



Diseño y desarrollo de un prototipo de medición inteligente de agua y energía eléctrica conectados mediante LoRa / LoRaWAN, que permitan la lectura remota y precisa de consumos, logrando una reducción en los errores de facturación y permitan realizar una gestión eficiente de los servicios en instalaciones residenciales y comerciales.

Méndez Tierra, Kevin Steven y Tupiza Quimbiulco, Angelo Javier

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

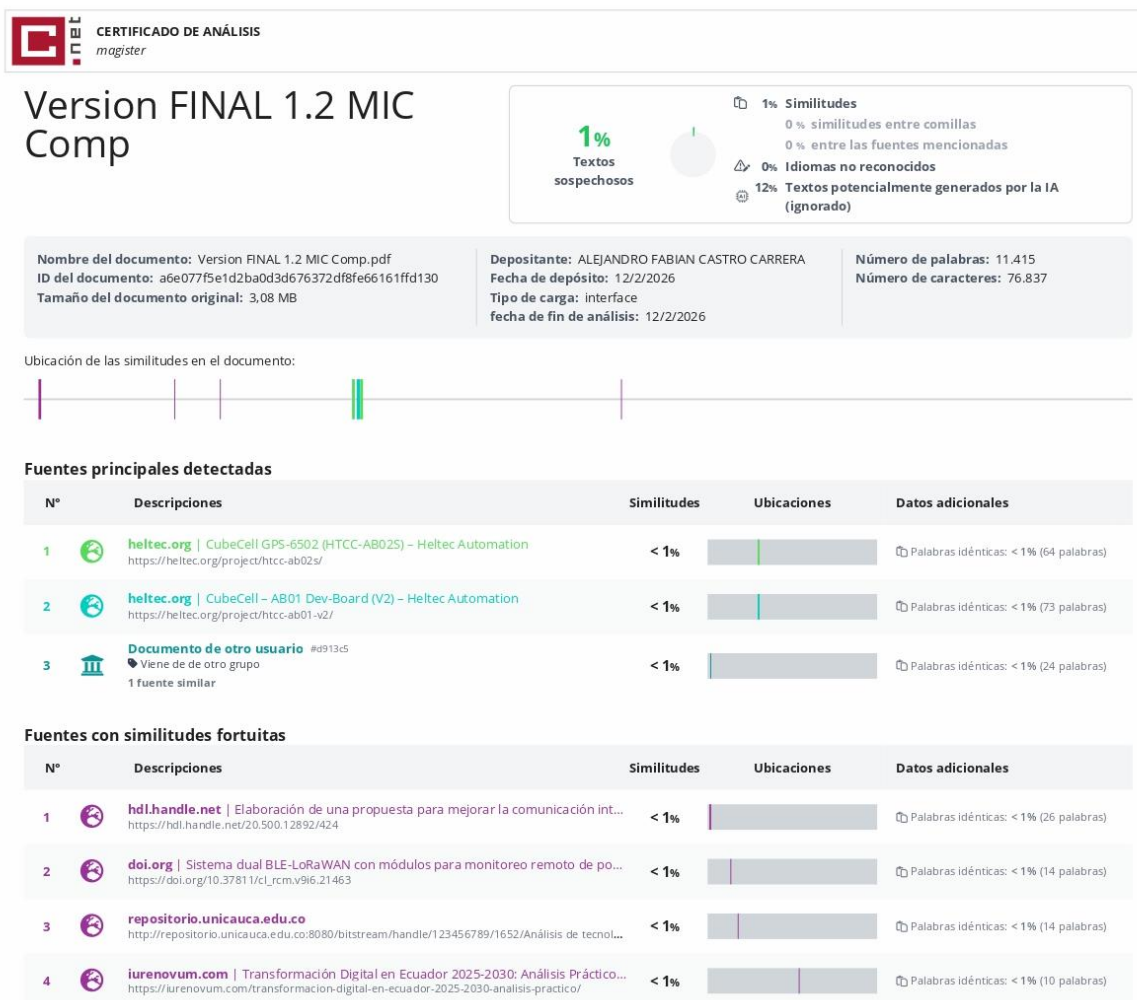
Carrera de Telecomunicaciones

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

Ing. Castro Carrera, Alejandro Fabián Msc.

10 de marzo del 2026



Ing. Castro Carrera, Alejandro Fabian Msc.

Director



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseño y desarrollo de un prototipo de medición inteligente de agua y energía eléctrica conectados mediante LoRa / LoRaWAN, que permitan la lectura remota y precisa de consumos, logrando una reducción en los errores de facturación y permitan realizar una gestión eficiente de los servicios en instalaciones residenciales y comerciales.”** fue realizado por los señores **Méndez Tierra, Kevin Steven y Tupiza Quimbiulco, Angelo Javier**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de marzo del 2026

Ing. Castro Carrera, Alejandro Fabian Msc.

Director

C.C.: 1711046969



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Méndez Tierra, Kevin Steven y Tupiza Quimbiulco, Angelo Javier**, con cédulas de ciudadanía n°1725175101 y n°1727972711, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño y desarrollo de un prototipo de medición inteligente de agua y energía eléctrica conectados mediante LoRa / LoRaWAN, que permitan la lectura remota y precisa de consumos, logrando una reducción en los errores de facturación y permitan realizar una gestión eficiente de los servicios en instalaciones residenciales y comerciales**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de marzo del 2026

Méndez Tierra, Kevin Steven
C.C.: 1725175101

Tupiza Quimbiulco, Angelo Javier
C.C.: 1727972711



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Autorización de Publicación

Nosotros **Méndez Tierra, Kevin Steven y Tupiza Quimbiulco, Angelo Javier**, con cédulas de ciudadanía n°1725175101 y n°1727972711, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: Título: **Diseño y desarrollo de un prototipo de medición inteligente de agua y energía eléctrica conectados mediante LoRa / LoRaWAN, que permitan la lectura remota y precisa de consumos, logrando una reducción en los errores de facturación y permitan realizar una gestión eficiente de los servicios en instalaciones residenciales y comerciales**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de marzo del 2026

Méndez Tierra, Kevin Steven
C.C.: 1725175101

Tupiza Quimbiulco, Angelo Javier
C.C.: 1727972711

Dedicatoria

A mis padres Luis y Blanca, pilares de mi vida, a quienes con su apoyo y su esfuerzo incondicional han sido fundamentales en esta etapa de mi vida, brindándome fortaleza, la dedicación y la constancia para alcanzar mis metas.

Kevin Steven Méndez Tierra

A mi padre Angel y a mis abuelitos Daniel y Magdalena.

Siempre creyeron en mí, me acompañaron y me levantaron cuando más lo necesité. Su amor y su ejemplo fueron el verdadero impulso detrás de cada paso que di hasta alcanzar esta meta.

Angelo Javier Tupiza Quimbiulco

Agradecimiento

Agradezco a Dios, así como a todas las personas que fueron parte a lo largo de toda mi carrera universitaria, aportando de manera académica y personal en mi vida.

A mis padres que con su esfuerzo y apoyo incondicional me guiaron para que pueda alcanzar mis objetivos profesionales, a mis hermanos por ser una gran compañía y apoyo a lo largo de este camino universitario.

Al Ing. Alejandro Castro, tutor de este proyecto, por su orientación, guía y compromiso con este proyecto de integración curricular, en el cual su experiencia y apoyo fueron de gran ayuda para culminar con los objetivos planteados.

Kevin Steven Méndez Tierra

Agradezco en primer lugar a Dios por concederme la salud y la claridad mental necesarias para completar este trabajo de integración curricular.

A mi padre, mi mayor ejemplo a seguir, quien siempre me ha apoyado incondicionalmente y ha hecho todo lo posible, incluso sacrificándose para que pudiera alcanzar esta meta. Su amor y dedicación han sido el pilar fundamental que me permitió culminar con éxito esta etapa universitaria.

A mis abuelitos, hermanos y a toda mi familia, por regalarme su amor incondicional, por creer en mí incluso en los momentos más oscuros y difíciles. Su confianza y su respaldo constante han sido la fuerza que me impulsó a superar cada obstáculo en este camino.

A mi querida Daniela, mi compañera inseparable, por su paciencia infinita, su comprensión en los días de estrés, sus palabras de ánimo y por estar a mi lado en cada paso de este proceso.

Finalmente, a mis amigos Matheo, Rashel, Kevin y Katherine: gracias por sus palabras de aliento, por su ayuda desinteresada, por los momentos de estudio compartido y también por las distracciones necesarias que me recargaban de energía. Su compañía y motivación fueron clave para seguir adelante cuando más lo necesitaba en esta etapa universitaria.

Angelo Javier Tupiza Quimbiulco

Índice General

Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Resumen	14
Abstract	15
Capítulo 1 Introducción General	16
Contexto de la Problemática	16
Planteamiento del problema	17
Justificación y relevancia social	18
Objetivos	19
Alcance y delimitación	19
Capítulo 2 Marco Teórico	20
Fundamentos del Internet de las Cosas	20
Tecnologías LPWAN y evolución de LoRa/LoRaWAN	21
Arquitectura y comunicación en LoRaWAN	22
Seguridad, interoperabilidad y escalabilidad en redes IoT	23
Modelos de gestión de datos y plataformas cloud	24
Impacto socioambiental y contribución a los ODS	24
Base de datos NO RELACIONAL	25
Realtime Database Firebase.....	25
Interfaz Web Node-RED	26
Sensor FS300A tipo Hall.....	27
Módulo LoRa CubeCell HTCC-AB02	29
Sensor PZEM-004T V3.0	31
Gateway Dragino LPS8N	33
Servidor Raspberry Pi 5	35
Convertidor de nivel lógico bidireccional de 4 canales	36
DC-DC 5V Regulador y Cargador de Sobrealimentación	38
Capítulo 3 Estado del Arte	40
Capítulo 4 Metodología y Desarrollo	47
Enfoque metodológico	47
Arquitectura General	49
Diseño e Implementación de Nodos	50

Diseño Nodo de Agua.....	52
<i>Proceso de Calibración del sensor</i>	52
<i>Conversión de Niveles de Señal</i>	53
Diagramas del Nodo de Agua.....	54
Diseño Nodo de Energía Eléctrica	56
Diagramas del Nodo de Energía Eléctrica	57
Gateway LoRaWAN	58
Servidor LoRaWAN.....	61
Plataforma de gestión y Dashboard	63
Aplicación Móvil	67
Implementación Física de NODOS.....	69
Diseño de Placas PCB	69
Nodo de Agua	71
Nodo de Energía Eléctrica.....	72
Capítulo 5 Resultados	72
Consumo de agua con el medidor convencional	72
Consumo de agua con el Nodo Implementado	73
Análisis de resultados del consumo de agua.....	74
Consumo de energía eléctrica con el medidor convencional.....	76
Consumo de energía eléctrica con el Nodo Implementado	77
Análisis de resultados del consumo energético	78
Análisis de Gastos y Presupuesto	80
Gateway LoRaWAN.....	80
Concentrador de Servicios IoT.....	81
Nodo LoRaWAN de Agua	82
Nodo LoRaWAN de Energía Eléctrica	83
Costo Global del Proyecto	84
Conclusiones	84
Bibliografía	86
Apéndices	93

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Especificaciones técnicas del sensor FS300A</i>	28
Tabla 2	<i>Especificaciones técnicas del módulo LoRa</i>	29
Tabla 3	<i>Especificaciones técnicas del sensor PZEM-004T</i>	31
Tabla 4	<i>Especificaciones técnicas del gateway LPS8N</i>	34
Tabla 5	<i>Especificaciones técnicas del raspberry PI 5</i>	35
Tabla 6	<i>Especificaciones técnicas del regulador y cargador</i>	39
Tabla 7	<i>Comparación cualitativa de tecnologías LPWAN</i>	46
Tabla 8	<i>Especificaciones técnicas del nodo de agua</i>	53
Tabla 9	<i>Especificaciones técnicas del nodo de energía eléctrica</i>	56
Tabla 10	<i>Bloques funcionales en NODE-RED</i>	66
Tabla 11	<i>Consumos del medidor de agua convencional</i>	72
Tabla 12	<i>Consumos del nodo de agua implementado</i>	73
Tabla 13	<i>Comparativa del consumo hídrico</i>	74
Tabla 14	<i>Consumos del medidor de luz convencional</i>	76
Tabla 15	<i>Consumos del nodo de energía eléctrica implementado</i>	77
Tabla 16	<i>Comparativa del consumo energético</i>	78
Tabla 17	<i>Presupuesto gateway LoRa</i>	81
Tabla 18	<i>Presupuesto concentrador de servicios</i>	81
Tabla 19	<i>Presupuesto nodo de agua</i>	82
Tabla 20	<i>Presupuesto nodo de energía eléctrica</i>	83
Tabla 21	<i>Inversión total del proyecto</i>	84

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Database FIREBASE</i>	26
Figura 2 <i>Interfaz Node-RED</i>	26
Figura 3 <i>Sensor Hídrico</i>	27
Figura 4 <i>Módulo LoRa CubeCell</i>	29
Figura 5 <i>Sensor PZEM</i>	31
Figura 6 <i>Gateway Dragino</i>	33
Figura 7 <i>Servidor Raspberry PI</i>	35
Figura 8 <i>Convertidor Lógico</i>	37
Figura 9 <i>Especificaciones técnicas del convertidor lógico</i>	37
Figura 10 <i>Regulador y Cargador 5V</i>	39
Figura 11 <i>Comparativa técnica de tecnologías LPWAN</i>	47
Figura 12 <i>Arquitectura IoT-LoRaWAN del sistema</i>	49
Figura 13 <i>Pantalla OLED nodo eléctrico</i>	51
Figura 14 <i>Pantalla OLED nodo de agua</i>	51
Figura 15 <i>Proceso de calibración del sensor FS300A</i>	52
Figura 16 <i>Diagrama de bloques del nodo de agua</i>	54
Figura 17 <i>Diagrama de conexiones del nodo de agua</i>	55
Figura 18 <i>Diagrama de bloques del nodo de energía eléctrica</i>	57
Figura 19 <i>Diagrama de conexiones del nodo de energía eléctrica</i>	58
Figura 20 <i>Interfaz web del gateway</i>	59
Figura 21 <i>Configuraciones primarias del gateway</i>	60
Figura 22 <i>Tráfico de datos en el gateway</i>	61
Figura 23 <i>Gateway y nodos registrados en el servidor</i>	62
Figura 24 <i>Nodos registrados en node-red</i>	63
Figura 25 <i>Dashboard de administrador</i>	64
Figura 26 <i>Ventana de resumen FIREBASE</i>	65

Figura 27 <i>Datos almacenados en Realtime Database</i>	66
Figura 28 <i>Plataforma de consulta de datos (android studio)</i>	68
Figura 29 <i>Interfaz de la aplicación</i>	69
Figura 30 <i>Placa esquemática PCB nodo de agua</i>	70
Figura 31 <i>Placa esquemática PCB nodo de energía eléctrica</i>	71
Figura 32 <i>Vistas físicas del nodo de agua</i>	71
Figura 33 <i>Vistas físicas del nodo de energía eléctrica</i>	72
Figura 34 <i>Patrón del consumo de agua</i>	76
Figura 35 <i>Patrón del consumo de energía eléctrica</i>	80

Resumen

El presente proyecto aborda el desarrollo e implementación de un sistema de medición inteligente de recursos hídricos y eléctricos, basado en la tecnología de comunicación LoRa (Long Range) y su protocolo de red LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), con el objetivo de optimizar la gestión operativa, incrementar la precisión en las lecturas de consumo y minimizar los errores asociados a los procesos de facturación en entornos residenciales y comerciales. La arquitectura propuesta integra dos nodos de adquisición de datos: el primero enfocado a la medición de volúmenes de agua consumidos, implementado mediante un sensor FS300A tipo Hall acoplado a un módulo LoRa CubeCell (HTCC-AB02), y el segundo orientado a la medición de energía eléctrica, utilizando un sensor de corriente CA PZEM-004T y un módulo LoRa CubeCell (HTCC-AB02), como unidad de procesamiento y transmisión. Ambos nodos se comunican a través de la red LoRaWAN que transmite la información hacia una plataforma de gestión alojada en la nube, donde se ejecutan procesos de almacenamiento, análisis y visualización en tiempo real mediante interfaces desarrolladas en Node-RED.

