura 1, la cual se basa en la arquitectura de alto nivel para IoT y corresponde a la Capa I, cosas o capa del dispositivo. Puede describirse de la siguiente forma:

Sensor de Flujo: El sensor para medir el consumo de agua se seleccionó uno de la marca AMICO, modelo LXSG-15E, con un diámetro nominal de 15 mm (5/8"), como se muestra en la Figura 2. Este sensor es un medidor de consumo de agua el cual registra una lectura mecánicamente en su caratula frontal en metros cubicos y es semejante al utilizado en las casas habitación que cumple con la NOM-012-SCFI-1994. Además, cuenta con un interruptor magnético tipo relevador, el cual cierra durante el consumo de 40 litros de agua después de eso se abre hasta que el consumo es de 40 litros de agua y se repite el ciclo. Por lo que el SI tiene un algoritmo que detecta este cambio y acumula un consumo de 40 l en cada cambio de estado del interruptor magnético. La unidad de medida del consumo

doméstico es en m^3 , por lo que este sensor tiene una resolución de $0.04 m^3$, una buena resolución para esta aplicación ya que cumple con la NOM-012-SCFI-1994.

El CPU del SI seleccionado fue un microcontrolador de la marca ATMEL el ATmega328P el cual fue seleccionado por las siguientes características: Bajo consumo de potencia, alta velocidad sobre 20 MIPS a 20 MHz, periféricos: convertidores ADC de 10 bits, puertos de I/O, 131 instrucciones de programación, Disponible en tecnología *Through-Hole* y SMT, económico, entre otras.

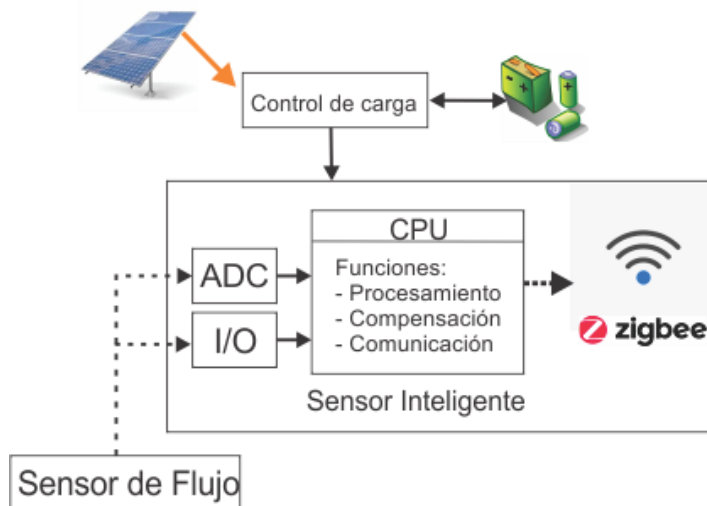
Para la comunicación inalámbrica se seleccionaron los siguientes módems Zigbee:

- Zegbee Digi número XB24CAWIT-001, el cual tiene un alcance de 60 m a 1200 m (200 ft a 4000 ft) dependiendo de las condiciones del lugar donde se instalen.
- Zegbee Digi número XB24CDMSIT-001, tiene un alcance de 60 m a 1200 m (200 ft a 4000 ft) dependiendo de las condiciones del lugar donde se instalen. A este módem se le puede poner antena externa, logrando mejorar la comunicación

El circuito de alimentación y carga, como se muestra en la Figura 1, fue diseñado utilizando los siguientes componentes:

- Panel Solar. Panel Solar de Silicio 4.5W, 6V y dimensiones de 16.5cmx16.5cm.
- La pila de almacenamiento de energía seleccionada es de Li-ion recargable, 20000mAh, 22.5W.
- Circuito controlador de carga y alimentación. El circuito para controlar la carga de la batería y alimentar el SI es el CN3163 SOP-8. Las ventajas de este controlador automático de carga es que es fácil de utilizar, económico, cuenta con protección por bajo voltaje, recarga automática, detección de temperatura de la batería e indicador de carga/terminación.

Figura 1. Topología del Sensor Inteligente.



Fuente: Elaboración propia

El SI diseñado cuenta con las siguientes características, Figura 1:

Facilidad de adaptación a cualquier sensor de flujo. El SI cuenta con entradas que convierten una señal analógica a digital (ADC) y entradas digitales. Lo que facilita el uso de cualquier tipo de sensor de flujo, ya sea que genere pulsos o genere un voltaje de corriente directa.

Funcionalidad de procesamiento. Lo que facilita la adaptación de cualquier sensor de flujo sin importar su capacidad o rango de medición. Además, se facilita su calibración.

Facilidad para adaptarse a cualquier aplicación de monitoreo. La comunicación Zigbee como se vio anteriormente facilita la configuración del SI construir el tipo de red que mejor se adapte a cada aplicación.

Sistema de autoalimentación sustentable. El SI utiliza un sistema de autoalimentación sustentable, formado por un panel solar, una batería de litio recargable y un control que permite cargar la batería y alimentar el SI cuando hay energía solar y permite alimentar el SI con la energía almacenada en la batería cuando no se cuenta con energía solar.

Facilita la integración a IoT y almacenamiento de datos en la nube. Fácilmente se puede desarrollar un concentrado de información de varios SI y subir esa información a la nube.

