






Sistema de monitoreo LoRaWAN de consumo de agua LoRaWAN monitoring system for water consumption

J. P. Morales-Alvarez ^{a,*}, E. Cruz-Sánchez ^b, D. A. Hirales-Valles ^a, V. I. Rodríguez-Abdalá ^c, J. N. García-Verdugo ^a,
G. E. Vázquez-Morales ^a

^aDepartamento de Metalmecánica, Instituto Tecnológico de La Paz, 23080, La Paz, B.C.S., México.

^bDepartamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de La Paz, 23080, La Paz, B.C.S., México.

^cUniversidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones, 98000, Zacatecas, Zac., México.

Resumen

Este artículo muestra la implementación de un novedoso sistema de monitoreo remoto basado en el protocolo LoRaWAN, cuenta con una interfaz web en la cual un panel facilita la visualización de los datos del sensor de consumo de agua. La implementación incluye un microcontrolador ESP32 con radio LoRa como nodo, un sensor de flujo de agua conectado a la red hidráulica del Instituto Tecnológico de La Paz, la configuración de una estación base (Gateway LoRaWAN) basado en un Raspberry Pi que envía los datos al servidor de red The Things Stack y la plataforma ThingsBoard Cloud como servidor de aplicación. Se realizaron pruebas para observar el desempeño de la comunicación del sistema LoRaWAN en escenarios con obstáculos por infraestructura, los resultados de la intensidad de la señal recibida de los paquetes en distintas localizaciones de prueba muestran una alta resistencia a la interferencia y ruido, por lo que es posible ubicar nodos dentro y fuera de edificios en la Institución.

Palabras Clave: Gateway, LoRaWAN, The Things Stack, ThingsBoard, WSN.

Abstract

This article presents the implementation of an innovative remote monitoring system based on the LoRaWAN protocol. The system incorporates a user-friendly web interface, featuring a dashboard that enables the visualization of water consumption sensor data. The implementation involves utilizing an ESP32 microcontroller with LoRa radio as a node, connecting a water flow sensor to the hydraulic network of the Instituto Tecnológico de La Paz, configuring a base station (LoRaWAN Gateway) using a Raspberry Pi to transmit data to The Things Stack network server, and utilizing the ThingsBoard Cloud platform as the application server. To evaluate the performance of the LoRaWAN system communication in scenarios with infrastructure obstacles, several tests were conducted. The results demonstrate that the received signal strength of the packets remains highly robust in different test locations, exhibiting significant tolerance to interference and noise. Consequently, this system allows for the deployment of nodes both inside and outside buildings within the institution.

Keywords: Gateway, LoRaWAN, The Things Stack, ThingsBoard, WSN.

1. Introducción

Las aplicaciones de la Industria 4.0 que incluyen el Internet de las Cosas (IoT, del inglés Internet of Things) son un referente para el desarrollo de sistemas inteligentes de monitoreo, ya que el IoT es una red de dispositivos equipados para transmitir y recibir datos a corto o largo alcance pero con bajo consumo de energía, con la finalidad que los datos puedan ser consultados desde cualquier conexión a Internet por los usuarios. Las

redes IoT promueven el desarrollo sustentable de las ciudades, denominándose esto como ciudades inteligentes.

En el marco del desarrollo sustentable, en este proyecto se implementó un sistema IoT para el monitoreo del agua utilizado en el Instituto Tecnológico de La Paz, con la finalidad de que la Institución conozca el consumo en tiempo real e histórico, y con esta información recopilada se permita el desarrollo de estrategias de ahorro y sustentabilidad para este recurso.

*Autor para correspondencia: juan.ma@lapaz.edu.mx

Correo electrónico: juan.ma@lapaz.edu.mx (Juan Pablo Morales-Alvarez), 118310694@lapaz.edu.mx (Enrique Cruz-Sánchez), daniel.hv@lapaz.edu.mx (Daniel Armando Hirales-Valles), abdala@uaz.edu.mx (Viktor Iván Rodríguez-Abdalá), 119310180@lapaz.edu.mx (Juan Norberto García-Verdugo), gretel.v@lapaz.tecnm.mx (Gretel Elisa Vázquez-Morales).