Las pruebas realizadas en entornos residenciales demuestran la estabilidad del enlace y la cobertura de transmisión de la red LoRaWAN, validando su aplicabilidad como infraestructura IoT (Internet of Things) para sistemas de medición distribuida. Este desarrollo representa un aporte tecnológico relevante, al evidenciar la factibilidad de soluciones de monitoreo remoto basadas en redes LPWAN (Low Power Wide Area Network), alineadas con los (ODS) Objetivos de Desarrollo Sostenible (6, 7, 9 y 11) orientados a la innovación industrial, gestión eficiente de recursos y sostenibilidad energética.

Palabras clave: LoRaWAN, IoT, LPWAN, Medición Inteligente, Node-RED.

Abstract

This project addresses the development and implementation of a smart metering system for water and electrical resources, based on LoRa (Long Range) communication technology and its LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) network protocol, with the aim of optimizing operational management, increasing the accuracy of consumption readings and minimizing errors associated with billing processes in residential and commercial environments. The proposed architecture integrates two data acquisition nodes: the first for water flow measurement, implemented by means of an FS300A Hall type sensor coupled to a LoRa CubeCell module (HTCC-AB02), and the second oriented for the measurement of electrical energy, using an AC current sensor PZEM-004T and a LoRa CubeCell module (HTCC-AB02), as a processing and transmission unit. Both nodes communicate through the LoRaWAN network that retransmits the information to a management platform hosted in the cloud, where storage, analysis and visualization processes are executed in real time through interfaces developed in Node-RED.

The tests carried out in residential environments demonstrate the stability of the link and transmission coverage of the LoRaWAN network, validating its applicability as an IoT (Internet of Things) infrastructure for distributed metering systems. This development represents a relevant technological contribution, as it evidences the feasibility of remote monitoring solutions based on LPWAN (Low Power Wide Area Network) networks, aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) (6, 7, 9 and 11) aimed at industrial innovation, efficient resource management and energy sustainability.

Keywords: LoRaWAN, IoT, LPWAN, Smart Metering, Node-RED.

Capítulo 1 Introducción General

Contexto de la Problemática

En los últimos años, el acelerado avance del Internet de las Cosas (IoT) ha transformado la manera en que los sistemas interactúan con las redes digitales, permitiendo la automatización, el control remoto y la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real. Los sectores hídricos y de energía eléctrica han experimentado grandes cambios en el proceso de modernización enfocados en la medición inteligente y la optimización de recursos, consolidándose como ejes importantes de los servicios públicos inteligentes.

En el Ecuador, la mayoría de los sistemas de medición de servicios básicos aún dependen de métodos tradicionales que requieren lecturas manuales, visitas presenciales y procesos de facturación basados en estimaciones, dicho proceso no siempre es el ideal ya que no solo conlleva errores humanos y pérdidas económicas, sino también un retraso operativo frente a las tendencias globales de digitalización e interconectividad. Según datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2024), cerca del 65 % de los medidores eléctricos residenciales del país no cuentan con sistemas de lectura automatizada, lo que limita la eficiencia en la gestión y detección temprana de anomalías.

La gestión de los recursos hídricos presenta desafíos de gran impacto, como son: pérdidas por fugas, falencias en los registros de consumo y una infraestructura que limita la detección oportuna de pérdida de los recursos. Estos problemas se agravan en zonas rurales, donde la cobertura de redes celulares o Wi-Fi es limitada, dificultando la implementación de tecnologías convencionales de monitoreo. Debido a este escenario, las redes LPWAN y en particular LoRaWAN, se consolidan como una alternativa viable por su bajo consumo energético, amplia cobertura y costo reducido (Ferrari, Sisinni, & Flammini, Evaluation of communication technologies for smart metering infrastructures, 2018).

En el marco global de sostenibilidad y digitalización, promovido por los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, fomenta la incorporación de tecnologías para un uso más eficiente en el uso del agua y la energía (United Nations Industrial Development Organization, 2023).

Planteamiento del problema

El proceso de medición de agua y energía en el Ecuador se basa en la toma de lecturas manuales, motivo por el cual esta propenso a errores. Esta metodología, necesita de recursos humanos y logísticos de suma importancia, presentando un alto margen de error por la intervención humana y las variables ambientales que interfieren en las lecturas o provocan daños de importancia en los dispositivos.

En base a estudios se ha identificado que el error promedio en las lecturas manuales puede variar entre el 5 % y el 15 %, afectando a las empresas proveedoras como a los consumidores finales (Wang Y. , Chen, Hong, & Kang, 2023). Estas imprecisiones generan una serie de molestias, reclamos recurrentes, ineficiencia en la facturación y pérdidas económicas que impactan directamente en la sostenibilidad financiera de las empresas distribuidoras, así como de los consumidores finales.

Escalando a nivel tecnológico, la falta de integración entre sensores, redes y plataformas de gestión de datos limita la posibilidad de establecer sistemas de monitoreo continuo y análisis predictivo. Las soluciones comerciales existentes, como los medidores inteligentes de tipo GSM o Wi-Fi, presentan altos costos de operación y un consumo energético elevado, lo que los convierte en poco viables para zonas rurales o de difícil acceso (Ikpehai, Adebisi, & Rabie, Low-power wide area network technologies for smart metering applications, 2019).

La problemática tiene una dimensión ambiental, la falta de control y monitoreo oportuno del consumo genera un uso indebido de los recursos naturales, afectando la sostenibilidad de

los ecosistemas y la disponibilidad de agua y energía. Como consecuencia, surge la necesidad de diseñar e implementar un sistema de medición inteligente basado en LoRaWAN, capaz de realizar lecturas remotas, precisas que contribuyen a la gestión sostenible de los servicios básicos y a la reducción de errores en los procesos de facturación.

Justificación y relevancia social

La implementación de un sistema de medición inteligente constituye una innovación tecnológica que incide directamente en la eficiencia operativa, la sostenibilidad ambiental y la mejora de la calidad del servicio al usuario final. Técnicamente, la integración de sensores, microcontroladores y módulos LoRaWAN permite la transmisión de datos de consumo en tiempo real, facilitando la detección temprana de anomalías, la optimización del uso de los recursos y la automatización de los mecanismos de control del sistema (Patel & Sharma, IoT-based smart metering systems using LoRaWAN for real-time monitoring and resource optimization, 2025).

El proyecto brinda soluciones a las problemáticas de modernización de la infraestructura de servicios públicos y tecnológicas adaptadas al contexto ecuatoriano, el cual se ve afectado por las limitaciones presupuestarias y de conectividad. Con la implementación de una alternativa de bajo costo y alta autonomía, el sistema aporta con la inclusión tecnológica y fortalece la gestión en sectores rurales y urbanos marginales.

El desarrollo de este tipo de sistemas fomenta la formación de competencias técnicas en ingeniería de telecomunicaciones, relacionándose con la tendencia mundial hacia la transformación digital y el uso de tecnologías emergentes. A nivel ambiental, la medición inteligente permite un consumo más racional de los recursos, reduciendo pérdidas, detectando fugas y promoviendo prácticas sostenibles entre los consumidores. Es así como, el proyecto se vincula principalmente con las ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ODS 7 (Energía asequible

y no contaminante), ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) ratificando su relevancia social y científica.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar e implementar un sistema de medición inteligente de agua y energía eléctrica basado en tecnología LoRaWAN, que permita realizar lecturas remotas y precisas de consumo, reduciendo errores de facturación y optimizando la gestión de los recursos en entornos residenciales y comerciales.

Objetivos Específicos

- Diseñar la arquitectura de red IoT-LoRaWAN para la comunicación de los nodos de medición y el servidor de datos.
- Implementar dos nodos de medición: uno para consumo de agua y otro para consumo de energía eléctrica, integrando sensores y módulos de comunicación de bajo consumo.
- Desarrollar la plataforma de gestión en la nube para el almacenamiento, visualización y análisis de los datos en tiempo real.

Alcance y delimitación

El proyecto tiene un alcance que comprende el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo funcional de medición inteligente de agua y energía eléctrica, basado en LoRaWAN, orientado a su aplicación en entornos residenciales y comerciales. El sistema se compone de dos nodos de medición, una puerta de enlace LoRaWAN y una base de datos alojada en la nube, de la cual se extraen los datos para la visualización y monitoreo en tiempo real.

El alcance de la investigación se limita a la validación experimental del prototipo en condiciones reales de operación residencial, evaluando los datos de transmisión de las

mediciones que se tiene en los nodos implementados, en relación con los medidores convencionales. No se considera la integración directa con sistemas comerciales de facturación ni la certificación metrológica del dispositivo, debido a que el propósito principal del estudio es demostrar la viabilidad técnica y funcional de la solución propuesta.

Geográficamente, las pruebas se desarrollarán en entornos residenciales, enfocándose a la realidad de las condiciones urbanas. Los resultados obtenidos permitirán establecer una base para futuras ampliaciones del sistema a mayor escala o para su implementación en iniciativas de modernización de los servicios públicos.

Capítulo 2 Marco Teórico

Fundamentos del Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas es la interconexión digital de objetos físicos con capacidades de detección, procesamiento y transmisión de información mediante redes de comunicación (Atzori, Iera, & Morabito, 2021). Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones ((ITU), 2023), el IoT representa una infraestructura global orientada a la provisión de servicios avanzados a través de la interconexión de objetos físicos y virtuales, basados en tecnologías de información y comunicación interoperables.

La evolución del IoT ha permitido su expansión hacia sectores críticos como el energético, hídrico, industrial y de telecomunicaciones, dando la posibilidad de creación de redes inteligentes: Smart Grids y Smart Water Networks, orientadas al control y optimización de recursos. El IoT no solo implica la conexión de dispositivos, sino también la integración de datos que facilitan decisiones autónomas mediante análisis en la nube e inteligencia artificial (Zhang, Liu, & Wang, 2025).

Los sistemas IoT enfocados en la medición inteligente permiten capturar datos de consumo en tiempo real, transmitirlos a plataformas digitales y generar reportes automáticos

reduciendo errores humanos y optimizando la facturación (Atzori, Iera, & Morabito, 2021). Este enfoque constituye la base conceptual del proyecto, integrando sensores, comunicación LoRaWAN y plataformas de gestión orientadas a la administración eficiente de los recursos.

Tecnologías LPWAN y evolución de LoRa/LoRaWAN

Las tecnologías LPWAN surgieron como respuesta a la necesidad de redes de largo alcance, bajo consumo energético y costo reducido, siendo las adecuadas para aplicaciones IoT de gran escala (Ikpehai, Adebisi, & Rabie, Broadband PLC for smart grid applications: A review, 2019). En este contexto, LoRa y su protocolo asociado LoRaWAN destacan por su capacidad de comunicación bidireccional en bandas no licenciadas y su elevada eficiencia energética (Augustin A. , Yi, Clausen, & Townsley, A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things, 2016).

La tecnología LoRa utiliza una modulación de espectro expandido denominada Chirp Spread Spectrum (CSS), que ofrece alta resistencia a interferencias y permite transmisiones de hasta 15 km en entornos rurales y 2–5 km en entornos urbanos (Ferrari, Sisinni, & Flammini, Evaluation of communication technologies for smart metering infrastructures, 2018). LoRaWAN define la arquitectura de red y los mecanismos de seguridad, soportando dispositivos de baja potencia que pueden operar durante años sin la necesidad de mantenimiento (Al-Sammak, Kashani, & Kolobe, Security architecture and mechanisms in LoRaWAN networks for low-power IoT devices, 2025).

En el Ecuador, dado que existen limitaciones de infraestructura y costos de transmisión, LoRaWAN representa una tecnología estratégica para implementar redes IoT sostenibles en entornos rurales y urbanos, no obstante la evolución de tecnologías 5G está impulsando el desarrollo de servicios IoT, entre ellos NB-IoT ofreciendo mayor confiabilidad y calidad de servicio con costos asociados al uso del espectro y a planes de suscripción, convirtiendo a

LoRaWAN en la alternativa más adecuada ya que reduce significativamente los costos de implementación.

Los sistemas de medición inteligente constituyen la evolución de los contadores tradicionales, al integrar comunicación digital y capacidad de monitoreo remoto (Wang Y. , Chen, Hong, & Kang, Smart metering systems for utility monitoring: efficiency improvement and billing accuracy, 2023), estos sistemas mejoran la eficiencia en la distribución de servicios y reducen pérdidas técnicas y errores de facturación.

Para la administración de los recursos hídricos, los medidores inteligentes incorporan sensores de flujo para la detección de variaciones en el consumo y enviar los datos mediante redes inalámbricas a un servidor central, donde los datos son procesados para emitir alertas o reportes de consumo (Kashani, Kolobe, & Al-Sammak, 2025).

De forma análoga, los medidores de energía eléctrica inteligentes basados en LoRaWAN permiten el registro continuo del consumo energético, facilitando la detección de irregularidades y mejorando la gestión tarifaria (Patel & Sharma, Smart electricity metering based on LoRaWAN for energy monitoring and tariff management, 2025).

Arquitectura y comunicación en LoRaWAN

La arquitectura LoRaWAN se organiza en cuatro capas funcionales (LoRa Alliance, 2024):

1. End Devices (nodos finales): sensores que capturan y envían datos.
2. Gateway: es el dispositivo que reciben las transmisiones LoRa y las reenvía al servidor.
3. Network Server: encargado de gestionar la autenticación, filtraje de duplicados y enrutamiento de mensajes.
4. Application Server: realiza el procesamiento y presenta los datos al consumidor final.

Los dispositivos LoRaWAN se clasifican en tres clases (A, B y C), de acuerdo con su consumo y capacidad de recepción. La clase A, es la más eficiente energéticamente, ya que

los nodos solo abren ventanas de recepción después de transmitir, minimizando el consumo (Augustin A. , Yi, Clausen, & Townsley, A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things, 2016).