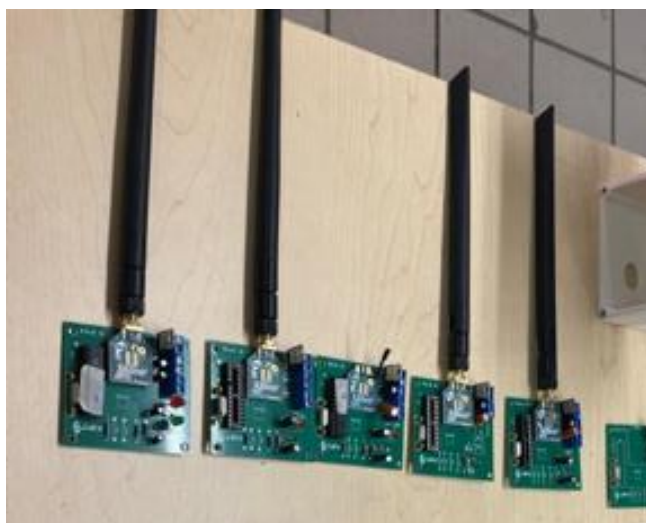
Figura 2. Sensor para medir el consumo de agua de la marca AMICO.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3 se muestra físicamente cinco SI, cuatro de ellos con antena externa.

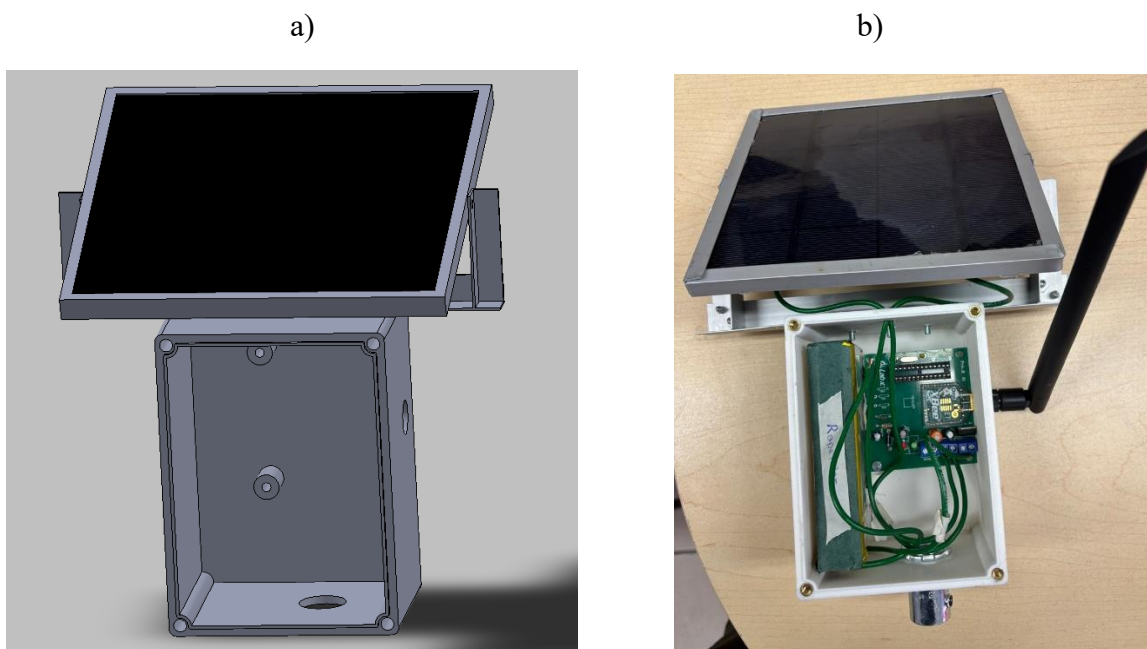
Figura 3. Sensores Inteligentes para la medición de consumo de agua



Fuente: Elaboración propia

Se diseñó un gabinete para proteger los SI y la estructura para sujetar la celda solar. El diseño se realizó en SolidWorks y en una impresora 3D se imprimió, Figura 4. La Figura 4a muestra el diseño del gabinete y la estructura para fijar la celda de carga y la Figura 4b muestra físicamente todo el SI. Con esto se facilitará su instalación física.

Figura 4. Sensor Inteligente. a) Diseño de gabinete y estructura para sujetar la celda. b) Estructura física del SI.



Fuente: Elaboración propia

Ahora se cuenta con un prototipo de SI para la medición de consumo de agua, el cual facilitará su fabricación en serie. Se requiere uno por cada punto donde se desee conocer el consumo de agua.

Sistema de monitoreo continuo del consumo de agua.

La arquitectura del Sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT se muestra en la Figura 5. Utilizando las características descritas en la Tabla 1, para la arquitectura de alto nivel para IoT, el sistema de monitoreo se construyó de la siguiente forma:

Capa I. Está formada por cuatro SI en una red tipo malla. Los sensores inteligentes se instalaron en cuatro edificios del Instituto Tecnológico de Chihuahua (I.T. de Chih.). Con base en tecnología Zigbee la capa I está formada por *cuatro End Device Zigbee* y un router Zigbee.

Capa II. Un coordinador Zigbee comunica la información a un CPU (Raspberry Pi, 3B+) y este a su vez envía la información a la nube, esto forma la Capa II de la arquitectura de alto nivel para IoT. La Raspberry seleccionada es una mini-computadora con buenas características como comunicación LAN, WiFi, USB. Manejo de memoria externa tipo SD.

Salida de video HDMI, entre otras características. Lo que facilitará el desarrollo de muchas aplicaciones (Farnell. 2025).

Para almacenar la información en la nube la Raspberry vía WiFi se conecta a Internet y se utiliza la nube de Firebase de Google ya que ofrece muchas facilidades como almacenamiento de datos y herramientas para desarrollar apps gratis, facilitando este tipo de proyectos (Geeksforgeeks org, 2025).