El sistema de monitoreo utiliza el protocolo LoRaWAN, ya que es una arquitectura de red que permite a un solo Gateway interconectar miles de nodos de sensores o actuadores (Lavric y Popa, 2018). Proyectos encontrados en la literatura comprueban que LoRaWAN puede tener un alcance de comunicación de entre 3 y 5 kilómetros en zonas urbanas (MultiTech, 1995). LoRaWAN permite conectar sensores de bajo consumo de energía basados en baterías por largos periodos de tiempo sin necesidad de remplazo (Lavric y Popa, 2017b,a). Análisis de la literatura demuestra que hay resultados favorables en redes con escenarios a interiores y exteriores, ya sean a corto o largo alcance, tanto con obstáculos como en línea de vista (Haxhibeqiri *et al.*, 2018), (Zourmand *et al.*, 2019). El Gateway LoRaWAN utilizado para este proyecto fue el concentrador PG1301 de Dragino que permite configurar un Gateway multicanal en una placa Raspberry Pi (Dragino, 2010), (Raspberry-Pi, 2021). Como nodo sensor de flujo (caudalímetro) se configuró un microcontrolador ESP32 con radio LoRa del fabricante Heltec (Heltec, 2022).

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se describe el planteamiento del problema, algunos antecedentes de trabajos relacionados y el modelo de sistema. En la sección 3 se detalla la implementación del Gateway y el nodo sensor, se describen el servidor de red The Things Stack (TTS) (The-Things-Industries, 2021c) para integrar los datos y la plataforma ThingBoards Cloud (ThingsBoard, 2021) para monitoreo remoto. En la sección 4 se describen las pruebas de transmisión realizadas y los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se muestran las conclusiones del presente trabajo.

2. Planteamiento del problema

2.1. Análisis del problema

Actualmente se carece de un sistema que monitoree de forma remota el consumo de agua en el Instituto Tecnológico de La Paz. Considerando las dificultades de acceso y nula conexión a Internet, se plantea una red de sensores inalámbricos que sea escalable a medida de la necesidad y que sea de fácil interconexión. Este sistema comienza con el diseño e implementación de un sensor de flujo para una línea hidráulica específica que permita la consulta en tiempo real a través de un panel dentro de la plataforma ThingsBoard.

Los protocolos como Wi-Fi, 4G o las nuevas generaciones de red celular están orientadas al IoT, sin embargo, en estos protocolos la conectividad de los nodos obtiene un ancho de banda que no es aprovechable para las aplicaciones IoT, además que el consumo de energía es alto. El uso de redes celulares implica que cada nodo debe conectarse con su propio chip bajo suscripción, por lo que la escalabilidad no es viable económicamente. Con otros protocolos como el Bluetooth y Wi-Fi la cobertura se ve limitada y se requieren de dispositivos intermediarios o intervención del usuario con el sensor.

Por estas razones para la solución a la problemática planteada se propone el uso de protocolos de largo alcance y bajo consumo de potencia que se denominan Redes de Área Extensa de Baja Potencia (LPWAN, del inglés Low Power Wide Área Network). Las LPWAN (Haxhibeqiri *et al.*, 2018), (Lavric y Popa, 2017c,b) ofrecen distintas opciones de protocolos, algunas de ellas son:

- LoRaWAN
- Sigfox
- NB-IoT
- LTE-M

Los protocolos LTE-M y NB-IoT son bajo licencia por operadores de redes móviles. LoRaWAN y Sigfox usan la banda de radio sin licencia para uso industrial, científico y médico (ISM, del inglés Industrial, Scientific, and Medical), pero con dos restricciones: una en el número de paquetes enviados en el tiempo y otra en el tamaño del paquete. En el caso del protocolo Sigfox, este es un servicio de suscripción para el uso de la red, con la ventaja de que esta es desplegada por la compañía. Sin embargo, esta red aún no está disponible para acceso de manera universal, por lo que su cobertura es limitada a algunas regiones, de hecho, en la ciudad de La Paz, B.C.S., México no se puede utilizar, siendo esto una motivación para el estudio y el uso de LoRaWAN en este proyecto. Otras características se pueden observar en la Tabla 1 (Khalifeh *et al.*, 2019).

Tabla 1: Comparativa de Redes LPWAN.