El esquema de comunicación “star-of-stars” permite que múltiples gateways reciban simultáneamente las transmisiones de un nodo, garantizando redundancia y fiabilidad (Vangelista, Zanella, & Zorzi, 2019). Esta arquitectura descentralizada es muy importante en proyectos de medición remota, pues posibilita la cobertura de amplias zonas geográficas con una infraestructura mínima.

Seguridad, interoperabilidad y escalabilidad en redes IoT

La seguridad en LoRaWAN se fundamenta en algoritmos de cifrado AES-128 y un sistema de claves dual: AppSKey para la capa de aplicación y NwkSKey para la de red (LoRa Alliance, 2023). A pesar de esto, se identifica vulnerabilidades en la gestión de claves y sincronización que podrían afectar la integridad de los datos, en busca de fortalecer la seguridad, se recomienda la autenticación mutua mediante Join Server, la rotación periódica de claves y el uso de TLS (Transport Layer Security) en la comunicación entre servidores.

En la implementación del presente proyecto, se aplicó un modelo con activación ABP (Activation By Personalization) lo que permite la conexión directa a la red, acelerando la comunicación entre Gateway y nodos.

Finalmente, la escalabilidad depende del diseño eficiente de los gateway y del manejo adecuado de la capacidad del canal para evitar colisiones en entornos densos (Al-Sammak, Kashani, & Kolobe, Scalability analysis of LoRaWAN networks under dense deployment scenarios, 2025).

Modelos de gestión de datos y plataformas cloud

La gestión de los datos obtenidos por los medidores inteligentes necesita de plataformas en la nube con capacidades de almacenamiento, análisis y visualización de grandes cantidades de información. Plataformas como The Things Stack (TTS), AWS IoT Core y ChirpStack proporcionan soporte nativo con LoRaWAN, permitiendo la creación de dashboards y notificaciones (Reddy S. , 2024).

El procesamiento de datos mediante herramientas de analítica avanzada posibilita la identificación de patrones de consumo, anomalías y picos de demanda, aportando a la toma de decisiones estratégicas (Wang Y. , Chen, Hong, & Kang, Advanced data analytics for smart metering systems: consumption pattern analysis and anomaly detection, 2023). En el desarrollo del presente proyecto, los datos son almacenados en una base de datos no relacional llamada Real Time Database Firebase, visualizados mediante un dashboard y una aplicación móvil que garantiza la trazabilidad y accesibilidad para los operadores de la red y los usuarios.

La adecuada gestión de los datos permite a los administradores y usuarios del sistema, acceder a información confiable en tiempo real, facilitando la toma de decisiones, el monitoreo del desempeño de la red y la optimización de la gestión operativa.

Impacto socioambiental y contribución a los ODS

El desarrollo de sistemas de medición inteligente se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por las Naciones Unidas, entre los cuales destacan: el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento): busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del recurso hídrico mediante mecanismos de monitoreo precisos (UN-Water, 2023), el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante): orientado a promover la eficiencia energética y el uso responsable de la energía (UN DESA, 2024), el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura): relacionado con la innovación y el desarrollo de soluciones tecnológicas

(UNIDO, 2023), el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles): promueve la digitalización de servicios públicos para mejorar la calidad de vida (UN-Habitat, 2022).

En Ecuador, la adopción de soluciones IoT en servicios básicos puede generar un impacto significativo en la modernización de empresas públicas y privadas, reducir pérdidas y optimizar los procesos de la gestión tarifaria, aportando a la mitigación del cambio climático y la sostenibilidad urbana.

Base de datos NO RELACIONAL

Son bases de datos personalizadas, las cuales están diseñadas para modelos de datos específicos y almacenan datos en esquemas flexibles, son escalables con facilidad para aplicaciones modernas (Amazon Web Services, Inc., 2025).

Estas bases de datos brindan mayor flexibilidad permitiéndole un desarrollo más iterativo y rápido, están diseñadas para escalar horizontalmente usando clústeres de hardware, no se escalan añadiendo servidores y están optimizadas para lograr una funcionalidad similar a bases de datos relacionales (Amazon Web Services, Inc., 2025).

Realtime Database Firebase

Es una base de datos NoSQL que se encuentra alojada en la nube, permite almacenar y sincronizar datos entre los clientes que están conectados a una misma instancia en tiempo real, para diversas plataformas (Google LLC, 2025).

A diferencia del modelo tradicional solicitud-respuesta, Firebase emplea sincronización automática de datos, de manera que todo cambio que se realice en la base de datos será propagado de manera instantánea a todos los clientes que estén conectados, sin necesidad de gestionar servidores de por medio (Google LLC, 2025).

FIGURA 1

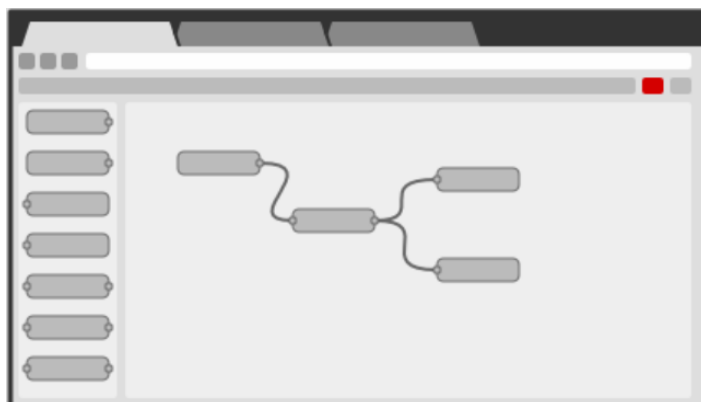
DATABASE FIREBASE

Una de sus características principales es la capacidad de operar aun cuando está en modo desconectado, está diseñado especialmente para aplicaciones que requieren de actualizaciones constantes y rápidas, así como monitoreo con flujos continuos de datos (Google LLC, 2025).

Interfaz Web Node-RED

Es una plataforma orientada a simplificar el desarrollo de aplicaciones destinadas a la visualización de datos mediante la construcción de flujos lógicos, tiene un esquema de programación de bajo código el cual permite que los usuarios puedan libremente diseñar procesos automatizados en cualquier entorno de integración (OpenJS Foundation, 2025).

FIGURA 2

INTERFAZ NODE-RED

Su arquitectura se basa en eventos y el modelo de ejecución no bloqueante, lo que la hace adecuada para operar en entornos de borde, utilizando hardware de bajo consumo.

Generando flexibilidad para adaptarse a escenarios con restricciones de hardware o sistemas que requieren escalabilidad para manejar grandes volúmenes de datos (OpenJS Foundation, 2025).

Sensor FS300A tipo Hall

El sensor es un caudalímetro de tipo turbina que tiene un sensor de tipo Hall, diseñado para medir el flujo volumétrico de líquidos de baja viscosidad, está fabricado en gran parte de nylon con fibra de vidrio y tiene conexiones de rosca del diámetro $\frac{3}{4}$ pulgada, lo que facilita su acoplamiento en sistemas hídricos residenciales (SSDI Electronics).

FIGURA 3

SENSOR HÍDRICO



El principio de operación es un rotor interno, impulsado por el flujo de agua acoplándose a un imán que activa el sensor de tipo Hall, así cada vez que el rotor completa una revolución, se produce una señal digital en forma de pulsos, su frecuencia es directamente proporcional al caudal de agua que atraviesa por el sensor (SSDI Electronics).

Debido a su arquitectura sencilla y tamaño compacto es compatible con protocolos digitales de conteo de pulsos y rango de flujo relativamente amplio (1 – 60L/min), este sensor aplicado a IoT, puede ser acoplado a un microcontrolador de bajo consumo, sus pulsos pueden

ser digitalizados y transmitidos como datos de consumo, facilitando su integración en arquitecturas de monitoreo de agua (SSDI Electronics).

TABLA 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR FS300A

Parámetro / Característica	Especificación
Modelo	FS300A
Tipo de sensor	Turbina + sensor de efecto Hall (salida pulsos)
Diámetro de conexión (tubería)	¾ pulgada (rosca exterior G3/4" / NPS 3/4")
Rango de flujo	1 – 60 litros por minuto (L/min)
Volumen por pulso	~ 3.03 mL por pulso
Pulsos por litro	~ 330 pulsos/L
Voltaje de alimentación	5 – 24 V DC (compatible también en algunos rangos 3.5–24 V según versiones)
Corriente de operación	~ 15 mA @5V DC
Salida	Señal digital por pulsos (onda cuadrada)
Presión máxima de operación	≈ 1.2 MPa (12 bar)
Temperatura de operación	-25 °C a 80 °C
Humedad de operación	35 % – 90 % RH
Material del cuerpo	Plástico (nylon reforzado con fibra de vidrio), con rotor interno, imán y ejes metálicos resistentes a la corrosión
Peso aproximado	~ 30–66 g según versión / proveedor

Módulo LoRa CubeCell HTCC-AB02

Este módulo está diseñado para construir nodos IoT de bajo consumo con capacidad de transmisión a larga distancia mediante protocolo LoRaWAN, está compuesto por un chip integrado ASR Microelectronics ASR6502, combinado con un microcontrolador de tipo ARM Cortex-M0+ con un transceptor de radio Semtech SX1262 optimizado para comunicaciones LoRa/LoRaWAN (Heltec Automation Co., Ltd.).

FIGURA 4

MÓDULO LoRa CUBECELL



Dicha integración le permite operar como nodo autónomo, con soporte completo para entornos de hardware embebido, energía con baterías, paneles solares y consumo mínimo en modo de suspensión profunda (Heltec Automation Co., Ltd.).

TABLA 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO LoRa

Parámetros	Descripción
Master Chip	ASR6502 (48 MHz ARM® Cortex® M0+ MCU)
LoRa Chipset	SX1262
Frequency	470~510MHz, 863~923MHz

Max. TX Power	22 ± 1dBm
Max. Receiving Sensitivity	-135dBm
Hardware Resource	UART x 2;
	SPI x 1;
	I2C x 2;
	SWD x 1;
	12-bits ADC input x 3;
	8– channel DMA engine;
	GPIO x 16
Memory	128Kbites FLASH;
	16Kbites SRAM
Power consumption	Deep Sleep 3.5uA
Operating temperature	-20 ~ 70 °C
Dimensions	51.9 x 25 x 8 mm
Interface	Micro USB x 1;
	LoRa Antenna interface (IPEX) x 1;
	15 x 2.54 pin x 2+2 x 2.54 pin x 3
Battery	3.7V lithium battery power supply and charging
Solar Energy	VS pin can be connected to 5.5 ~ 7V solar panel
USB to Serial Chip	CP2102
Battery	3.7V Lithium (SH1.25 x 2 socket)
Display Size	0.96-inch OLED

Sensor PZEM-004T V3.0

Es un módulo compacto de monitoreo de parámetros eléctricos en sistemas de corriente alterna AC, especialmente concebido para medir variables como voltaje, corriente, potencia activa, energía consumida, frecuencia de red y factor de potencia. Su objetivo es facilitar la adquisición de datos eléctricos en proyectos de monitoreo, automatización, IoT de medición energética, etc (InnovatorsGuru, 2019).

FIGURA 5
SENSOR PZEM



El módulo carece de un display por lo que su información se puede visualizar mediante una interfaz UART TTL hacia un microcontrolador o sistema embebido, lo que lo hace viable para su integración en arquitecturas IoT o sistemas de adquisición distribuidos (InnovatorsGuru, 2019).

Su rango de operación en voltaje AC tiene un rango de 80 a 260V haciéndolo compatible con las redes domésticas y comerciales, la resolución de medición es de 0.1V para voltaje, incrementando la precisión en el monitoreo de la red (InnovatorsGuru, 2019).

TABLA 3
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR PZEM-004T

Parámetro / Característica	Valor / Rango / Detalle
----------------------------	-------------------------

Modelo	PZEM-004T V3.0
Voltaje de red medible (AC)	80 – 260 V AC
Resolución de voltaje	0.1 V
Precisión de voltaje	±0.5 %
Rango de corriente (versión shunt)	0 – 10 A AC
Rango de corriente (versión CT externa)	0 – 100 A AC
Resolución de corriente	0.001 A
Precisión de corriente	±0.5 %
Potencia activa medible (10 A)	0 – 2.3 kW
Potencia activa medible (100 A)	0 – 23 kW
Resolución de potencia	0.1 W
Precisión de potencia	±0.5 %
Energía acumulada (medición)	0 – 9999.99 kWh
Resolución de energía	1 Wh
Factor de potencia (PF)	0.00 – 1.00
Precisión PF	±1 %
Frecuencia de red	45 – 65 Hz
Interfaz de comunicación	UART TTL / Modbus-RTU (9600 bps, 8N1)
Alimentación lógica (UART)	5 V DC (externa al circuito AC)
Tipo de medición eléctrica	Monofásica AC (voltaje, corriente, potencia, energía)

Aislamiento galvánico (CT externo)	Sí — mediante transformador de corriente externo, segura para integración con microcontroladores
---	--

Gateway Dragino LPS8N

Es un Gateway para redes LoRaWAN diseñado para funcionar como puente entre dispositivos de campo y redes IP, facilitando la interconexión de sensores y nodos LoRa con aplicaciones remotas mediante conectividad Ethernet, WiFi o módulos celulares, permitiendo la transmisión de datos de redes LPWAN con destino a servidores y plataformas back-end (Dragino Technology Co., Ltd., 2025).

FIGURA 6

GATEWAY DRAGINO



En comunicaciones RF integra un concentrador Semtech SX1302 con dos transceptores SX1250, proporcionando hasta diez rutas de demodulación paralelas programables, permitiendo manejar múltiples canales y recibir paquetes LoRa de varios nodos en simultaneo, garantizando una recepción eficiente aun en entornos con alta densidad de tráfico (Dragino Technology Co., Ltd., 2025).

TABLA 4

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL GATEWAY LPS8N

Categoría	Especificación técnica
Modelo	Dragino LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway
Tipo de dispositivo	Gateway LoRaWAN de interior
Concentrador LoRa	SX1302 + 2 × SX1250 transceptores
Rutas de demodulación	10 demoduladores paralelos programables
Potencia de transmisión LoRa	Máx. 27 dBm (según banda/región)
Sensibilidad de recepción LoRa	Hasta -140 dBm
Protocolos RF	LoRaWAN, Semtech Packet Forwarder, LoRaWAN Basic Station
Puertos de red	1 × Ethernet 10/100 Mbps (RJ45)
Conectividad inalámbrica	Wi-Fi 2.4 GHz (802.11 b/g/n)
Interfaz USB	1 × USB Host, 1 × USB Tipo-C (alimentación)
Alimentación	5 V DC, 2 A via USB-C
Interfaces de gestión	Web GUI, SSH, Remote.it
Sistema operativo integrado	OpenWrt (Linux embebido)
Frecuencias LoRa compatibles	EU868, US915, AS923, AU915, KR920, IN865, etc. (regionales)
Dimensiones del dispositivo	120 × 120 × 30 mm
Peso	Aproximadamente 187 g
Aplicaciones típicas	Smart metering, agricultura inteligente, smart cities, automatización

Servidor Raspberry Pi 5

Es una computadora que presenta una plataforma diseñada para ofrecer una computación embebida avanzada, con mayor versatilidad y bajo costo, es adecuada para aplicaciones de integración, automatización industrial, IoT, así como proyectos de prototipado avanzado (Raspberry Pi Ltd., 2025).