Capa III. Para el desarrollo de una primera app, Capa III de la Arquitectura de alto nivel de IoT se decidió utilizar Xamarin Forms. Xamarin Forms representa una excelente solución para este propósito, ya que permite la creación de aplicaciones móviles multiplataforma a través de un solo código base, lo que hace su desarrollo de una manera más eficaz. Además, que se asegura que la aplicación sea accesible, intuitiva y adecuada para las necesidades del usuario [Xamarin, 2024]. también se desarrolló un ejemplo del análisis de la información registrada en Firebase utilizando MATLAB.

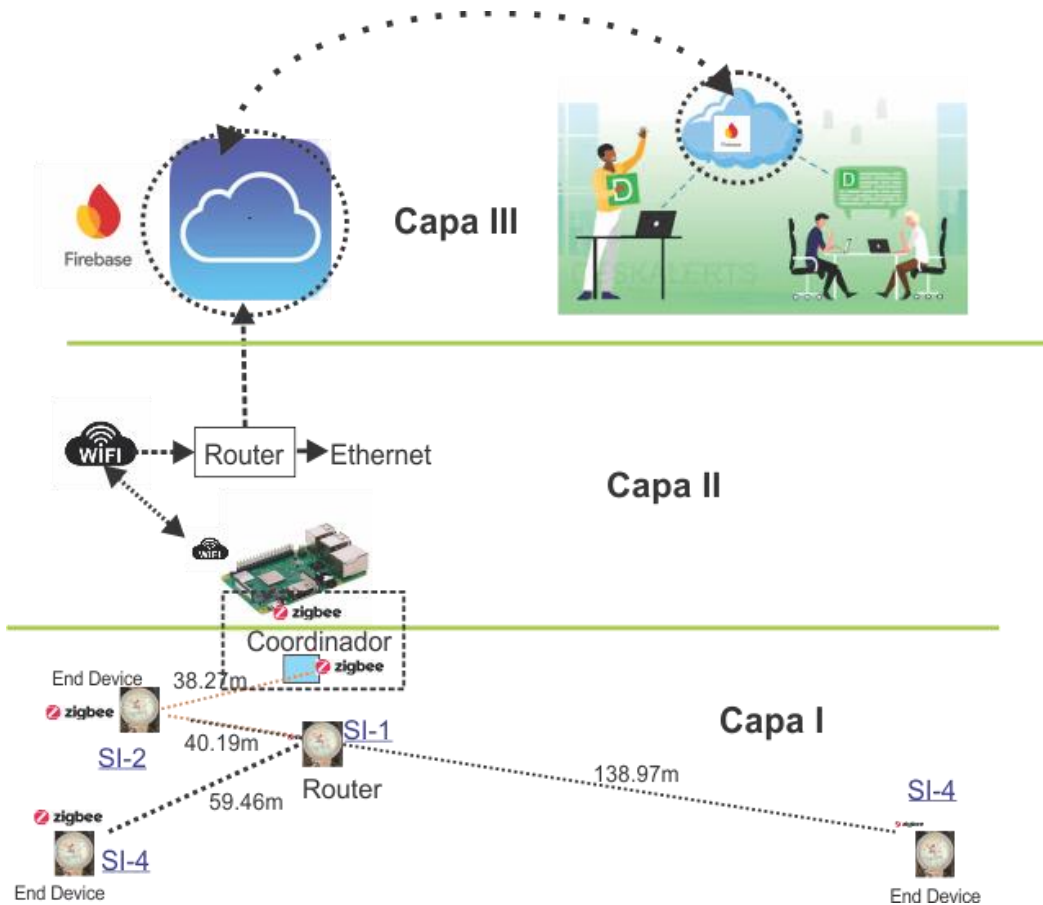
Pruebas al sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT

a) Prueba al circuito de alimentación de voltaje del SI.

Para la prueba al circuito de alimentación de voltaje se instaló un SI en el edificio de posgrado del I.T. de Chih. del 20 de diciembre del 2024 y se mantuvo en observación hasta del 20 de enero del 2025, Figura 6. Al SI utilizando C++ se le programó un algoritmo con tres funciones:

- Verificación, por medio de una interrupción, del cambio de estado lógico de una terminal del ATmega328P. Cambio de 0 a 1 ó de 1 a 0.
- Al detectar un cambio de estado se incrementa un contador.
- Pública o transmite por el Zigbee, el valor del contador.

Figura 5. Sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Sensor inteligente utilizado para prueba de circuito de alimentación de energía.



Fuente: Elaboración propia

b) Instalación y prueba de comunicación del sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT.