	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT
Alcance rural	20 km	40 km	10 km
Alcance urbano	5 km	10 km	1 km
Tasa de datos	<50 kbps	<100 bps	200 kbps
Frecuencia	ISM	ISM	LTE
Seguridad	AES 128	AES 128	AES 256

LoRaWAN es un protocolo de largo alcance, de bajo consumo de energía y ofrece una arquitectura de red cuya infraestructura crece a medida que los usuarios despliegan gateways (GWs). En este proyecto se llevaron a cabo una serie de pruebas de conectividad en una zona urbana con el fin de demostrar la cobertura del protocolo en un espacio con obstáculos, y con ello probar la viabilidad del sistema propuesto. Para la visualización de los paquetes de datos por parte del usuario se utilizó la plataforma ThingsBoard Cloud.

2.2. Antecedentes

Con LoRaWAN, la cobertura de la red depende del usuario, ya que es a través de los GWs que los mismos usuarios van configurando en servidores de red como The Things Stack que se permite interconectar miles de sensores, y con esto aumenta la escalabilidad de la red. El tamaño del paquete de datos puede variar desde 11 hasta 250 bytes. La Figura 1 muestra la arquitectura de LoRaWAN.

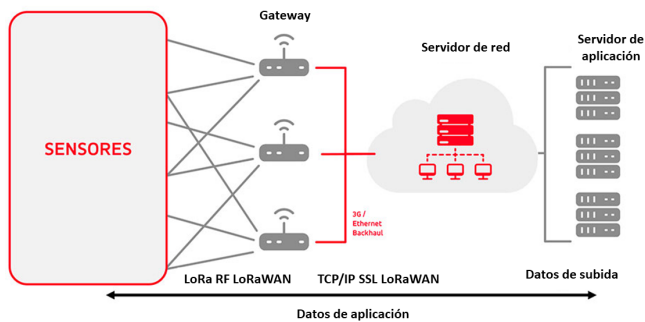


Figura 1: Arquitectura LoRaWAN.

Existen diversos tipos de aplicaciones IoT elaborados por la comunidad científica con el fin de ofrecer soluciones prácticas. Algunos casos encontrados en el estado del arte se comentan a continuación: en Zhang *et al.* (2019) los autores diseñaron un sistema que monitorea la temperatura y humedad del suelo con nodos que transmiten los datos capturados a un GW conectado vía NB-IoT. La arquitectura de sus nodos y del GW se basa en el microcontrolador STM32F103ZET6 de ST Company. El escenario fue una zona urbana, en la que se obtuvieron resultados de comunicación en una distancia de hasta 1.6 km con un consumo de 2 mA por sus nodos, y una tasa de pérdida de paquetes de aproximadamente 3 %.

Otro diseño de sistema muestra el monitoreo de motores de inducción (Cano y Sánchez, 2019). En este, se implementó una red con GWs de la familia LG0 y OLG0 de Dragino Systems, estos son sólo recomendados para uso privado, ya que según el modelo soportan uno o dos canales, y se limitan para redes de 50 a 300 sensores. Utilizan los radios LoRa SX1276/SX1278, Ethernet y Wi-Fi. En este sistema los sensores se encuentran al interior de un complejo de edificios lo que demuestra la comunicación en interiores y exteriores. Los autores concluyeron que LoRaWAN fue la solución para medir el desempeño de los motores. La intensidad de la señal recibida (RSSI, del inglés Received Signal Strength Indicator) se mantuvo entre -58 y -98 dBm y la tasa de entrega de datos entre 71 y 82 %.

Un sistema de monitoreo de ganado (Pham *et al.*, 2017), utilizó collares de monitoreo con radios LoRa que envían los mensajes. Tanto el GW como los collares fueron diseñados por los autores, por lo que se omiten detalles de los módulos y componentes de hardware, pero se menciona que el GW soporta almacenamiento de datos, manteniendo la información incluso si pierde conectividad a Internet y permite que usuarios con privilegios puedan conectarse con el vía Wi-Fi o Bluetooth. El GW incluye banco de baterías alimentado por paneles solares.

Dentro de los proyectos en el ámbito de la salud, en Hayati y Suryanegara (2017), los autores presentaron un sistema de monitoreo de personas con enfermedades mentales. El objetivo principal fue la ubicación de los pacientes en tiempo real, previniendo con ello accidentes por desorientación. Los sensores se basaron en la placa Arduino UNO con Dragino LoRa Shield, GPS y módulo Wi-Fi. El proyecto contó con GWs en hospitales y zonas públicas para mantener la cobertura de conexión con los sensores. En este proyecto se accede a los datos a través de una aplicación móvil.