FIGURA 7
SERVIDOR RASPBERRY PI



En su interior posee un SoC Broadcom BCM2712 que integra un procesador ARM Cortex-A76 acompañada de una GPU VideoCore VII, lo que amplía su utilidad en aplicaciones multimedia, así como visualización de data (Raspberry Pi Ltd., 2025).

TABLA 5
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RASPBERRY PI 5

Parámetro / Componente	Especificación / Valor
Modelo	Raspberry Pi 5 SBC
SoC (Procesador)	Broadcom BCM2712 64-bit ARM Cortex-A76, 2.4 GHz, 512 KB L2/cache/core, 2 MB L3 compartida

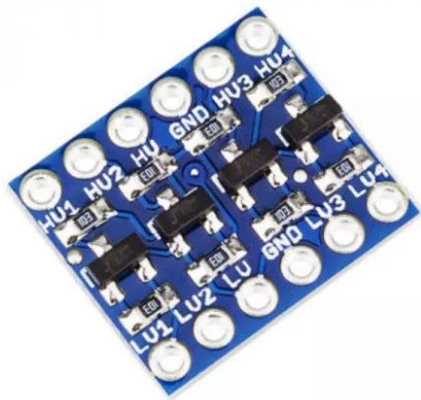
GPU	VideoCore VII (OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.2)
Memoria SDRAM	LPDDR4X-4267: 2 GB / 4 GB / 8 GB / 16 GB
Salida de video	2 × micro HDMI (dual 4Kp60, HDR, HEVC)
Conectividad inalámbrica	Wi-Fi 802.11ac de doble banda; Bluetooth 5.0 / BLE
Interfaces USB	2 × USB 3.0 (5 Gbps), 2 × USB 2.0
Ethernet	Gigabit Ethernet, PoE+ (mediante HAT separado)
Almacenamiento	microSD con modo SDR104 de alta velocidad
PCIe	PCIe 2.0 ×1 para periféricos de alto rendimiento
Conectores MIPI	2 × MIPI CSI/DSI de 4 carriles
GPIO	40-pin estándar de Raspberry Pi
Alimentación	USB-C 5 V / 5 A (Power Delivery)
Reloj en tiempo real	Integrado (requiere batería externa)
Botón físico	Botón de encendido integrado
Dimensiones	Estandar Raspberry Pi form factor
Vida en producción	Producción hasta al menos 2036

Convertidor de nivel lógico bidireccional de 4 canales

Es un módulo electrónico que facilita la interoperabilidad de señales digitales que operan con diferentes niveles de tensión lógica, es fundamental en aplicaciones embebidas.

Para operar el módulo debe estar alimentado con las dos tensiones correspondientes a los niveles lógicos de los dispositivos a los que se va a interconectar, la estructura permite que las señales de entrada sean adaptadas automáticamente (Micro Robotics, 2025).

FIGURA 8
CONVERTIDOR LÓGICO



Su característica más importante es su bidireccionalidad, significa que cada uno de los cuatro canales puede recibir señales tanto de alto como bajo nivel sin la necesidad de una configuración adicional (Micro Robotics, 2025).

FIGURA 9
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONVERTIDOR LÓGICO

Parámetro	Valor Técnico
Modelo	Convertidor de nivel lógico bidireccional 4 canales (SparkFun LEVEL-4P)
Función Principal	Traducción bidireccional de señales digitales entre diferentes niveles de voltaje lógico
Número de canales	4 canales independientes
Compatibilidad de voltaje	Compatible con 1.8 V, 3.3 V y 5 V

Direccionalidad	Bidireccional automática
Interoperabilidad digital	Compatible con señales I ² C, SPI, UART y otras lógicas digitales estándar
Alimentación lógica requerida	Fuentes de alto voltaje (HV) y bajo voltaje (LV) correspondientes a los niveles que se desean adaptar (por ejemplo, HV=5 V, LV=3.3 V)
Topología de componentes	Transistores MOSFET de señal pequeña con resistencias de polarización <i>pull-up</i>
Protección de señal	Protección básica frente a sobrevoltajes transitorios
Peso aproximado	~ 2 g (varía según encapsulado)
Compatibilidad Física	Compatible con <i>breadboards</i> y PCBs de desarrollo

DC-DC 5V Regulador y Cargador de Sobrealimentación

Es un circuito electrónico que integra dos funciones: regulador elevador y unidad de carga en un único módulo, diseñado para proporcionar una salida de 5V DC a partir de su entrada con voltajes de entre 4,5 y 8V DC, lo que lo hace ideal para sistemas alimentados con baterías o paneles solares (Micro Robotics, 2025).

FIGURA 10

REGULADOR Y CARGADOR 5V



Está diseñado para trabajar en rangos de temperatura bastante amplios desde -40°C hasta +85°C, lo que favorece su despliegue en diseños exteriores o entornos variables.

TABLA 6

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL REGULADOR Y CARGADOR

Parámetro / Característica	Especificación
Modelo	DC-DC Boost Regulator and Charger – DD05CVSA-5V
Tipo de módulo	Convertidor elevador + cargador integrado
Rango de voltaje de entrada	4.5 – 8.0 V DC
Tensión de salida	5 V DC estabilizada
Corriente de salida	Hasta ~1.2 A
Corriente de carga	0 – 1 A
Estado de carga	Indicadores LED (OK y CR)
Eficiencia de conversión	~78 % – 90 % (boost)

Rango de temperatura de operación	-40 °C a +85 °C
Rango de temperatura de almacenamiento	-65 °C a +125 °C
Dimensiones físicas	23 × 15.4 × 5.7 mm
Peso aproximado	≈ 1.8 g (sin pines)
Indicadores visuales	LED de estado de carga y LED de carga activa
Aplicaciones típicas	Equipos alimentados por batería, sistemas UPS DIY, paneles solares, dispositivos portátiles, IoT embebido

Capítulo 3 Estado del Arte

La integración de las telecomunicaciones, la electrónica y la informática ha generado un cambio significativo en los sistemas de adquisición de datos, favoreciendo el desarrollo de redes IoT orientadas a la administración de infraestructuras críticas como el suministro de agua y energía. En los últimos años, las tecnologías IoT han pasado de emplear redes de corto alcance, Wi-Fi, ZigBee o Bluetooth a implementar arquitecturas de bajo consumo y amplia cobertura, las cuales son capaces de conectar varios dispositivos distribuidos en grandes áreas geográficas (Ikpehai A. , y otros, 2019).

LoRaWAN se considera como una de las alternativas más eficientes para aplicaciones industriales y sistemas de medición inteligente, gracias a su capacidad para transmitir datos a distancias de hasta 15 km, su bajo consumo energético y su funcionamiento en bandas de frecuencia no licenciadas (Sisinni, y otros, 2018). Su estructura se fundamenta en la modulación CSS, la cual incrementa la tolerancia al ruido y a la interferencia, aspectos críticos

en entornos con alta complejidad electromagnética (Augustin A. , Yi, Clausen, & Townsley, 2016).

Los desarrollos recientes en el ámbito de la IoT-RF han permitido la integración de LoRaWAN con microcontroladores de alto desempeño, como el ESP32 o el STM32, lo que facilita la conexión de sensores analógicos y digitales para el monitoreo de variables físicas (Reddy S. , 2024). La aplicación de LoRaWAN en proyectos de medición inteligente de servicios básicos ha demostrado mejoras significativas en la precisión, la frecuencia de muestreo y la confiabilidad de los sistemas, consolidándose como una tecnología clave en el desarrollo de las ciudades inteligentes y la Industria 4.0 (Zhang, Liu, & Wang, 2025).

Los sistemas de medición inteligente han evolucionado significativamente desde los primeros dispositivos electromecánicos del siglo XX hasta los actuales medidores digitales interconectados. Los primeros modelos, que fueron basados en registros mecánicos y lecturas manuales, ofrecían una limitada capacidad de almacenamiento y carecían de conectividad (Wang Y. , Chen, Hong, & Kang, 2023).

Debido a esto la LMA (Lectura de Medición Automática) introdujo la posibilidad de transmisión unidireccional de datos mediante redes PLC o GSM. Pese a esto, su implementación masiva resultó costosa y dependiente de infraestructuras propietarias (Wang Y. , Chen, Hong, & Kang, 2023).

Con el surgimiento del concepto Advanced Metering Infrastructure (AMI), se logró una comunicación bidireccional que permitía el control remoto, la gestión de cortes, reconexiones y la integración de sistemas analíticos. El alto consumo energético de los módulos GSM y la cobertura limitada de Wi-Fi representaron restricciones importantes. En consecuencia, las redes LPWAN, y en particular LoRaWAN, emergieron como una alternativa más económica y eficiente (Al-Sammak, Kashani, & Kolobe, Security architecture and mechanisms in LoRaWAN networks for low-power IoT devices, 2025).

LoRaWAN permite establecer una comunicación segura y de largo alcance entre los nodos de medición y los servidores de aplicación, con su bajo ancho de banda, pero suficiente para el envío periódico de datos de los sensores (Patel & Sharma, Smart electricity metering based on LoRaWAN for energy monitoring and tariff management, 2025). Su topología tipo star-of-stars posibilita una alta densidad de nodos conectados y reduce los costos de infraestructura. Estas características la hacen idónea para sistemas distribuidos de medición del volumen de agua y energía eléctrica, donde la autonomía de operación y el mantenimiento mínimo son factores críticos (Vangelista, Zanella, & Zorzi, 2019).

Actualmente, la investigación en medición inteligente con LoRaWAN está orientada a tres áreas principales: optimización energética, integración de múltiples sensores y analítica de datos en la nube.

La optimización energética tiene como propósito extender la autonomía de los nodos con el uso algoritmos de gestión dinámica de energía y modos de suspensión profunda. Según (Al-Sammak, Kashani, & Kolobe, Scalability analysis of LoRaWAN networks under dense deployment scenarios, 2025), los sistemas IoT basados en LoRaWAN pueden operar durante más de cinco años con una sola batería, dependiendo del intervalo de muestreo y la potencia de transmisión.

La integración de múltiples servicios, que combina sensores de caudal, presión, temperatura o corriente eléctrica en un mismo nodo, permite un enfoque multiparamétrico para correlacionar variables e identificar patrones de consumo y detectar fallas. En el caso de la energía eléctrica, los sensores no invasivos tipo SCT-013 son ampliamente utilizados por su bajo costo y facilidad de integración con microcontroladores (Reddy S. , 2024).

La analítica en la nube se ha convertido en un componente esencial de los sistemas modernos de medición, es el caso de las plataformas como The Things Stack, AWS IoT Core o ChirpStack que permiten la administración de dispositivos, la gestión de claves de seguridad y

el procesamiento de datos en tiempo real. Estas soluciones integran visualización mediante dashboards dinámicos y herramientas de análisis predictivo basadas en aprendizaje automático (Wang Y. , Chen, Hong, & Kang, 2023).

En países pioneros en tecnología, varios estudios y proyectos piloto han demostrado la viabilidad de LoRaWAN en aplicaciones de monitoreo inteligente. En China, (Zhang, Liu, & Wang, 2025) desarrollaron un medidor de agua IoT basado en LoRa, con una transmisión de 15 minutos y una autonomía superior a tres años, con un error menor al 2 % en las lecturas. En la India, (Patel & Sharma, 2025) diseñaron un sistema de medición energética con LoRaWAN reduciendo en un 15 % los errores de facturación en zonas suburbanas.

En Europa, (Reddy T. S., 2024) propuso un sistema de monitoreo eléctrico de bajo costo utilizando LoRaWAN y sensores ópticos, obteniendo una cobertura de 10 km en entorno urbano y una precisión de lectura del 98 %. Al igual que, (Marcul, Brzozowski, & Janicki, 2024) quienes presentaron una red de medición de energía eléctrica que demostró la escalabilidad del sistema en aplicaciones industriales.

Para la gestión del consumo de agua, (Kashani, Kolobe, & Al-Sammak, 2025) realizaron una revisión de sistemas de agua basados en LoRaWAN, concluyendo que el uso de esta tecnología puede reducir el consumo entre un 6 % y 9 %, esto se debe a la rápida detección de fugas.

El desarrollo de soluciones IoT basadas en LoRaWAN en América Latina se encuentra en una fase de consolidación, tal es el ejemplo de Brasil, Chile y Colombia quienes lideran los proyectos más avanzados en esta materia.

En Brasil, (De Oliveira, Moraes, & Conceição, 2023) desarrollaron una red LoRaWAN para gestionar el caudal de agua en comunidades rurales, se logró reducir las pérdidas por fugas en un 8.7 % y se estableció un modelo replicable para diversos municipios pequeños. En

Chile, (Ramírez, Soto, & Fuentes, 2023) implementaron un sistema de monitoreo de consumo eléctrico en áreas rurales, se validó la cobertura y la estabilidad del enlace en entornos con baja infraestructura de red.

En Colombia, (Gutiérrez & Salcedo, 2024) propusieron una arquitectura híbrida LoRaWAN–NB-IoT para monitoreo energético, con la finalidad de mejorar la confiabilidad del canal de comunicación, esta integración demuestra el potencial de combinar tecnologías LPWAN para mitigar las limitaciones de cobertura o interferencia.

A pesar de los continuos avances, Latinoamérica enfrenta desafíos como la falta de normativas unificadas, costos de importación de componentes y carencia de políticas públicas que incentiven la adopción de tecnologías de monitoreo inteligente (United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2023).

En Ecuador, la investigación sobre IoT aplicado a la medición inteligente es relativamente reciente, pero presenta un crecimiento progresivo, diferentes universidades han contribuido en la experimentación y adopción con tecnologías LoRaWAN y microcontroladores de bajo costo.

En la Escuela Politécnica Nacional (EPN), (Vega & Muñoz, 2023) desarrollaron un sistema IoT para monitoreo de niveles de agua en tanques, empleando módulos LoRa SX1276 y microcontroladores ESP32, validando operatividad en los entornos rurales del Cotopaxi. Sus pruebas demostraron cobertura estable en entornos rurales de hasta 3 km. En la Universidad de Cuenca, (Cabrera, Rodríguez, & Hidalgo, 2024) implementaron una red LoRaWAN para monitoreo ambiental urbano, validando la eficiencia energética de los nodos en condiciones climáticas adversas.

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) y Empresa Publica Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) se presentan como empresas públicas interesadas en la digitalización

de sus procesos de medición, pese a que no se han realizado implementaciones a gran escala (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2024).

El presente proyecto, combina la medición del volumen de agua y energía eléctrica en una misma arquitectura IoT-LoRaWAN, lo que representa un aporte y de alto valor técnico, al integrar dos servicios esenciales dentro de un sistema de monitoreo unificado y adaptable.