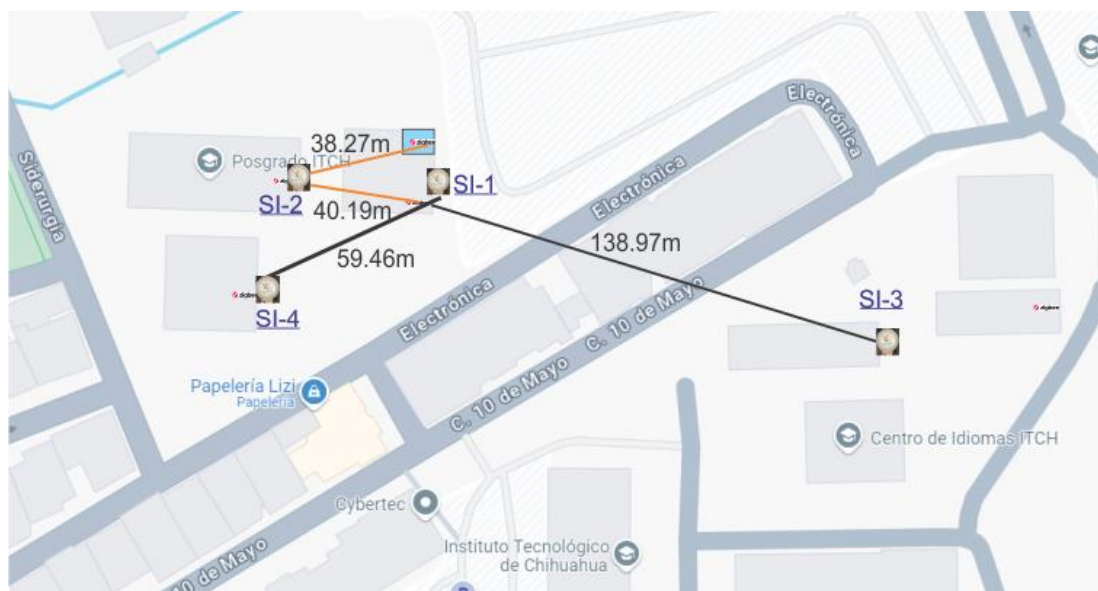
Con base a la arquitectura del sistema de monitoreo propuesto en la Figura 5. Se instalaron cuatro SI en diferentes edificios del I.T. de Chih., en la ubicación que se muestra en la Tabla 2. En la columna 1 se muestra la identificación del sensor y su ubicación, en la columna 2 se muestran las coordenadas de latitud y longitud de acuerdo Google Maps, la ubicación física de cada SI y en la tercera columna se muestra la distancia aproximada de transmisión entre cada SI y el coordinador del sistema de monitoreo. Las medidas se obtuvieron con la herramienta de medición de distancia de Google Maps. Estas distancias son líneas rectas y sin considerar obstáculos., Figura 7.

Tabla 2. Ubicación de los SI y distancia de transmisión

Id-Sensor y ubicación	Coordenadas del SI	Distancia aproximada de transmisión (m)
SI-1 (Laboratorio de Instrumentación y Control de la DEPI)	28.663065, 106.081696	8
SI-2 (Edificio de posgrado)	28.663114378942122, 106.08232860708883	40.19
SI-3 (Edificio S)	28.662676623671473, 106.0803089037146	138.97
SI-4 (Laboratorio de cómputo)	28.66284372401856, 106.08232056046185	59.46

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT en plano de Google Maps.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8, se muestra una imagen de Google Maps, donde se puede observar los obstáculos o las condiciones ambientales bajo las que se realizó la prueba de comunicación del sistema de monitoreo y trabajará el sistema de monitoreo. Los círculos naranjas representan los SI. Como se puede observar existen árboles que obstruyen la comunicación y también hay una subestación de alto voltaje ubicada donde está el símbolo , que genera ruido electromagnético.

Figura 8. Obstáculos del Sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT en plano de Google Maps.



Fuente: Elaboración propia

c) *Sistema monitoreo continuo del consumo de agua y almacenamiento de la información en la nube.*

Una vez instalado físicamente el sistema de monitoreo continuo del consumo de agua. Utilizando Python en la Raspberry Pi se programó un algoritmo con las siguientes funciones:

- Conexión a internet vía WiFi.
- Colección de datos, tipo supervisor, de cada SI instalado en el sistema. Esta función se ejecuta cada cinco minutos.
- Enviar datos a la nube. Esta función se ejecuta después de la colección de datos y se envía a la nube FireBase, la fecha, la hora, el identificador del SI y el valor del consumo de agua de cada SI.

d) *Desarrollo de aplicaciones.*

Se desarrolló una app que tiene tres capas para el usuario.

1. Menú Principal. Se muestra en la Figura 9, el usuario debe pulsar el botón de “INICIAR”
2. Plano del sistema de monitoreo. Una vez que se inicia, la app muestra un plano del lugar donde se está monitoreando el consumo del agua, símbolo de localización en rojo. En nuestro caso el I.T. de Chihuahua, Figura 10.
3. Gráfico de consumo de cada medidor. Al seleccionar un SI, se muestra una gráfica del consumo de agua en ese punto de medición. En la Figura 11 se presentan los datos históricos correspondientes al consumo de la última hora, cuya información se actualiza con

una frecuencia de 5 minutos. La app se probó en una tableta Samsung Galaxy Tab 7, Modelo SM-T225, Memoria de 32 GB y sistema operativo de Android 14.

Figura 9. Menú principal de la app



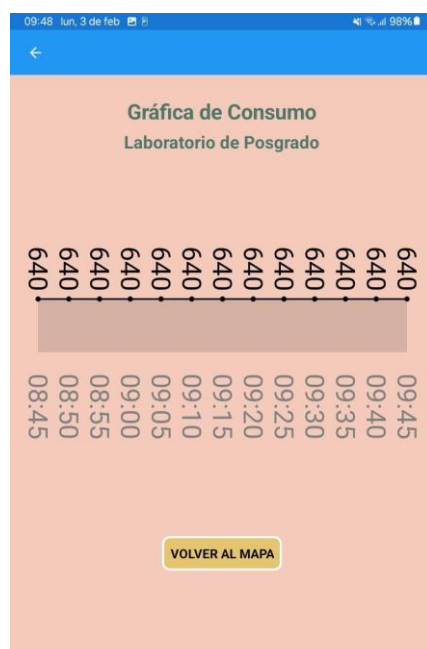
Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Plano de la app, indicando los lugares donde están los SI