En un proyecto elaborado en Asia University (Hsieh *et al.*,

2020), implementaron un nodo basado en el microcontrolador Arduino MEGA2560 con un módulo LoRa para el envío de datos de la calidad del agua: temperatura, conductividad, pH y unidades de turbidez nefelométricas (NTU, del inglés Nephelometric Turbidity Units) de un estanque ecológico a un GW basado en Raspberry Pi. Los autores concluyen que los datos pueden ser monitorizados a través de una página web y que la información puede mejorar la producción de peces y la calidad del agua para uso en agricultura.

Se implementó un sistema de monitoreo de calidad del agua y aire en un campus de la Tunghai University (Hsieh *et al.*, 2020), con nodos desarrollados con el microcontrolador Renesas RX64M. El sensor de calidad de aire utilizado fue el PMS5003T. Para la medición de las variables de la calidad del agua seleccionaron un sensor que midiera el pH, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad. En la colecta de los datos de los sensores se utilizó un GW LoRa Gateway modelo LG-S201HEVB. Finalmente los datos fueron desplegados con Grafana como servidor de aplicación.

En Alghamdi *et al.* (2022), los autores proponen un modelo para monitoreo de agua y detección de fugas para un complejo residencial, el cual fue simulado mediante OMNet++ (del inglés, Objective Modular Network Testbed in C++), simulador abierto de sistemas y redes. En este utilizaron el framework FLoRa que permite simular redes LoRaWAN. Los resultados muestran que un entorno de 1 km² se tiene el 100 % de paquetes recibidos, y en un entorno de 25 km² la tasa de entrega baja a 88 %. Cabe mencionar que en su simulación incluyeron una electroválvula que automáticamente cerraba el paso de agua al detectar fuga, adicionalmente el sistema envía un mensaje al usuario.

2.3. Protocolo LoRaWAN

La arquitectura LoRaWAN se basa en una topología estrella de estrellas en el cual se conectan los nodos finales, GWs y servidores de red. Cada nodo hace llegar sus mensajes a los servidores a través de los GWs. Un GW puede decodificar 10 transmisiones simultáneas en distintos canales y distintas tasas de modulación. El GW envía sus mensajes mediante Internet al servidor de red (Lavric y Popa, 2017b,a), (Wixted *et al.*, 2016). LoRaWAN ofrece las siguientes características a los sensores:

- Gestión de canales.
- Tasa de transmisión adaptativa (ADR, del inglés Adaptive Data Rate).
- Ahorro de energía.
- Protocolo de seguridad basado en AES de 128 bits.
- La seguridad en la red se garantiza mediante la autenticación de los sensores.
- La seguridad en las aplicaciones implica que el operador de la red no puede acceder a los datos de la aplicación del usuario.
- LoRaWAN permite la geolocalización de los sensores (Haxhibeqiri *et al.*, 2018), (Ertürk *et al.*, 2019).

Los parámetros regionales establecidos para la banda ISM 902-928 MHz (América) indican una posible carga útil entre los 11-222 bytes, con una tasa de transmisión entre 980 bps a 21.9 kbps y que dependerá del factor de esparcimiento (SF, del inglés Spreading Factor) así como del ancho de banda del canal (BW, del inglés Bandwidth) (The-Things-Industries, 2021b), (LoRa-Alliance, 2020). La modulación de LoRa esta basada en el espectro disperso por chirp (CSS, del inglés Chirp Spread Spectrum) con seis SF (del 7 al 12) con los cuales se establece el número de chirps a utilizar para codificar un símbolo. El BW disponible varía de acuerdo al SF: 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz. El conjunto de estas características de LoRaWAN le dan una alta resistencia a interferencias y al desvanecimiento multi-tractoria.

Los nodos en LoRaWAN pueden comunicarse bidireccionalmente, de acuerdo a diferentes requisitos para su uso dentro de la red por lo que se pueden encontrar en una de las 3 clases siguientes:

- Clase A, se basa en el protocolo ALOHA y es la configuración de mayor ahorro de energía.
- Clase B, para nodos que además de sensores utilizan actuadores, esta clase permite abrir ventanas de recepción a intervalos de tiempo previamente programados, esto incrementará el consumo de energía, sin embargo sigue siendo una opción viable para nodos energizados con baterías.
- Clase C, si el ahorro de energía del nodo no es prioridad, en esta estrategia se puede estar recibiendo datos continuamente.