Las redes LPWAN tienen diversas tecnologías diseñadas para la conectividad de dispositivos IoT que requieren un consumo energético mínimo y favorecen con transmisión a distancias largas. Pese que LoRaWAN se ha consolidado como una de las más difundidas, existen alternativas relevantes como NB-IoT, Sigfox, Weightless, Wi-SUN y Wi-Fi HaLow, cada una con características específicas como: alcance, ancho de banda, latencia y modelo de red (Centenaro, Vangelista, & Zanella, 2021).

NB-IoT, ofrece una cobertura aproximada de 10 km con velocidades de transmisión de 20–250 kbps, con espectro licenciado. El principal beneficio es la integración con la infraestructura celular (LTE/5G), pero representa un costo adicional de operación y mayor consumo energético frente a LoRaWAN (Aloi, y otros, 2020).

Sigfox, utiliza bandas ISM sin licencia con una modulación Ultra Narrow Band permitiéndole un alcance mayor aproximado a los 40 km en entornos rurales, con limitaciones severas de ancho de banda 100 bps y número de mensajes diarios. LoRaWAN ofrece mayor flexibilidad en la tasa de datos 0.3 a 50 kbps con mejor escalabilidad en redes con alta densidad de nodos (Ferrari, Sisinni, Depari, & Flammini, 2018).

Wi-SUN, ha sido usado principalmente en redes eléctricas inteligentes por su interoperabilidad con IPv6. Representa un alto consumo energético y cierta complejidad de configuración, limitando su implementación en nodos autónomos alimentados por baterías (Liu, Huang, & Choi, 2022).

Wi-Fi HaLow, se presenta como una solución viable de nivel medio, su beneficio principal son mayores velocidades que LoRaWAN y NB-IoT, pero con un radio de cobertura más reducido y un consumo energético elevado (Haider & Zhao, 2024).

Al comparar estos protocolos se puede deducir que LoRaWAN mantiene una relación equilibrada entre alcance, autonomía, seguridad y costo, siendo la opción preferente para sistemas de medición inteligente que necesitan independencia de operadores móviles y sostenibilidad energética a largo plazo.

La arquitectura de LoRaWAN está compuesta de cuatro capas funcionales: nodo, gateway, servidor de red y servidor de aplicación. Los nodos son dispositivos de bajo consumo que incorporan microcontroladores y módulos LoRa, su función principal es transmitir datos de manera periódica o cuando ocurre un evento específico. Los gateways actúan como puentes de comunicación, recibiendo los paquetes LoRa y reenviándolos a través de redes IP (Ethernet, Wi-Fi o 4G) hacia el servidor de red, que gestiona y almacena los datos (LoRa Alliance, 2024).

El servidor de aplicación procesa datos útiles y los envía a plataformas de gestión en la nube mediante protocolos MQTT, HTTP o WebSocket.

LoRaWAN implementa un esquema de doble cifrado AES-128, que protege la capa de red, así como, la de aplicación, los dispositivos pueden autenticarse mediante ABP o Over-The-Air Activation (OTAA).

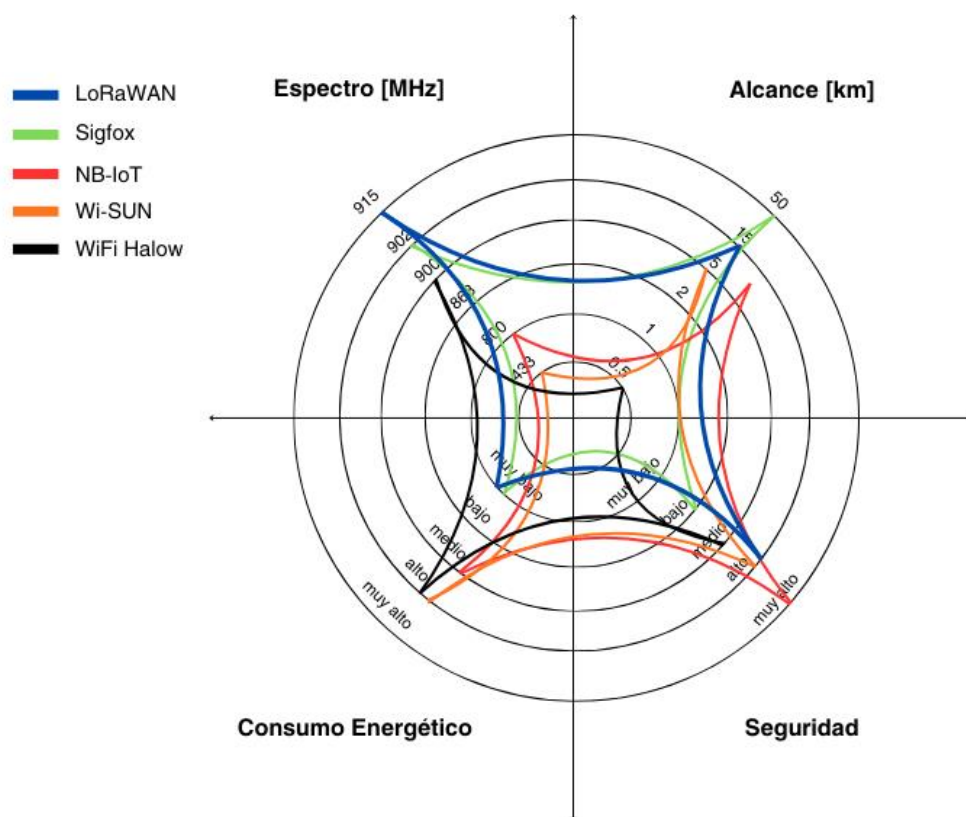
TABLA 7
COMPARACIÓN CUALITATIVA DE TECNOLOGÍAS LPWAN

Parámetro técnico	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT	Wi-SUN	WiFi HaLow
Aplicaciones	Medición inteligente, monitoreo ambiental, agricultura IoT	Rastreo logístico, sensores de bajo tráfico	Smart grid, movilidad urbana, industria	Smart grid, alumbrado público, energía	Hogares inteligentes, domótica industrial

Ventajas	Amplia cobertura, bajo consumo, bajo costo	Gran alcance, simplicidad de red	Alta confiabilidad y QoS	Alta interoperabilidad y redundancia	Alta velocidad y compatibilidad IP
Limitaciones	Bajo ancho de banda, colisiones por saturación	Baja capacidad de datos, dependencia del operador	Mayor costo y consumo energético	Complejidad técnica y energética	Alcance limitado, consumo elevado

FIGURA 11

COMPARATIVA TÉCNICA DE TECNOLOGÍAS LPWAN



Capítulo 4 Metodología y Desarrollo

Enfoque metodológico

El presente proyecto se fundamenta en un enfoque metodológico de tipo experimental-aplicado, cuyo propósito principal es el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de

medición inteligente de recursos hídricos y eléctricos. El proyecto se orienta hacia la optimización de la gestión energética e hídrica mediante la integración de hardware de bajo consumo, protocolos de comunicación de largo alcance y plataformas de análisis en la nube, bajo principios de eficiencia y sostenibilidad.

El enfoque experimental se justifica en las variables de estudio, volumen de consumo hídrico y consumo energético, las cuales se obtienen a través de mediciones directas realizadas por sensores físicos, cuyos datos se procesan y transmiten a través de una red inalámbrica diseñada y configurada para este propósito. El enfoque aplicado se sustenta en la creación de una solución operativa y comprobable que atiende las limitaciones presentes en los sistemas de medición convencionales, como los errores de lectura, el alto costo operativo y la ausencia de monitoreo remoto.

El proyecto adopta una estrategia mixta de investigación tecnológica, que combina elementos cuantitativos, asociados a la obtención de datos medibles (consumo energético, volumen del consumo hídrico promedio) y componentes cualitativos, orientados al análisis del comportamiento del sistema en condiciones reales, la interoperabilidad de los módulos y la facilidad de integración de los sistemas.

Para garantizar trazabilidad en el proceso de desarrollo, se usó el modelo V-Model el cual en cada fase de diseño se asocia a una etapa de prueba, con el fin de mantener correspondencia directa entre las fases del diseño, implementación y validación.

Las etapas principales son: requerimientos del sistema y modelado de arquitectura, selección de componentes y diseño de hardware, implementación de firmware embebido y configuración de red, integración de plataforma cloud y visualización y pruebas funcionales, validación y análisis de rendimiento.

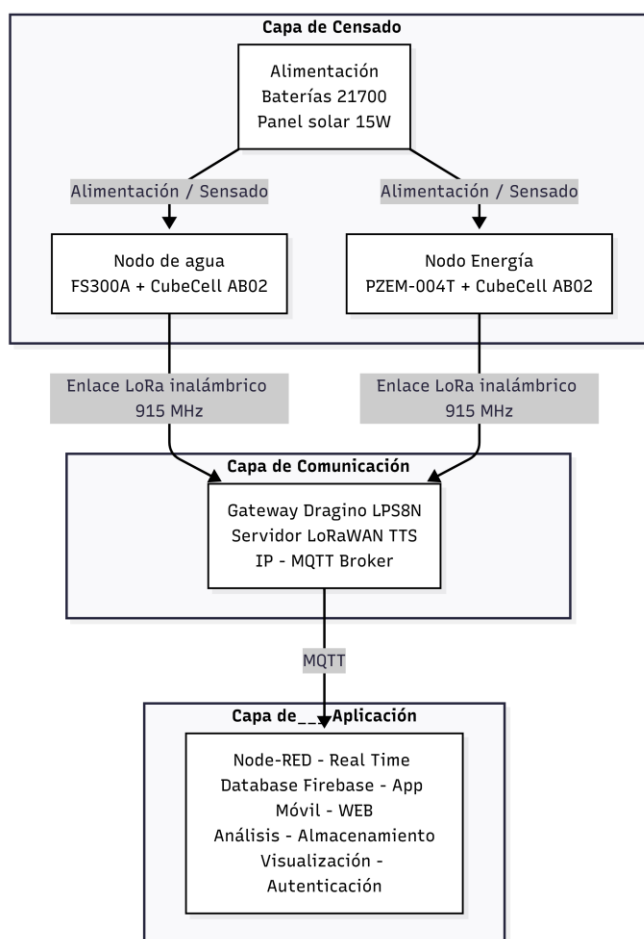
Esta metodología permite alcanzar una solución viable, escalable y de bajo costo, lo que le permite ser replicada en diferentes escenarios de gestión hídrica y eléctrica, planteándose como una alternativa viable.

Arquitectura General

La arquitectura global del sistema de medición inteligente se plantea según un enfoque IoT, orientado a la adquisición, transmisión, procesamiento y presentación de datos generados por fuentes físicas, específicamente del consumo hídrico y el consumo eléctrico. El diseño adopta una estructura jerárquica y modular, conformada por tres capas funcionales interrelacionadas: sensado, comunicación y aplicación.

FIGURA 12

ARQUITECTURA IOT-LORAWAN DEL SISTEMA



La figura muestra el esquema de flujo jerárquico dentro del sistema IoT LoRaWAN, estructurándose en la parte superior, la capa de sensado agrupa los nodos encargados de la adquisición de variables físicas. Cada nodo, basado en el microcontrolador Heltec CubeCell AB02, mide parámetros específicos mediante sensores conectados: el FS300A para el volumen de agua y el PZEM-004T V3.0 para la medición de energía eléctrica. Los datos son procesados localmente, encapsulados en tramas LoRaWAN y transmitidos al gateway.

En la parte central del esquema, la capa de comunicación está conformada por el Gateway Dragino LPS8N, encargado de recibir las tramas LoRa en la banda de 915 MHz y las transmite al servidor LoRaWAN. Posterior a esto, la información se transmite mediante el protocolo MQTT hacia Node-RED y se envía los datos a la plataforma Real Time Database Firebase en la nube.

La capa de aplicación se encarga del procesamiento y la visualización de la información mediante Node-RED y la aplicación móvil Android, completando el ciclo de adquisición, procesamiento y análisis de la información para la entrega al usuario final.

Diseño e Implementación de Nodos

Los nodos finales son los dispositivos que se encuentran implementados y que son encargados de capturar las variables físicas y convertirlas en información digital. Cada nodo incorpora un microcontrolador Heltec CubeCell AB02, que integra el procesador ARM Cortex-M0+, un transceptor SX1262 LoRa, antena integrada y una pantalla OLED utilizada para monitoreo local.

FIGURA 13

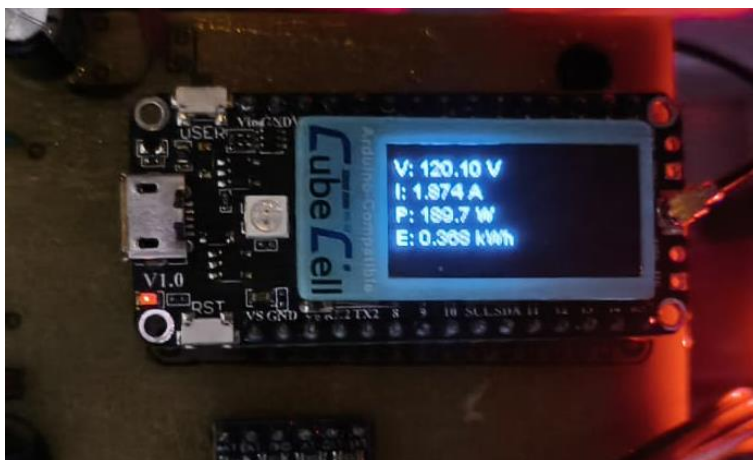
PANTALLA OLED NODO ELÉCTRICO

FIGURA 14

PANTALLA OLED NODO DE AGUA

Los nodos se alimentan mediante un sistema híbrido de energía solar y baterías Li-ion, que incluye un módulo convertidor y booster de 5 V DC, un panel solar de 15 W (9 V/1 A) y dos baterías 21700 de 4400 mAh conectadas en paralelo, proporcionando una capacidad total de 8800 mAh. Para estabilizar el suministro, se añadieron condensadores de desacoplo en la salida del convertidor, mejorando la integridad de la señal de alimentación ante picos de corriente.

Diseño Nodo de Agua

El nodo se diseñó para medir el volumen de agua consumida mediante el sensor FS300A, el cual opera con un rotor de efecto Hall que genera pulsos proporcionales al volumen de líquido que atraviesa el conducto. Dicho sensor posee un rango de medición de 1 a 60 L/min y cumple con la norma ISO 4064:2014, que establece un margen de error máximo del $\pm 3\%$ para sistemas de medición volumétrica.

Proceso de Calibración del sensor

Se realizó un proceso experimental basado en el conteo de pulsos generados por el FS300A durante el paso de 10 litros de agua. En cada prueba se registró el número total de pulsos y se repitió en diez ocasiones el mismo proceso, promediando los resultados para minimizar el error aleatorio.