Fuente: Elaboración propia

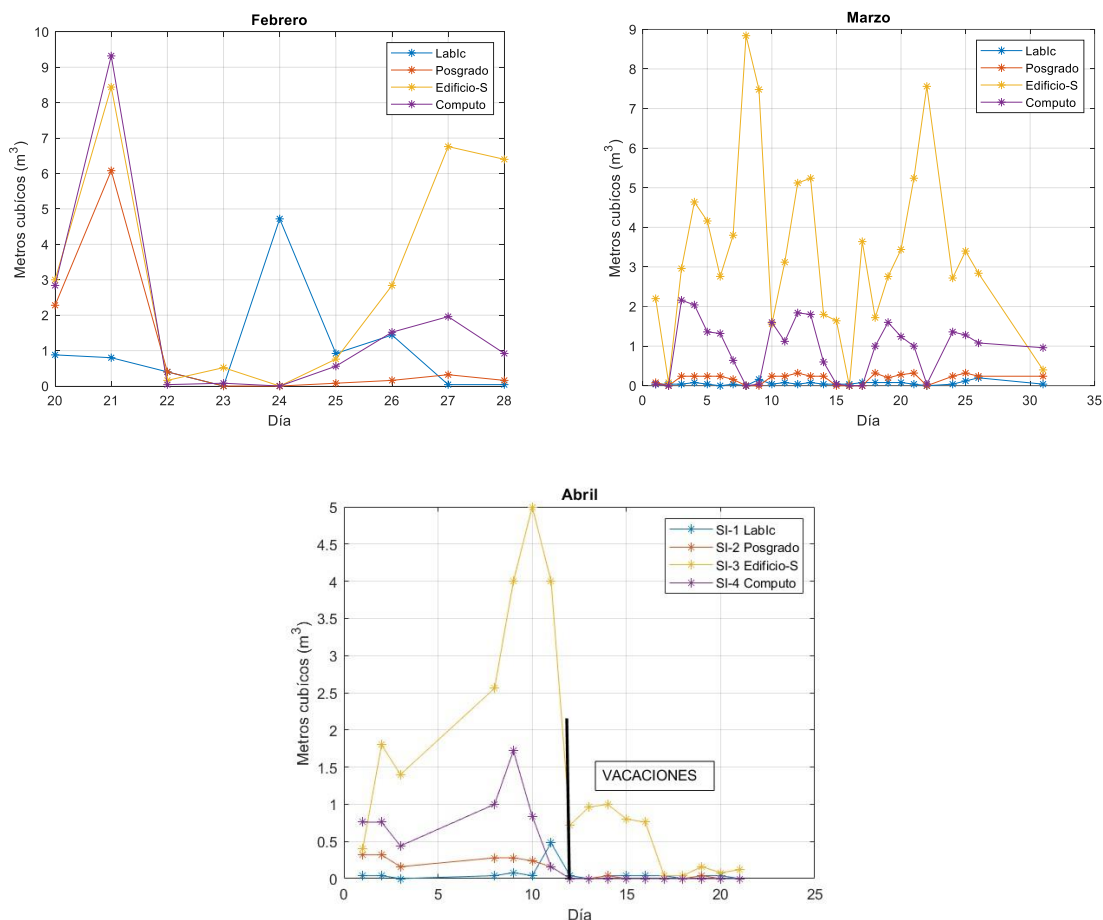
Figura 11. Ejemplo de la gráfica de la historia del consumo de un SI.



Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de la información que se encuentra en la nube, se accedió al archivo de Firebase y utilizando MATLAB se analizó la información del 20 de febrero del 2025 al 21 de abril del 2025, en la Figura 12 se muestran los resultados generados por cada SI instalado, desglosados cronológicamente durante el periodo de febrero a abril de 2025.

Figura 12. Consumo de agua registrado por el sistema de monitoreo. a) Consumo de febrero del 2025, b) Consumo de marzo del 2025 y c) Consumo de abril del 2025.



Fuente: Elaboración propia

Resultados

Se desarrolló un sistema de monitoreo continuo del consumo de agua basado en sensores inteligentes y una arquitectura de alto nivel para IoT con las características descritas en la Tabla 1. Se seleccionó, construyó y programó el hardware necesario para el sistema de monitoreo bajo la arquitectura IoT establecida, como se muestra en las Figuras 1 a 5, lo que facilita el entendimiento de la construcción de sistemas IoT.

Otros resultados obtenidos se describen conforme a las pruebas realizadas al sistema de monitoreo continuo del consumo de agua utilizando sensores inteligentes e IoT. Los resultados pueden evaluarse con base en la arquitectura IoT propuesta y sus capas.

a) Capa I. Resultados de la prueba del circuito de alimentación de voltaje y prueba de transmisión de datos.

Se verificó el funcionamiento del SI y la carga de la pila. La prueba se desarrolló entre diciembre del 2024 y enero del 2025. Cabe destacar que, en esta temporada de invierno, en esta zona, el sol sale sobre las 7:15 h y se oculta a las 18:30 h. Además, el 10 de enero por la madrugada cayó una nevada en la ciudad ocasionando días nublados. Se pudo comprobar que el SI trabajó correctamente, por lo que el sistema de carga operó satisfactoriamente, garantizando que el SI esté siempre energizado.