El protocolo LoRaWAN utiliza el ADR para asegurar que los nodos se reconfiguren dinámicamente de acuerdo a las condiciones del canal y como resultado de ello incrementa la duración de la carga de las baterías. El servidor de red es el encargado de realizar esta evaluación y determinar la configuración que optimiza la transmisión de mensajes en la red, sin embargo, sólo la realiza a petición de los nodos, son estos quienes activan el bit ADR en las transmisiones. El nodo debe ser capaz de identificar si se encuentra en movilidad y si las condiciones del canal son lo suficientemente estables para entonces hacer la petición de ADR al servidor de red. El servidor de red realiza mediciones constantes en la red sobre: el contador de tramas, la relación señal a ruido (SNR, del inglés Signal-to-Noise Ratio), y el número de GWs que han recibido el mismo mensaje de un nodo (Haxhibeqiri *et al.*, 2018), (Ertürk *et al.*, 2019), (The-Things-Industries, 2021a). Un nodo con un buen enlace de red, puede desactivar su bit de solicitud de ADR y usar una tasa de transferencia más alta, ocupar menos el canal y permitir que otros nodos envíen paquetes (Ertürk *et al.*, 2019).

2.4. Modelo de sistema

Este sistema IoT de monitoreo de consumo de agua permite que el usuario se conecte desde cualquier sitio con Internet a la plataforma ThingsBoard Cloud y observar los datos enviados por el sensor, pudiendo ver información en tiempo real o histórica. En esta conexión entre usuario y ThingsBoard Cloud el protocolo de la aplicación es HTTPS (del inglés Hypertext

Transfer Protocol). Thingsboard Cloud accede continuamente a los datos del servidor de red TTS utilizando el protocolo MQTT (del inglés, Message Queuing Telemetry Transport). TTS recibe los datos enviados por el GW mediante TCP/IP SSL, y el GW los recibe de los sensores a través de LoRaWAN. La Figura 2 muestra el modelo general del proyecto.

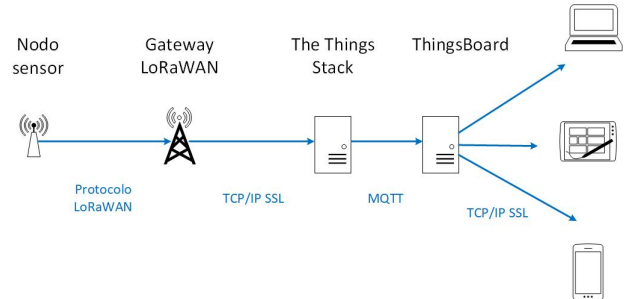


Figura 2: Diagrama general del proyecto.

The Things Stack es una red IoT LoRaWAN global y abierta que crece con los GW que los usuarios van desplegando y configurando en ella (The-Things-Industries, 2021c). Por otra parte, ThingsBoard Cloud facilita al usuario acceder a la información de los sensores con ayuda de interfaces gráficas. Esta plataforma permite configurar alarmas para recibir alertas vía email o mensajes de texto vía Telegram (ThingsBoard, 2021). El trabajo presentado en este artículo es parte de un proyecto que tiene como objetivo implementar un sistema IoT LoRaWAN para el monitoreo de variables de interés en el Instituto Tecnológico de La Paz.

3. Desarrollo e implementación

La implementación de este sistema IoT LoRaWAN incluye un nodo sensor utilizando un microcontrolador ESP32 con radio SX1262 LoRa de Heltec (Heltec, 2022) que recibirá los datos de un caudalímetro modelo YF-DN50, un gateway LoRaWAN basado en Raspberry Pi y el concentrador PG1301 de Dragino (Dragino, 2010), TTS como servidor de red y ThingsBoard como servidor de aplicación, la Figura 3 muestra el modelo de sistema de este proyecto.