FIGURA 15

PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR FS300A



El fabricante especifica un valor nominal de 330 pulsos por litro; sin embargo, tras las pruebas, se determinó un factor promedio de 341 pulsos/L, lo que permitió ajustar el firmware del nodo para obtener mediciones con una precisión final del $\pm 2.6\%$, dentro del rango normativo.

Conversión de Niveles de Señal

Dado que el sensor FS300A trabaja a 5 V, y las entradas digitales del CubeCell AB02 solo admiten 3.3 V, se incorporó un conversor de nivel lógico bidireccional de cuatro canales, su función es adaptar la señal y proteger al microcontrolador de sobrevoltajes, garantizando así la compatibilidad eléctrica entre los módulos.

TABLA 8

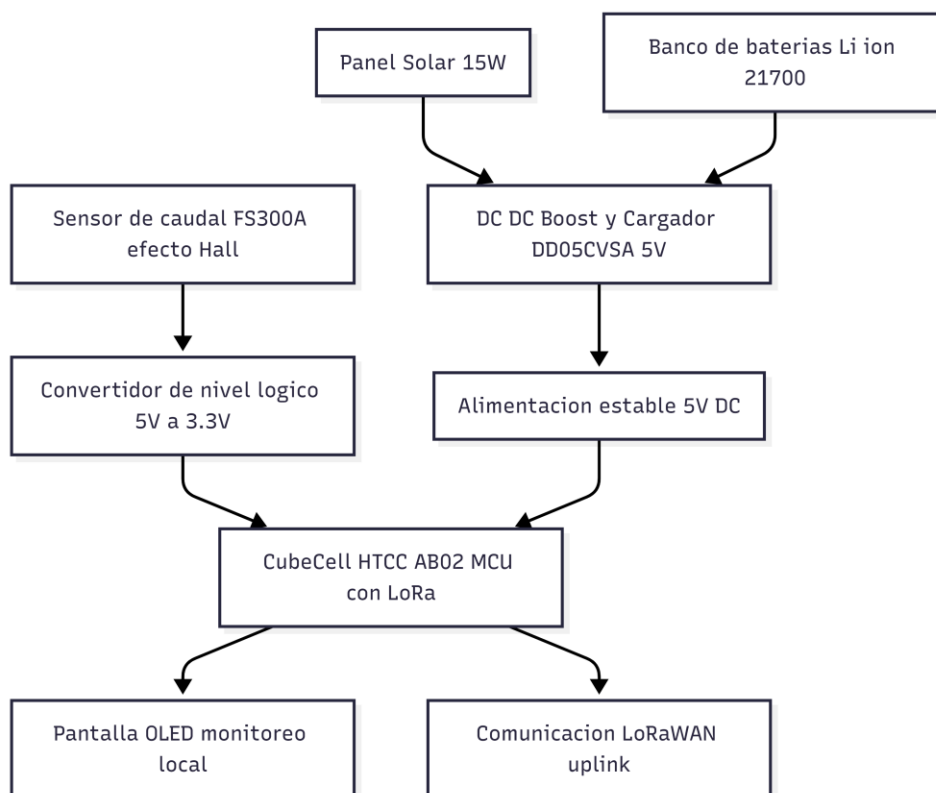
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL NODO DE AGUA

Componente	Modelo	Rango/Valor	Descripción Técnica
Microcontrolador	Heltec CubeCell AB02	32-bit ARM Cortex-M0+ / 48 MHz	SoC con LoRa SX1262 y OLED integrada
Sensor de Flujo	FS300A	1 – 60 L/min $\pm 3\%$	Sensor Hall de rotor plástico reforzado
Conversor de Nivel	4 CH Bidirectional Level Shifter	5 V $\leftrightarrow$ 3.3 V	Protección de señales digitales
Fuente de Energía	Módulo solar + booster DC-DC 5 V	15 W / 9 V – 1 A	Alimentación y carga autónoma

Diagramas del Nodo de Agua

FIGURA 16

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL NODO DE AGUA



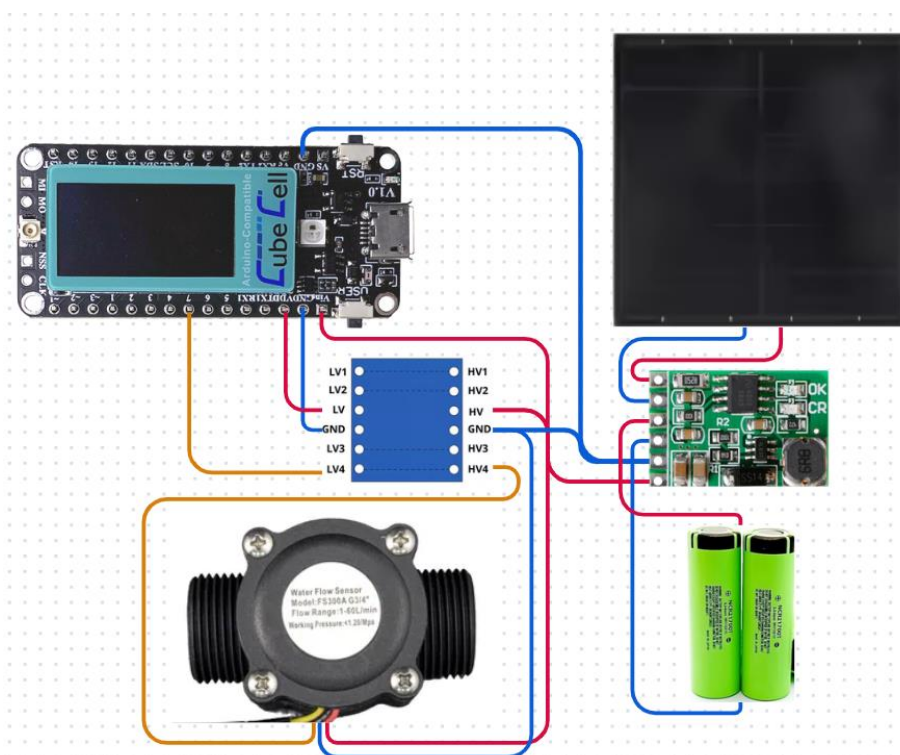
El diagrama describe la arquitectura funcional de un sistema autónomo de medición del volumen de agua, el proceso de adquisición inicia cuando el sensor FS300A genera una señal de pulsos proporcional al volumen del agua circulante. El sensor opera con 5V por ende la señal debe ser acondicionada mediante un convertidor lógico bidireccional que transforma la señal a 3.3V lo que garantiza la compatibilidad eléctrica con la unidad de procesamiento.

El núcleo del sistema es el CubeCell HTCC-AB02, el cual realiza el conteo de pulsos, la aplicación del factor de calibración y el procesamiento local de los datos del volumen de agua. La transmisión de la data hacia la infraestructura de red se realiza mediante comunicación LoRaWAN, asegurando el bajo consumo energético y el alcance.

La alimentación del nodo se basa en un esquema compuesto por un panel solar de 15W y un banco de baterías ion-litio, gestionados por un módulo DC-DC boost con la función de carga, entregando un nivel lógico de 5V exactos para todo el sistema, lo que garantiza autonomía y operatividad.

FIGURA 17

DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL NODO DE AGUA



El diagrama describe la implementación de los equipos con sus conexiones funcionales y eléctricas entre los distintos subsistemas que conforman la unidad de adquisición, el sensor FS300A se integra físicamente a la línea hidráulica, entregando señales de pulsos eléctricos, la interconexión contempla líneas diferenciadas para alimentación, referencia a tierra y señales, asegurando la correcta separación entre las señales y la alimentación.

Diseño Nodo de Energía Eléctrica

El nodo de energía eléctrica mide los parámetros eléctricos fundamentales mediante el módulo PZEM-004T V3.0, que permite la adquisición simultánea de tensión, corriente, potencia y energía acumulada. Este módulo soporta hasta 100 A AC, posee memoria EEPROM interna para almacenamiento local de lecturas y comunica los datos al microcontrolador a través de interfaz TTL (UART).

Este módulo no requiere calibración manual, ya que viene calibrado de fábrica bajo la norma IEC 62053-21. El CubeCell AB02 recibe los datos, los procesa y los transmite al gateway mediante LoRaWAN en intervalos configurables.

TABLA 9

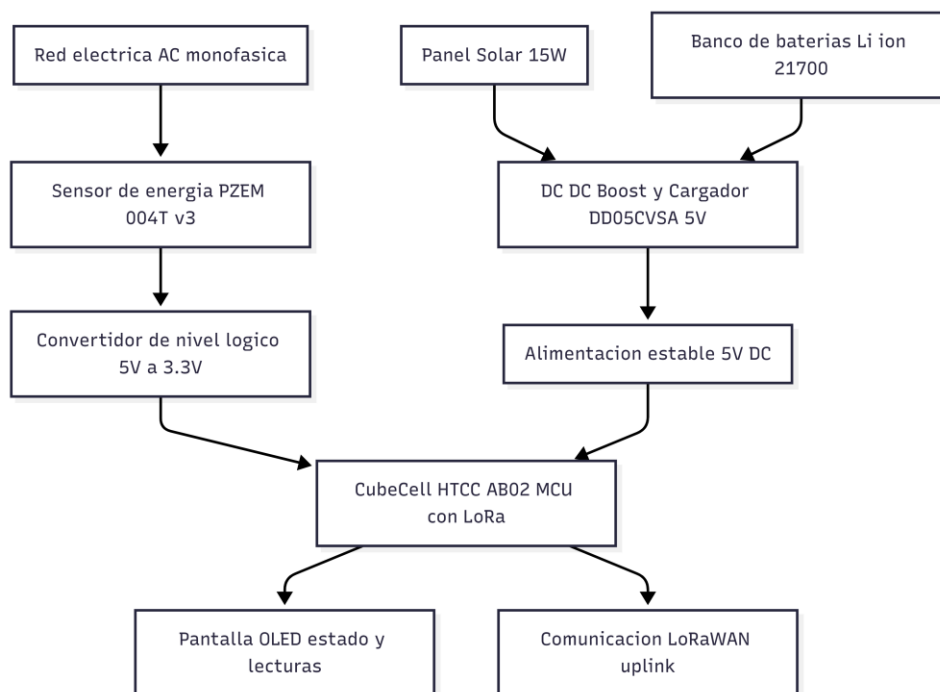
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Componente	Modelo	Rango de Operación	Interfaz/Precisión
Módulo de medición	Peacefair PZEM-004T V3.0	80–260 VAC / 0–100 A	UART TTL 5 V / ±1 % precisión
Microcontrolador	Heltec CubeCell AB02	3.3 – 5 V / LoRa SX1262	Comunicación LoRaWAN ABP
Conversor lógico	Level Shifter 4 CH	5 V → 3.3 V	Protección GPIO

Diagramas del Nodo de Energía Eléctrica

FIGURA 18

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

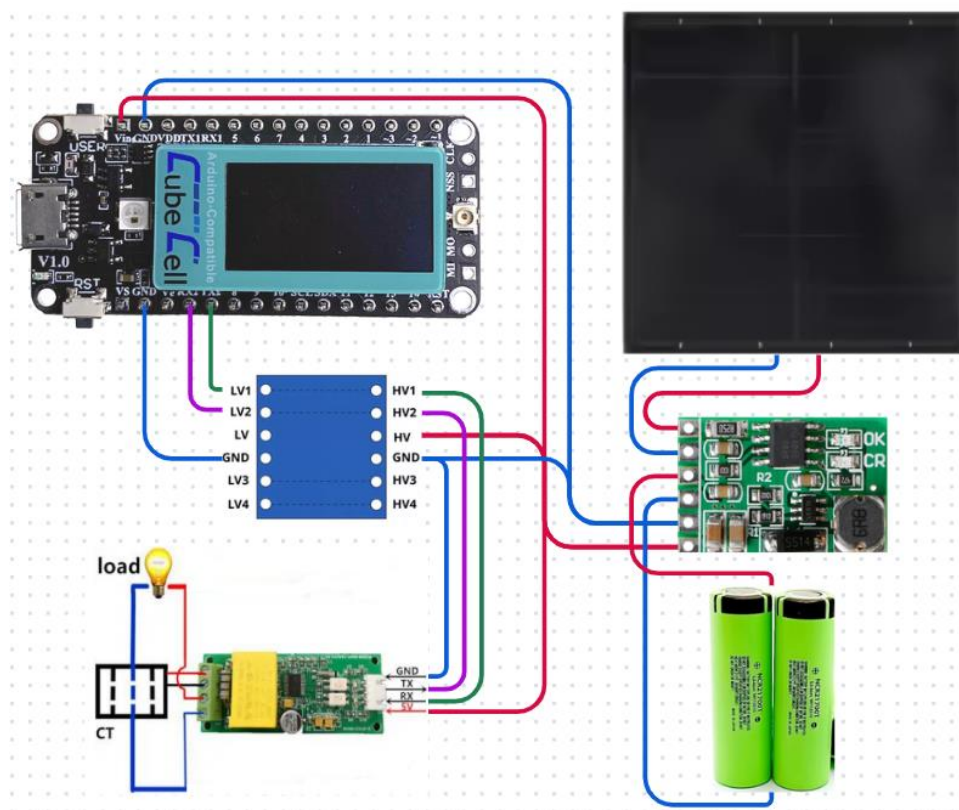


El diagrama de bloques representa el sistema de consumo en redes monofásicas de corriente alterna, orientado a aplicaciones de medición distribuida, la adquisición de las variables eléctricas se realiza con el sensor PZEM-004T v3, el cual mide tensión, corriente, potencia y energía a partir de la red eléctrica.

Los datos se obtienen del sensor y se transmiten mediante comunicación serial TTL hacia el sistema de control, dado que el sensor opera a un nivel de 5V, se incorpora un convertidor de nivel lógico adaptando las señales a 3.3V para la correcta comunicación con el microcontrolador CubeCell HTCC-AB02, el cual se encarga del procesamiento de las mediciones, la estructuración de los datos para su previo envío de forma remota.

La comunicación con la infraestructura de red se realiza mediante la tecnología LoRaWAN, lo que permite la transmisión de los datos hacia el Gateway.

FIGURA 19

DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El diagrama muestra la interconexión entre el sistema de medición monofásica, sistema de acondicionamiento lógico y la unidad de procesamiento, donde el transformador de corriente se acopla a la línea de carga para capturar la magnitud de corriente.

Las señales de comunicaciones del sensor, basadas en una interfaz serial UART, son enviadas hacia un convertidor de nivel lógico, donde se ajustan los niveles de tensión antes de su conexión a los pines de recepción y transmisión del microcontrolador.

Gateway LoRaWAN

El gateway Dragino LPS8N tiene la función de concentrador LoRaWAN y componente central de la capa de comunicación, se usó este dispositivo por su compatibilidad con código abierto y capacidad de operar múltiples canales simultáneamente.