En esta etapa también se probó la comunicación o transmisión de datos de los cuatro sensores instalados. Asegurando una buena transmisión aún con los obstáculos que se tienen como se observa en la Figura 8.

b) Capa II. Para la programación de la Capa II que corresponde a la interacción de la cosa/dispositivo y la nube, se utilizó el lenguaje Python para programar la Raspberry Pi 3B+. Se programó un algoritmo para coleccionar los datos generados por cada SI y enviarlos hacia la plataforma en la nube Firebase para su almacenamiento externo. La prueba de colección y almacenamiento de información fue realizada en el mismo tiempo que se probó el SI.

c) Capa III. En la capa de aplicaciones se desarrollaron dos ejercicios. El primero de ellos se muestra en las figuras de la 9 a la 11. Es una aplicación en tiempo real, en el que, el usuario final tiene una imagen virtual del lugar donde se está monitoreando el consumo de agua, la ubicación física en donde están instalados los puntos de medición SI y puede seleccionar cualquier punto de medición disponible para ver el consumo de la última hora. Por ejemplo, la Figura 11 muestra la gráfica del día 26 de enero del 2025, día inhábil, mostrando que el consumo acumulado de ese edificio es de 640 litros y en la última hora no se ha consumido agua. Esto puede interpretarse como una operación normal del suministro de agua, sin evidencia de fugas. La gran ventaja es que, con cualquier dispositivo móvil conectado a internet, desde cualquier parte del mundo se puede observar esta información.

El segundo consistió en analizar los datos almacenados en la nube Firebase. Los resultados se muestran en la Figura 12. La información se presenta por meses y se observa como en el edificio-S en las tres gráficas muestra una tendencia del consumo de agua más alta. Esta tendencia se explica porque es un edificio de aulas y el número de usuarios es mayor que en los otros puntos de medición. Analizando el consumo de los días 22 y 23, Figura 12b, en el mes de abril se nota un consumo alto a pesar de ser un fin de semana y no se labora. Investigando las causas se comprobó que se estaban realizando trabajos de albañilería en el área, lo que justifica el consumo de agua de esos días, al igual que en el mes de abril en el periodo marcado como vacaciones, Figura 12c.

En la Tabla 3, se muestran las principales características del sensor inteligente, se considera que es una parte importante del sistema de monitoreo diseñado. En el sistema de monitoreo se pueden conectar hasta 20 sensores por coordinador o router (Digi, 2025), lo que permite construir una gran red de monitoreo adaptable a distintos espacios como universidades, edificios de gobierno, hospitales, hoteles, fraccionamientos, entre otros lugares donde se consuma agua.

Tabla 3. Especificaciones del Sensor Inteligente

Característica	Límites de operación
Sensor de flujo	Adaptable a sensores de cualquier tipo y rango (Pulsos o voltaje analógico)
Funcionalidades del SI	Procesamiento, compensación y comunicación.
Facilidad para adaptarse	Facilita la construcción de redes de comunicación de SI, adaptable a cualquier espacio
Temperatura de operación	-20 °C a 80 °C
Rango de operación	60 m a 1200 m (200 ft a 4000 ft)
Comunicación	Zigbee
Alimentación	Autoalimentado con energía renovable
Consumo de corriente	40 mA máximo
Voltaje de alimentación	5 VDC, autoalimentado con energía solar

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones técnicas del sistema de monitoreo hídrico se describen a continuación:

- Sensores para el consumo de agua: La cuantificación del consumo hídrico es compatible con sensores analógicos que generen señales de 0 a 5 V CD o bucles de corriente de 4 a 20 mA. Asimismo, el SI admite la integración de transductores con salidas digitales.
- Los SI fueron evaluados operativamente bajo condiciones de temperatura extrema que oscilaron entre -10 °C y 40 °C, demostrando una estabilidad absoluta sin registrar fallos mecánicos o electrónicos.
- La topología definida en la Capa I de la arquitectura Internet de las Cosas (IoT) se determina por el entorno de del lugar donde se instale y las especificaciones técnicas del protocolo Zigbee. Este estándar proporciona un rango de comunicación inalámbrica segura de 60 a 1200 m —sujeto a la atenuación provocada por obstáculos físicos— y soporta configuraciones de malla basadas en nodos coordinadores, enrutadores (routers) y dispositivos finales (end devices), con una capacidad escalable de hasta 65,535 nodos (Digi, 2025).

- La velocidad de transferencia de datos de la interfaz Wi-Fi está condicionada por el ancho de banda y la velocidad de subida/bajada del servicio de Internet disponible en el sitio de instalación del sistema de monitoreo.
- Autonomía energética: El consumo de corriente promedio registrado por el sensor inteligente durante las fases de operación activa y transmisión inalámbrica es de 40 mA, Tabla 3. Al contrastar esta demanda con la capacidad nominal de la batería de polímero de litio de 20,000 mAh (22.5 W), y aplicando un factor de eficiencia del 85% para compensar las pérdidas por regulación de voltaje y autodescarga, el dispositivo posee una autonomía estimada de 425 horas (~17.7 días) de funcionamiento continuo en ausencia de radiación solar. Este margen garantiza la resiliencia operativa de los nodos de monitoreo aun ante condiciones climáticas adversas prolongadas.

Discusión

El sistema de monitoreo continuo del consumo de agua basado en sensores inteligentes e IoT cuenta con las funcionalidades básicas propias de sistemas de medición inteligente (Mekid, 2006; Rivera-Mejía, 2013). Además, utilizó la arquitectura de alto nivel para IoT en la que se resaltan las características funcionales de cada capa (Hassan, 2018) y los componentes de hardware que forman cada capa. Lo anterior facilitará el desarrollo futuro de sistemas de medición inteligentes, funcionales dentro de la filosofía IoT y fácilmente integrarlos a sistemas autónomos de inteligencia artificial (IA). Un sistema como el aquí desarrollado, que registra el consumo de agua asociado con las actividades desarrolladas en una institución de educación superior, al combinarse con otras herramientas matemáticas como lógica y cálculo (Russell y Norvig, 2021), teoría de probabilidad y estadística (Murphy, 2012; Vapnik, 1998), cálculo y algebra lineal (Goodfellow et al., 2016), algoritmos computacionales (Russell y Norvig, 2021; Hopcroft et al., 2006) entre otras, lo que facilitará el análisis de la información registrada como el ejemplo expuesto en la Figura 12. Se podrán desarrollar sistemas o aplicaciones con IA para facilitar la gestión del agua, que alerten en tiempo real a los responsables del manejo del agua notificando fallas en el servicio, patrones de consumo de los grupos de usuarios, clasificados por sus actividades o forma de vida, herramientas para mantenimiento predictivo, evaluaciones de la calidad del servicio hídrico, análisis de sus variables en la gestión del agua como presión de agua, tiempos de suministro, horas de suministro, entre otras. En consecuencia, el desarrollo propuesto puede facilitar la

administración eficiente del agua, consolidándose como una herramienta clave para su cuidado y la sostenibilidad ambiental.