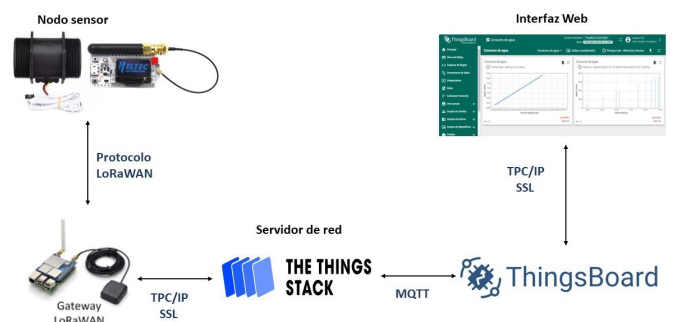


Figura 3: Diagrama del modelo del sistema.

3.1. Sensor

En el diseño e implementación del sensor se utilizó Heltec LoRaWAN 32, que es una plataforma de desarrollo que cuenta

radio LoRa, Wi-Fi y Bluetooth. Su procesador es un ESP32 de doble núcleo de 32 bits. Ofrece 22 puertos de propósito general. El lenguaje de programación que es C y es programable en la IDE de Arduino. Para las características de conectividad LoRaWAN, el Heltec LoRaWAN 32 utiliza la banda de 915 MHz con una potencia máxima de $19\text{dB} \pm 1\text{dBm}$ y es configurable como nodo clase A y clase B. El nodo para este proyecto se configuró como clase A para conectarse a la red LoRaWAN mediante activación inalámbrica (OTAA, del inglés Over The Air Activation) y así enviar la lectura de volumen de agua.

3.2. Gateway

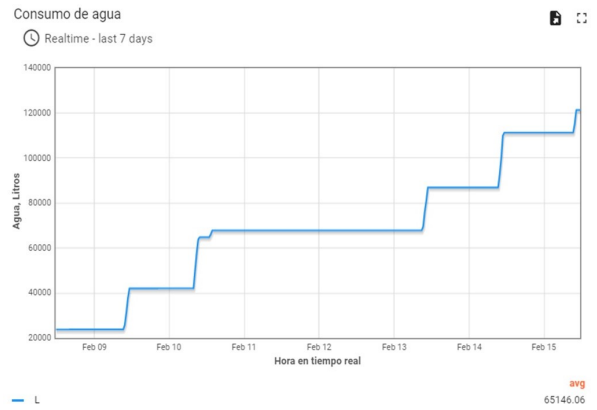
La placa Raspberry Pi 3 B+ es una microcomputadora que cuenta con un procesador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bits SoC con una frecuencia de 1.4 GHz, 1 GB de RAM, con conectividad Wi-Fi en la bandas 2.4 GHz y en la 5 GHz, Bluetooth, puertos USB, HDMI, fuente de alimentación de 5V/2.5A CD (Raspberry-Pi, 2021). El PG1301 de Dragino es un transmisor/receptor multicanal que permite escuchar hasta 5000 nodos por Km^2 ofreciendo hasta -142.5 dBm de sensibilidad de recepción (Dragino, 2010). Se utilizó para la banda 902-928 MHz debido al plan de frecuencias de TTS.

3.3. Servidor de red: The Things Network

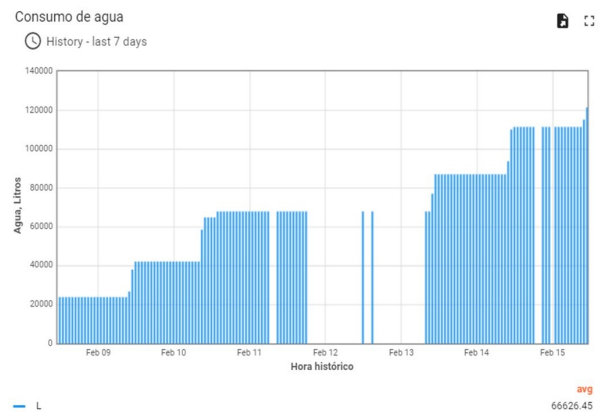
El Gateway y el nodo sensor se registran en TTS. El sensor se registró como Heltec-caudalimetro y una vez establecida las contraseñas de seguridad con el servidor de red, es capaz de enviar los datos del sensor de flujo a través del GW.

3.4. Servidor de aplicación: ThingsBoard Cloud

ThingsBoard Cloud es un servidor de aplicación que utiliza MQTT para conectar con TTS y obtener los datos del sensor de flujo. Una vez obtenido los datos, estos se muestran referenciados al nombre que se le asignó previamente en TTS. Se configuró un panel en ThingsBoard Cloud para el monitoreo en tiempo real del sensor mediante un par de gráficas como se muestra en la Figura 4.