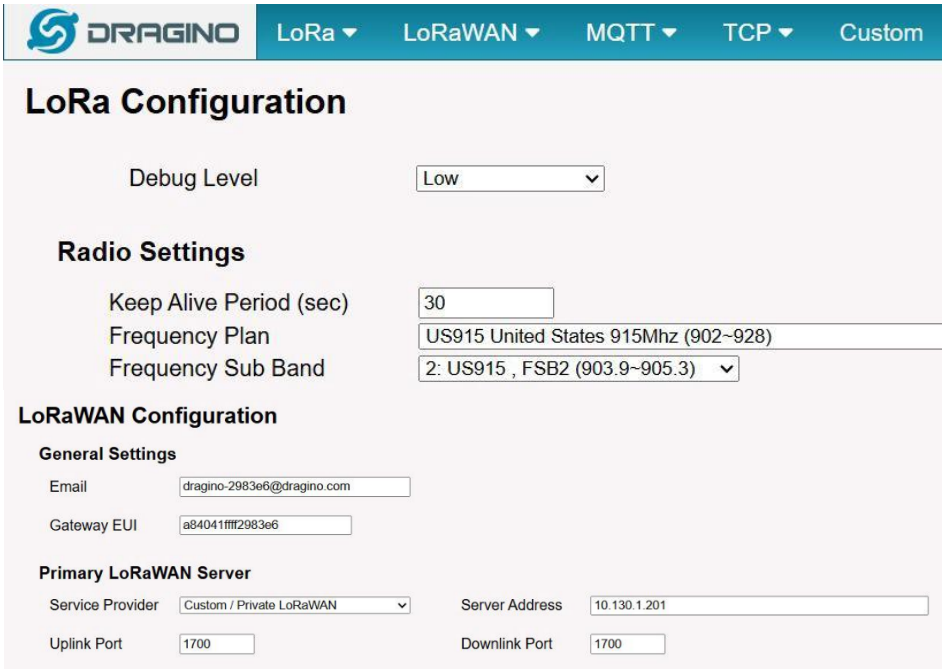
FIGURA 20

INTERFAZ WEB DEL GATEWAY

En el Gateway se establece la configuración correspondiente a la región de operación y a la sub-banda de frecuencias en la que trabaja el servidor TTS, así como también, la dirección del servidor LoRaWAN junto con los puertos de comunicación asociados y sus puertos para uplink y downlink, tal como se detalla en la figura 21.

FIGURA 21

CONFIGURACIONES PRIMARIAS DEL GATEWAY



DRAGINO LoRa ▼ LoRaWAN ▼ MQTT ▼ TCP ▼ Custom

LoRa Configuration

Debug Level

Radio Settings

Keep Alive Period (sec)

Frequency Plan

Frequency Sub Band

LoRaWAN Configuration

General Settings

Email

Gateway EUI

Primary LoRaWAN Server

Service Provider

Server Address

Uplink Port

Downlink Port

Con las configuraciones establecidas, el tráfico de los nodos es reconocido por el gateway y este transmite los datos al servidor LoRaWAN que se configuró previamente, tal como se detalla en la figura 22.

FIGURA 22

TRÁFICO DE DATOS EN EL GATEWAY

 LoRa ▾ LoRaWAN ▾ MQTT ▾ TCP ▾ Custom Network ▾ OpenVPN ▾ System ▾ LogRead ▾ Home Logout											
	Time	Message Type	Mod	Freq	Data Rate	CNT	Content				
▼	12/30-13:04:03	Data Unconfirmed Down	LoRa	926.3	SF7 BW500	4063	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 23				
▲	12/30-13:04:02	Data Unconfirmed Up	LoRa	904.9	SF7 BW125	86	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 17				
▼	12/30-12:52:06	Data Unconfirmed Down	LoRa	926.3	SF7 BW500	2514	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 23				
▲	12/30-12:52:05	Data Unconfirmed Up	LoRa	904.9	SF7 BW125	1952	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 17				
▼	12/30-12:04:03	Data Unconfirmed Down	LoRa	923.9	SF7 BW500	4062	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 23				
▲	12/30-12:04:02	Data Unconfirmed Up	LoRa	904.1	SF7 BW125	85	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 17				
▼	12/30-11:52:22	Data Unconfirmed Down	LoRa	925.1	SF7 BW500	2513	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 23				
▲	12/30-11:52:21	Data Unconfirmed Up	LoRa	904.5	SF7 BW125	1951	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 17				
▼	12/30-11:04:09	Data Unconfirmed Down	LoRa	925.1	SF7 BW500	4061	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 23				
▲	12/30-11:04:08	Data Unconfirmed Up	LoRa	904.5	SF7 BW125	84	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 17				
▼	12/30-10:52:50	Data Unconfirmed Down	LoRa	926.9	SF7 BW500	2512	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 23				
▲	12/30-10:52:49	Data Unconfirmed Up	LoRa	905.1	SF7 BW125	1950	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 17				
▼	12/30-10:04:20	Data Unconfirmed Down	LoRa	926.9	SF7 BW500	4060	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 23				
▲	12/30-10:04:20	Data Unconfirmed Up	LoRa	905.1	SF7 BW125	83	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 17				
▼	12/30-09:53:43	Data Unconfirmed Down	LoRa	924.5	SF7 BW500	2511	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 23				
▲	12/30-09:53:43	Data Unconfirmed Up	LoRa	904.3	SF7 BW125	1949	Dev Addr: 0058BFD3, Size: 17				
▼	12/30-09:05:18	Data Unconfirmed Down	LoRa	927.5	SF7 BW500	4059	Dev Addr: 00B6EAF3, Size: 23				

Servidor LoRaWAN

En el servidor The Things Stack, se registran los dispositivos de la red tanto el Gateway LoRaWAN como los nodos, de esta forma se tiene un control centralizado, monitoreo de los elementos activos y la administración de seguridad dado por la autenticación ABP. Este servidor se encuentra desplegado sobre una Raspberry Pi 5.

FIGURA 23

GATEWAY Y NODOS REGISTRADOS EN EL SERVIDOR

The screenshot displays the 'My gateways' section of The Things Stack. At the top, there are tabs for 'My gateways', 'All (Admin)', and 'Deleted (Admin)'. Below these is a search bar labeled 'Search gateways' and a blue button labeled '+ Register gateway'. A table lists the registered gateways:

NAME AND ID	GATEWAY EUI	STATUS	CREATED AT
LPS8N gateway-dragino-a259	A8 · · · E6	Connected	Dec 25, 2024

Below the gateway section, the 'Nodos' (Nodes) section is visible, showing the ID 'nodo-cubecell'. Underneath, the 'End devices' section is active, displaying a list of nodes:

NAME	LAST ACTIVITY
cube-nodo3	6 min. ago
cube-nodo2	24 min. ago

TTS establece comunicación con Node-Red mediante un token de autenticación, permitiendo el intercambio de datos hacia una base de datos no relacional orientada a objetos.

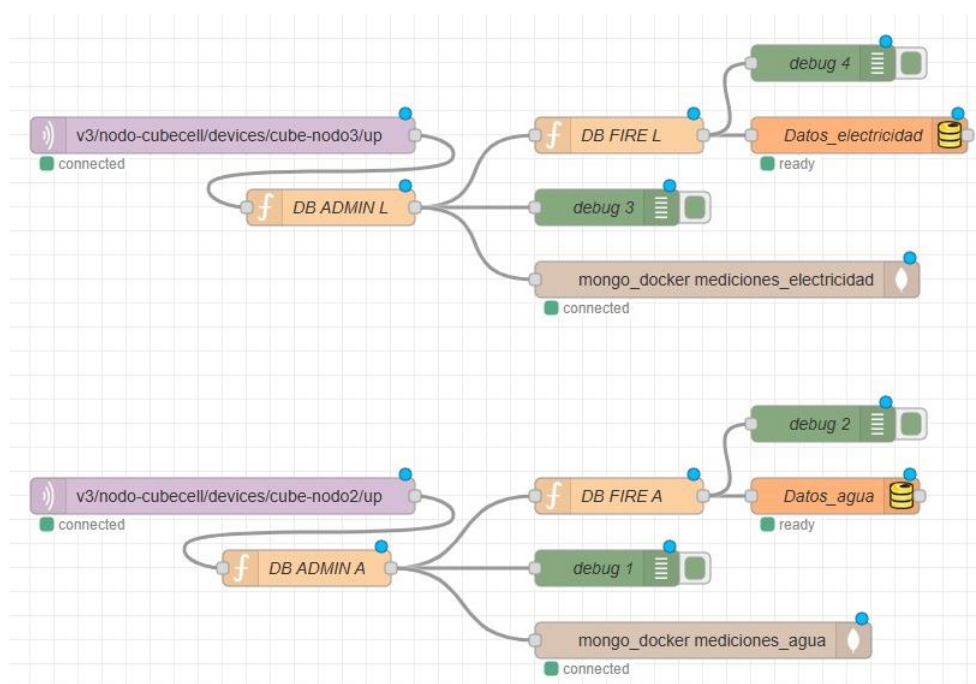
La Raspberry Pi 5, tiene 8 GB de RAM, con un sistema Raspberry Pi OS 12. Aquí se implementaron los servicios Node-RED, MQTT Broker y TTS Client, lo que la convierte en una infraestructura autosuficiente, garantizando operación continua durante las 24 horas debido a su bajo consumo.

Plataforma de gestión y Dashboard

La plataforma de gestión fue implementada sobre Node-RED, debido a su entorno de desarrollo gráfico, flexibilidad y compatibilidad con servicios MQTT y Real Time Database Firebase. La arquitectura de flujos empleada permite representar las operaciones mediante bloques funcionales que procesan los datos desde su recepción hasta su visualización.

FIGURA 24

NODOS REGISTRADOS EN NODE-RED



El flujo implementado en Node-RED ilustra la secuencia operativa que permite la gestión integral de los datos adquiridos a través de la red LoRaWAN. En una primera instancia, los nodos de entrada MQTT establecen una conexión con TTS, mediante la generación de una API, posibilitando la recepción de los mensajes estructurados provenientes de los dispositivos CubeCell desplegados en campo.

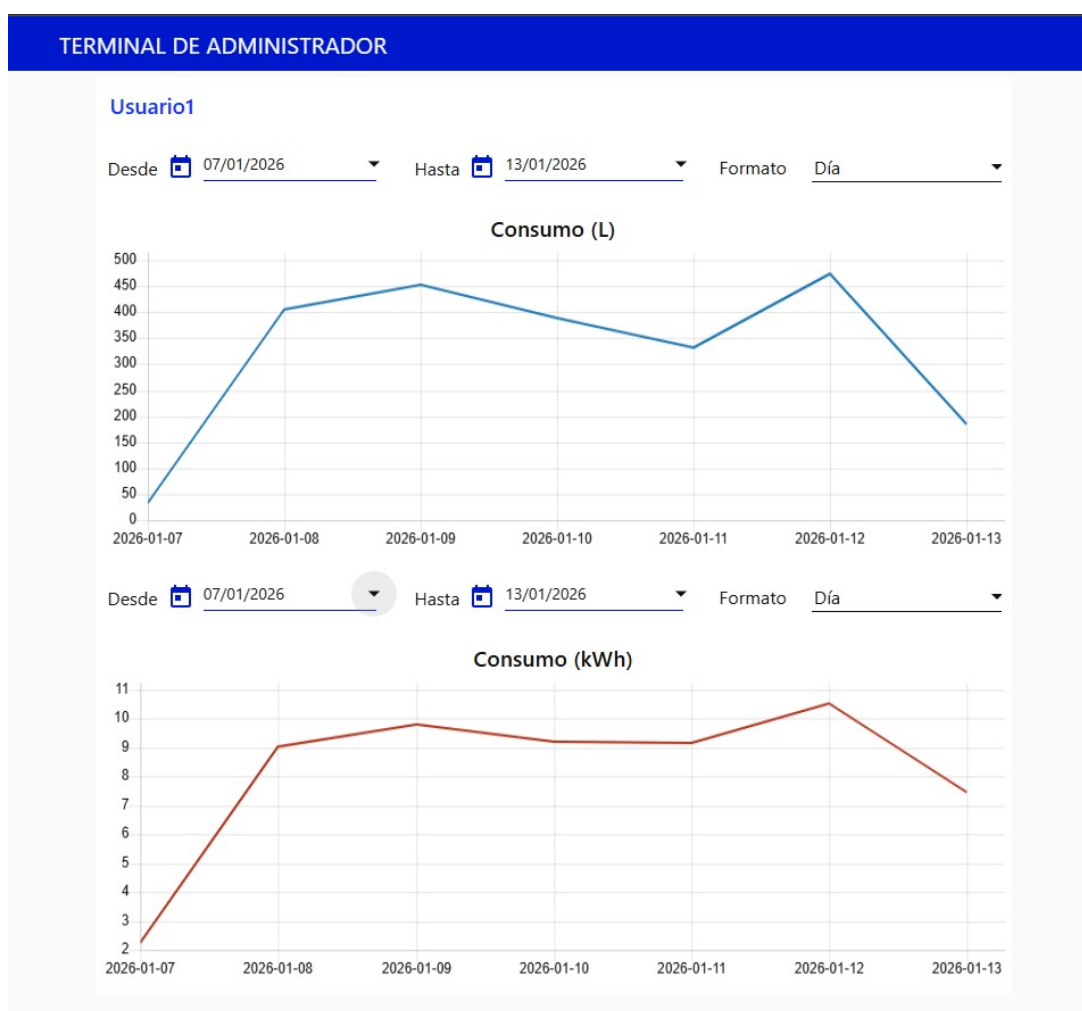
Posteriormente, los nodos de tipo Function ejecutan rutinas específicas orientadas al procesamiento de la información, lo que incluye tareas con el propósito de obtener datos

consistentes y estandarizados para su posterior carga a la nube. Cada flujo de procesamiento está asociado a una variable distinta del sistema: uno destinado al registro de magnitudes de energía eléctrica y otro al monitoreo del volumen de agua.

Los datos de Node-RED serán utilizados para la visualización de los parámetros medidos por los nodos en un dashboard de administración, de esta forma se tiene la gestión completa de los nodos activos.

FIGURA 25

DASHBOARD DE ADMINISTRADOR



Una vez normalizados los datos, son transferidos hacia los bloques Firebase Output, responsables de su almacenamiento seguro en la nube mediante una comunicación autenticada con la API REST de Firebase, garantizando la persistencia y disponibilidad de la información, además se envían a un almacenamiento local que hace la función de backup, usando un nodo mongodb out.