Conclusiones

Se diseñó, construyó e implementó un sistema completo de monitoreo continuo del consumo de agua, utilizando sensores inteligentes y una arquitectura IoT de alto nivel que permite consolidar un desarrollo tecnológico propio y operacional. Esto demuestra que es posible desarrollar tecnología en México de bajo costo, eficiente y adaptable a las necesidades del lugar en que se aplique.

Los sensores inteligentes (SI) desarrollados muestran un desempeño confiable, incluso bajo condiciones ambientales adversas como bajas temperaturas y días nublados. Además, su diseño modular permite adaptarlos a diferentes tipos de sensores de flujo para aplicaciones domésticas o industriales.

El sistema de alimentación basado en panel solar, batería de litio recargable y controlador de carga demostró ser eficiente y suficiente para mantener el funcionamiento continuo de los sensores sin requerir alimentación eléctrica convencional, con lo cual se promueve la sostenibilidad energética.

La red Zigbee implementada permitió una comunicación inalámbrica estable entre los sensores y el nodo coordinador, aún con obstáculos físicos como edificios, árboles y fuentes de interferencia electromagnética, confirmando su viabilidad para aplicaciones de monitoreo distribuido.

Se estableció una conexión efectiva entre el sistema físico y la nube (Firebase), registrando la información para el desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma que permitan al usuario visualizar el consumo en tiempo real y consultar datos históricos de manera remota.

La arquitectura permite la conexión de hasta 20 sensores por coordinador (límite del Zigbee seleccionado configurado como coordinador), lo que habilita su aplicación en distintos entornos como instituciones educativas, hospitales, hoteles o fraccionamientos, con lo que se promueve una cultura de aprovechamiento racional del agua.

La formación de capital humano en esta área del conocimiento se fortalece, ya que los estudiantes tienen la oportunidad de trabajar en el desarrollo de un proyecto real con aplicación práctica.

Futuras líneas de Investigación

El trabajo aquí desarrollado presenta una metodología para la integración de sistemas basados en IoT que contribuye al objetivo 6 de la Agenda 2030 de la ONU (Union Nations, 2015). El cual es capaz de proporcionar evidencias confiables para la gestión del agua en entornos de servicios públicos y privados. Además, genera información para desarrollar sistemas con IA que faciliten la gestión del agua. Se puede trabajar en generar automáticamente patrones de consumo de agua de acuerdo con el número de usuarios, estaciones del año, calendario de trabajo, entre otros. Con lo anterior, se puede identificar consumos normales o fuera de los criterios establecidos diferenciando entre usos inadecuados o fallas operativas del sistema de distribución hídrica.

Otra línea de investigación es la formación de recursos humanos en esta área del conocimiento, en la que se puede demostrar que al integrar estudiantes a este tipo de proyectos favorece que los estudiantes se involucren en un problema real y se motiven a aprender para obtener una mejor preparación técnica y profesional, mostrando diferencias significativas en actitud y conocimientos con respecto a estudiantes formados mediante esquemas tradicionales.

Agradecimientos

A todos los colaboradores en este proyecto. Gracias por su tiempo y sus conocimientos aportados para el logro de los objetivos establecidos. También, gracias a la administración del I.T. de Chihuahua por su apoyo en la gestión del proyecto.

Información de financiación

Este proyecto fue financiado por el Tecnológico Nacional de México (TecNM) en el programa: “Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, 2024” con clave: 20225.24-P

Referencias

- Bhavanam, B. P. R., Ragam, P. (2023). Assessing the performance of Zigbee RF protocol using path loss models for IoT applications. *Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Computer Engineering and Communication Systems (ICACECS 2023)*, (18), 348-359. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-314-6_34.
- Blackridge Research & Consulting Global. *Top 10 Smart Meter Manufacturers*. Consultado el 20 de junio 2025. <https://www.blackridgeresearch.com/blog/list-of-global-top-smart-electric-electricity-gas-water-meter-companies-manufacturers-makers-suppliers-in-the-world>.
- Dholu M., Ghodinde K. A., (2018). Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application," *IEEE 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, Tirunelveli, India, 339-342, doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553720.
- DIGI, *what is Zigbee ?*. Consultado el 1º de julio 2025. <https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>.
- Farnell, Data Sheet "Raspberry Pi 3B+". Consultado el 31 de julio 2025) <https://www.farnell.com/datasheets/2911643.pdf>
- Frank R. (2000). *Understanding Smart Sensors*. Artech House.
- Geeksforgeeks.. *Firestore Introduction*. Consultado el 31 de julio 2025. <https://www.geeksforgeeks.org/firebase/firebase-introduction/>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press
- Gubbi J., Buyya R., Marusic S. y Palaniswami M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Hassan Q.F. (2018). *Internet of Things A to Z, Technologies and Applications*. IEEE press.
- Hopcroft, J. E., Motwani, R., & Ullman, J. D. (2006). *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation* (3rd ed.). Pearson
- Ittron inc., *Mitigating Non-Revenue Water: Strategies for Sustainable Water*. Consultado el 20 de junio 2025. <https://na.itron.com/documents/d/asset-library-120736/102028wp01-mitigating-nonrevenue-water>.