(a) Gráfica de consumo en tiempo real



(b) Gráfica de consumo histórico

Figura 4: Gráficas de los datos en ThingsBoard Cloud.

4. Pruebas y resultados

El escenario del proyecto consistió en un GW colocado en una torre de reflectores de la pista de atletismo del Instituto, a una altura de 22 m. Un sensor de flujo fue puesto a prueba en 5 lugares diferentes, estratégicamente a una altura de 1 metro y medio del suelo para la transmisión del nodo y a través de TTS monitorear los parámetros RSSI, SNR y SF.

Los datos recopilados se muestran en la Tabla 2, donde se observa que la RSSI del nodo disminuye cuando su distancia con el GW es mayor. Como se ve en el caso de la medición 1, que fue a 383 m en exterior y con obstáculos de edificios obteniéndose -91 dBm de RSSI. En la medición 3 la RSSI llegó a -90 dBm , aunque la distancia fue de 277 m, pero al interior de un edificio.

La medición 2 y 4 fueron al exterior, muestran una RSSI de -82 y -81 dBm respectivamente, pero la medición 2 fue a 345 m con obstáculos y la medición 4 a 235 m en línea de vista. Por último la medición 5 muestra 180 m con edificios como obstáculos y el RSSI llegó a -73 dBm . Los valores SNR del nodo disminuyeron conforme la distancia aumentó y en el caso de la medición 3 al interior del edificio, llegó a -0.8 dBm .

En todos los casos la SF fue de 7, es de esperar que este valor se ajuste a un número mayor si se deja el nodo enviando paquetes el tiempo suficiente para que el servidor de red ejecute su mecanismo de ADR. Debido a las características del experimento, las ubicaciones no fueron idóneas para dejar ejecutando

el nodo sin supervisión, solo se buscó comprobar la conectividad entre nodo y GW bajo ciertos escenarios de obstáculos e interferencias.

Debido a que el GW tiene hasta -142.5 dBm de sensibilidad hay margen para alejar los nodos sensores al exterior o colocarlos dentro de edificios. Lo anterior muestra la resistencia a las interferencias y la capacidad LoRaWAN para que el GW pueda recuperar el mensaje del nodo.

Tabla 2: Mediciones de la señal recibida.

Posición	Distancia(m)	SNR(dBm)	RSSI(dBm)	SF
1	383	0.2	-91	7
2	345	5.8	-82	7
3	277	-0.8	-90	7
4	235	6.2	-81	7
5	180	9.2	-73	7



Figura 5: Ubicación del nodo sensor y gateway.

Después de realizar las pruebas, el sensor caudalímetro fue colocado a una altura aproximada de 1 m dentro de un edificio, en su ubicación se encuentra la bomba eléctrica que alimenta uno de los principales circuitos hidráulicos del Instituto. De esta forma se puede medir el consumo de agua y obtener información que permita diseñar estrategias de ahorro y cuidado del agua.

La Figura 5 muestra la ubicación del caudalímetro, desde este y hacia el GW hay un ángulo de inclinación de aproximadamente 5.6°, lo que nos da una distancia aproximada de 246 m con obstáculos de edificios y árboles.

En las lecturas en TTS se comprobó que el RSSI de los mensajes recibidos en el GW se encuentran en el rango de -100 a -101 dBm, ya que el GW tiene hasta -142.5 dBm, la ubicación del sensor no representa un problema para el envío de los datos a pesar de la distancia y los obstáculos por infraestructura.

5. Conclusiones

Una de las características de LoRaWAN es su cobertura de largo alcance en zonas urbanas y rurales, como indica la literatura lográndose enlaces de hasta 20 km (Khalifeh *et al.*, 2019), este estudio se enfocó en la característica de inmunidad al ruido e interferencias por obstáculos. Con las pruebas realizadas

se concluyó que es factible el desarrollar e implementar el sistema IoT LoRaWAN para el monitoreo de consumo de agua en el Instituto. El protocolo LoRaWAN es una alternativa eficiente para el envío de datos en escenarios con obstáculos por infraestructura y de largas distancias, por lo que permite instalar sensores al interior y exterior de edificios y con un solo GW para recibir los datos.