- Jena, M.C., Mishra, S.K. y Moharana H.S., (2019). Application of Industry 4.0 to enhance sustainable manufacturing. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 1-11. doi/10.1002/ep.13360
- Kamstrup, *Remote reading of smart meters*. Consultado el 20 de junio 2025. <https://www.kamstrup.com/en-en/submetering-solutions/property-management/meter-reading>.
- Khalifa S. A. S.A.H, Asif H.S, S., Mazhar H.S. A. Vikram S. A. y Rana A. (2020). *Smart Water Meter using Power Line Communication (PLC) Approach for measurements of Accurate Water Consumption and Billing Process*. 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), Noida, India. 1119-1122, DOI: 10.1109/ICRITO48877.2020.9197956.
- Lloret J., Tomas J., Canovas A., Parra L. (2016). An Integrated IoT Architecture for Smart Metering. *IEEE Communications Magazine* 54(12), 50-57. doi: 10.1109/MCOM.2016.1600647CM.
- López-Torres S., López-Torres H., Rocha-Rocha J., Butt A.S., Tariq I.M., Collazos-Morales C., y Piñeres-Espitia G., (2020). IoT Monitoring of Water Consumption for Irrigation Systems Using SEMMA Methodology. *Springer: International Conference on Intelligent Human Computer Interaction (IHCI). Lecture Notes in Computer Science*, (11886). 222–234. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44689-5_20.
- Maltais L.G. y Gosselin L. (2021). Predictability analysis of domestic hot water consumption with neural networks: From single units to large residential buildings. *Revista Energy*, (229), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120658>.
- Mekid S. (2006). Further structural intelligence for sensors cluster technology in manufacturing. *Sensor* (6), 557-577. <https://doi.org/10.3390/s6060557>.
- Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H. (2022). Impacts of the protective measures taken for the COVID-19 pandemic on water consumption and post meter leakages in public places. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(266), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09913-w>
- Murphy, K. P. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press.

- Perumal T., Sulaiman M. N. y Leong C. Y., (2015). Internet of Things (IoT) enabled water monitoring system," *IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Osaka, Japan, pp. 86-87, doi: 10.1109/GCCE.2015.7398710.
- Rivera-Mejía J. (2021). *Instrumentación: Bases para la Automatización Total*. Trillas.
- Rivera-Mejía J., Carrillo-Romero M. y Herrera-Ruiz G., (2013) "Self-Compensation to Build Reconfigurable Measurement Systems", *Instrumentation a Measurement Magazine*, 16(2), 10-19. DOI: 10.1109/MIM.2013.6495675
- Rondinel O. R.D. y Sarmiento-Pastor M.J. (2020). Water: consumption, usage patterns, and residential infrastructure. A comparative analysis of three regions in the Lima metropolitan area. *Water International*, 45(7-8), 1-23, DOI: 10.1080/02508060.2020.1830360
- Rucka J., Holesovsky J., Suchacek T., y Tuhovcak L.(2018). An Experimental Water Consumption Regression Model for Typical Administrative Buildings in the Czech Republic. *Water* 2, 10(4), 424-444; <https://doi.org/10.3390/w10040424>
- RUMTIME, Low-Power Wireless Communication: Choosing Between BLE, Zigbee, and LoRa. Consultado el 2 de junio 2025, <https://runtimerec.com/low-power-wireless-communication-choosing-between-ble-zigbee-and-lora/>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson
- TechTarget, *What is wireless communications? Everything you need to know*. Consultado el 10 de julio 2025. <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/wireless>
- Tuhovcak L., Suchacek T. y Rucka J. (2018) The Dependence of Water Consumption on the Pressure Conditions and Sensitivity Analysis of the Input Parameters. *Proceedings* 2018, 2(11), 592-601; <https://doi.org/10.3390/proceedings2110592>.
- United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, General Assembly. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- United Nations (2023), *The Sustainable Development Goals Report, Special edition*. DOI:<https://doi.org/10.18356/d3229fb0-en>
- United Nations (2023). *Our watershed moment: uniting the world for water, Vision statement UN 2023 Water Conference*, 22-24 March 2023, New York, UN Headquarters.

<https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021->

[11/Vision_Statement_UN2023_Water_Conference.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-11/Vision_Statement_UN2023_Water_Conference.pdf)

Xamarin. Forms (Cross Platform), Consultado el 17 de agosto 2024.

<https://www.javatpoint.com/xamarin-forms>

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Rivera-Mejía José
Metodología	Rivera-Mejía José.
Software	Principal: Mancinas-Hernández Pedro Apoya: Lozano-Rodríguez Jorge Gabriel Apoya: Morones-Báez Laura Liliana Apoya: Rivera-Mejía José
Validación	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Mancinas-Hernández Pedro Apoya: Lozano-Rodríguez Jorge Gabriel Apoya: Morones-Báez Laura Liliana
Análisis Formal	Rivera-Mejía José
Investigación	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,
Recursos	N/A
Curación de datos	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,
Escritura - Preparación del borrador original	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,
Escritura - Revisión y edición	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,
Visualización	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,
Supervisión	Principal: Rivera-Mejía José Apoya: Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,
Administración de Proyectos	Rivera-Mejía José
Adquisición de fondos	Quiñonez-Moreno Rocio Eduwiges,.