Este sistema IoT brinda escalabilidad, dadas las características del protocolo un mayor número de sensores de interés podrán ser instalados y administrados por un único GW. Como trabajo futuro se desea implementar sensores que permitan medir la eficiencia energética, el nivel de agua en tanques y cisternas, sensores de gas y temperatura en laboratorios. Con ello ofrecer información que permite establecer propuestas de mejora en el consumo del agua y la energía, favoreciendo el desarrollo de estrategias para el desarrollo sustentable del ITLP.

6. Agradecimientos

Agradecemos a la dirección del Instituto Tecnológico de La Paz por todo el apoyo brindado para poder llevar a cabo este trabajo que forma parte del Proyecto: Sistema IoT LoRaWAN para el Instituto Tecnológico de La Paz, registrado ante el Tecnológico Nacional de México con clave Clave 14638.22-P.

Referencias

- Alghamdi, A. M., Khairullah, E. F., y mojamad, M. M. A. (2022). Lorawan performance analysis for a water monitoring and leakage detection system in a housing complex. *Sensors*, 22.
- Cano, A. y Sánchez, F. (2019). Monitoring of the efficiency and conditions of induction motor operations by smart meter prototype based on a lora wireless network. *Electronics*, 8(9).
- Dragino (2010). 10 channels - lorawan gps concentrator for raspberry pi.
- Ertürk, M. A., Aydın, M. A., Büyükakkaşlar, M. T., y Evirgen, H. (2019). A survey on lorawan architecture, protocol and technologies. *Future Internet*, 11(10).
- Haxhibeqiri, J., Poorter, E. D., Moerman, I., y Hoebeke, J. (2018). A survey of lorawan for iot: From technology to application. *Sensors*, 18(11).
- Hayati, N. y Suryanegara, M. (2017). The iot lora system design for tracking and monitoring patient with mental disorder. *En 2017 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Commnetsat)*, pp. 135–139.
- Heltec (2022). Wifi lora 32 (v3).
- Hsieh, C. W., Wang, C. C., Tsai, Y. J., Chang, W. T. S., y Stefanie, C. (2020). The preliminary design of water quality monitor system for the ecological pond based on lorawan. pp. 365–367. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Khalifeh, A., Aldahdouh, K. A., Darabkh, K. A., y Al-Sit, W. (2019). A survey of 5g emerging wireless technologies featuring lorawan, sigfox, nb-iot and lte-m. *En 2019 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, pp. 561–566.
- Lavric, A. y Popa, V. (2017a). Internet of things and lora™ low-power wide-area networks: A survey. *En 2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, pp. 1–5.
- Lavric, A. y Popa, V. (2017b). A lorawan: Long range wide area networks study. *En 2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN)*, pp. 417–420.
- Lavric, A. y Popa, V. (2017c). Lora™ wide-area networks from an internet of things perspective. *En 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, pp. 1–4.
- Lavric, A. y Popa, V. (2018). Performance evaluation of lorawan communication scalability in large-scale wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.
- LoRa-Alliance (2020). Lorawan regional parameters.
- MultiTech (1995). Multitech conduit.

- Pham, C., Ferrero, F., Diop, M., Lizzi, L., Dieng, O., y Thiaré, O. (2017). Low-cost antenna technology for lpwan iot in rural applications. En *2017 7th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWA-SI)*, pp. 121–126.
- Raspberry-Pi (2021). Raspberry pi.
- The-Things-Industries (2021a). Adaptive data rate.
- The-Things-Industries (2021b). Frequency plans.
- The-Things-Industries (2021c). The things stack.
- ThingsBoard (2021). Thingsboard cloud.
- Wixted, A. J., Kinnaird, P., Larijani, H., Tait, A., Ahmadinia, A., y Strachan, N. (2016). Evaluation of lora and lorawan for wireless sensor networks. En *2016 IEEE SENSORS*, pp. 1–3.
- Zhang, X., Zhang, M., Meng, F., Qiao, Y., Xu, S., y Hour, S. (2019). A low-power wide-area network information monitoring system by combining nb-iot and lora. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(1):590–598.
- Zourmand, A., Kun Hing, A. L., Wai Hung, C., y Abdul Rehman, M. (2019). Internet of things (iot) using lora technology. En *2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, pp. 324–330.