FIGURA 26

VENTANA DE RESUMEN FIREBASE

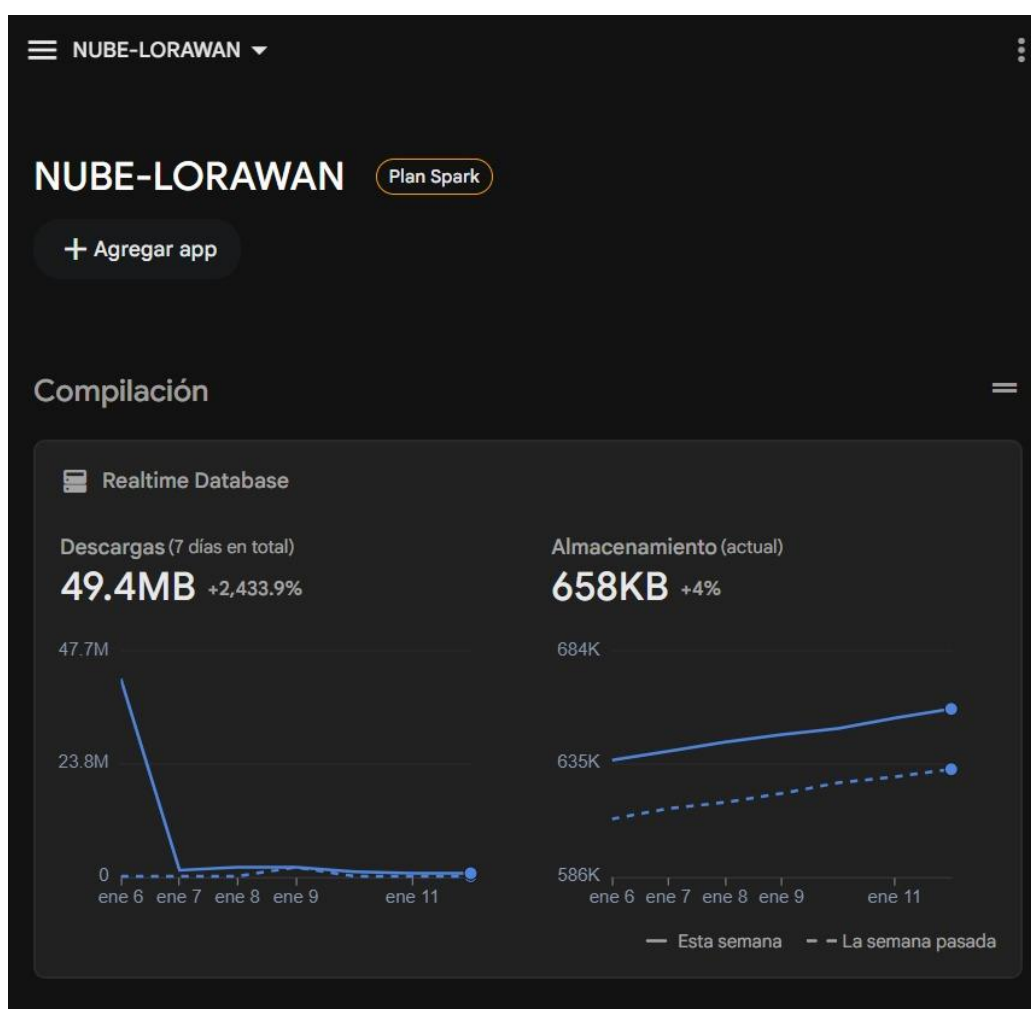


FIGURA 27

DATOS ALMACENADOS EN REALTIME DATABASE

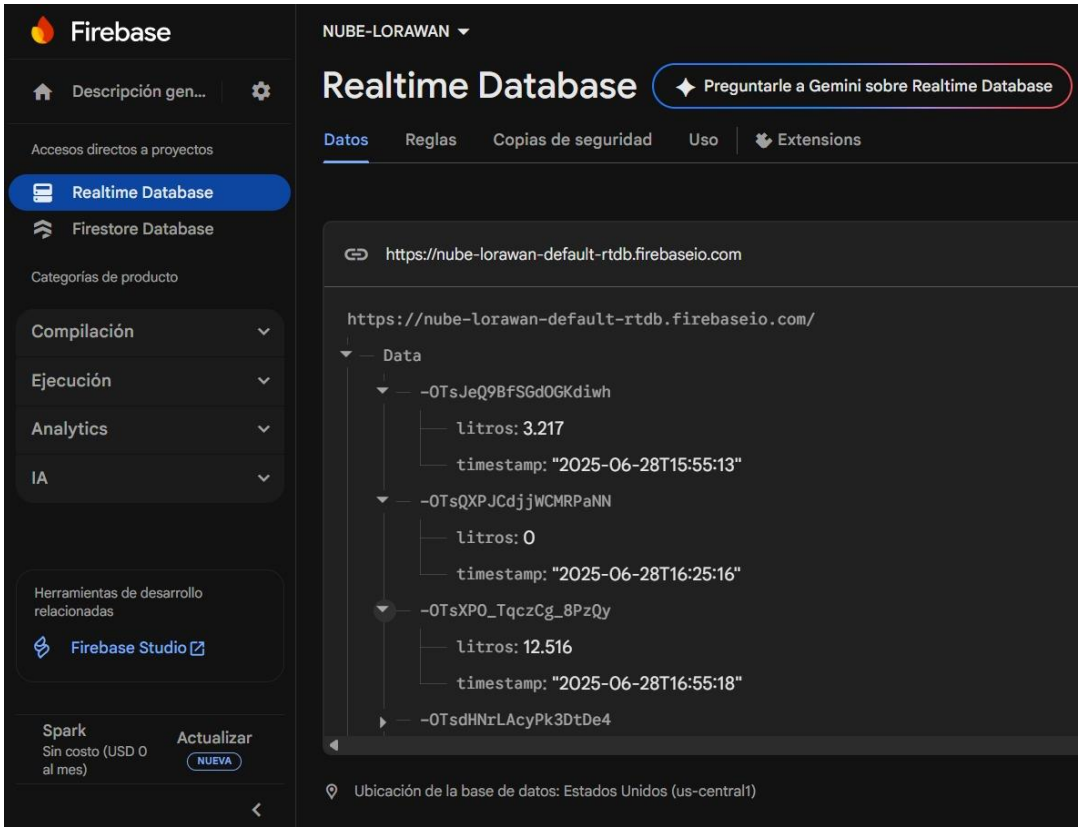


TABLA 10

BLOQUES FUNCIONALES EN NODE-RED

Bloque/Nodo	Función Principal	Descripción Técnica
MQTT Input	Recepción de datos desde TTS	Suscripción a la API MQTT proveniente de TTS para recibir los payloads LoRaWAN en formato JSON de los nodos CubeCell.
Function Node	Procesar de datos	Procesa y ordena los datos previo a su envío a las bases de datos o al dashboard.

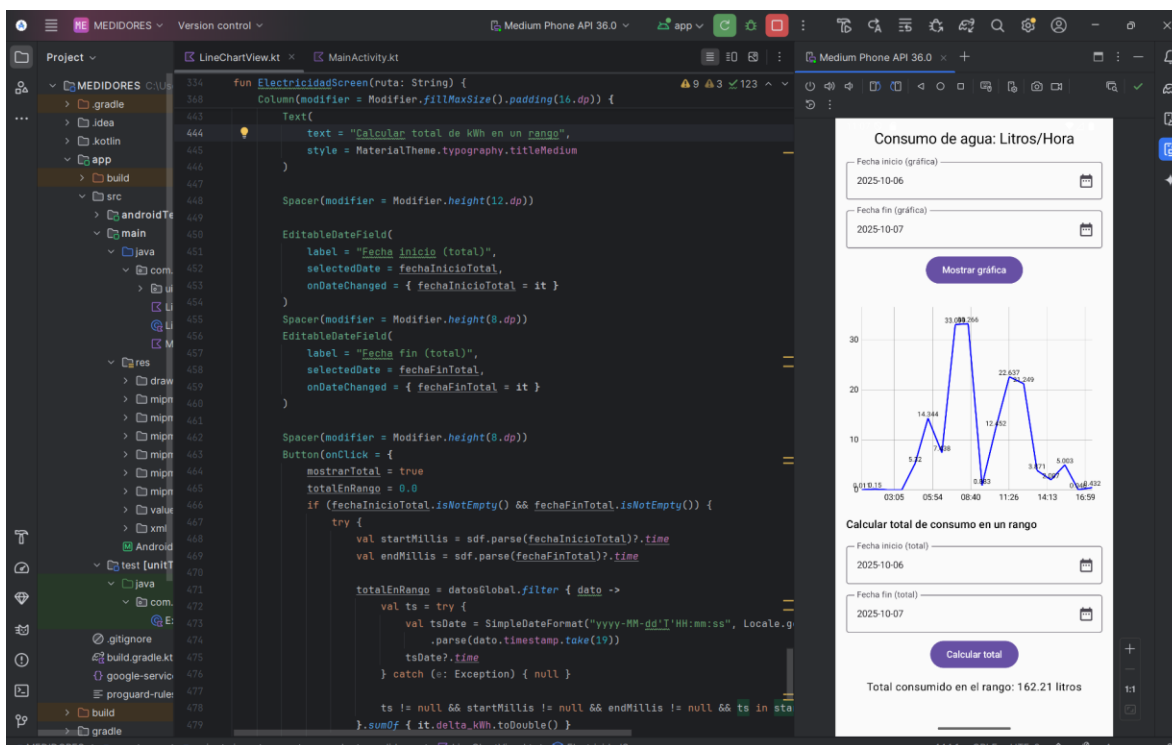
Firebase Output	Almacenamiento en la nube	Envía los datos procesados hacia la base de datos Firebase mediante una conexión autenticada vía API REST.
Mongodb out	Almacenamiento local	Guarda la data en la base de datos no relacional mongodb.

Los paneles de visualización integrados en el sistema permiten representar indicadores operativos en tiempo real, así como registros históricos y acumulativos de las variables monitorizadas.

Aplicación Móvil

La aplicación fue desarrollada en Android Studio e integra la API Firebase para la conexión entre la base de datos y la app móvil. El acceso se realiza mediante credenciales únicas, garantizando que cada usuario visualice exclusivamente los datos correspondientes a su propio nodo.

FIGURA 28

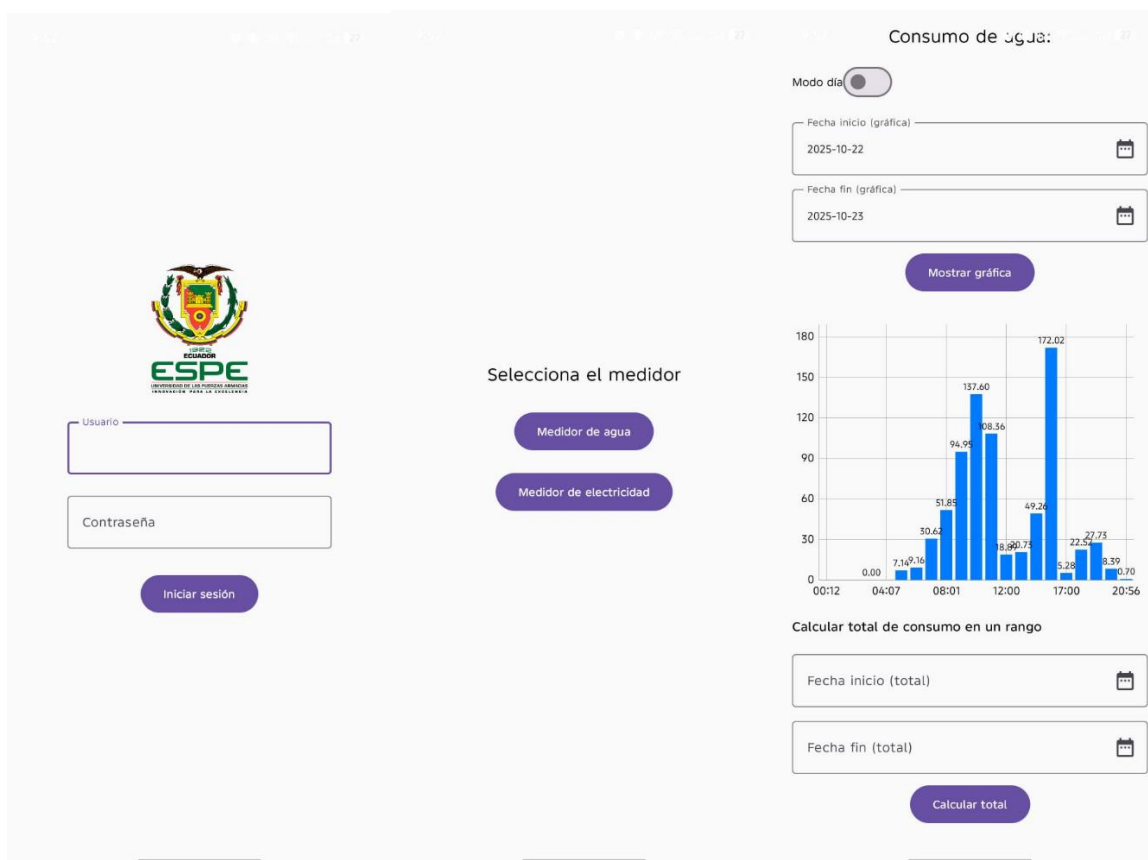
PLATAFORMA DE CONSULTA DE DATOS (ANDROID STUDIO)

La interfaz, construida bajo el patrón Model-View-Controller (MVC), permite la visualización de indicadores de consumo diario, semanal y mensual, así como gráficos de evolución. La comunicación con Real Time Database Firebase se ejecuta sobre el protocolo HTTPS, empleando tokens dinámicos generados automáticamente.

Debido a motivos de seguridad y privacidad cada usuario debe tener sus propias credenciales para el inicio de sesión en la app móvil, de esta manera se podrá ingresar a un panel que le permite seleccionar los medidores registrados.

FIGURA 29

INTERFAZ DE LA APLICACIÓN

**Implementación Física de NODOS****Diseño de Placas PCB**

Para los diseños de las placas se usó el software EasyEDA el cual permite el diseño, simulación, fabricación de esquemáticos y placas de circuitos impresos.

FIGURA 30

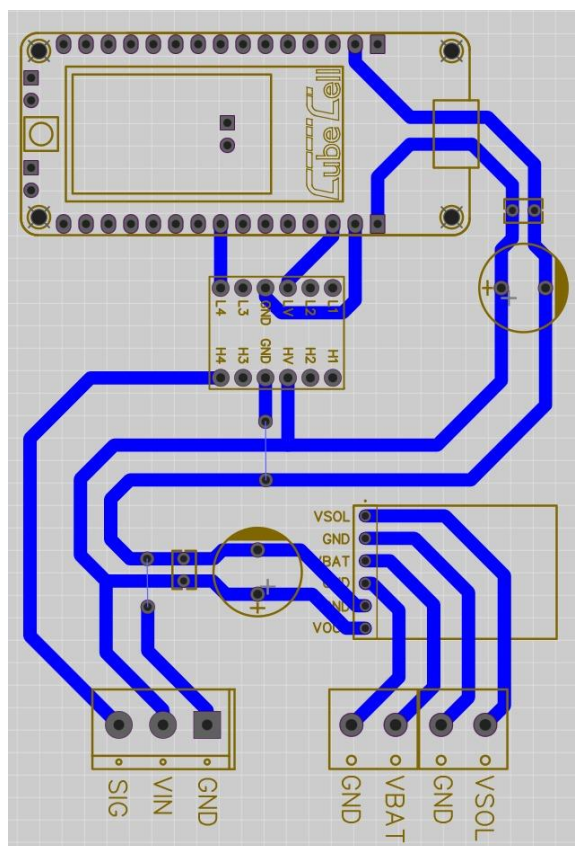
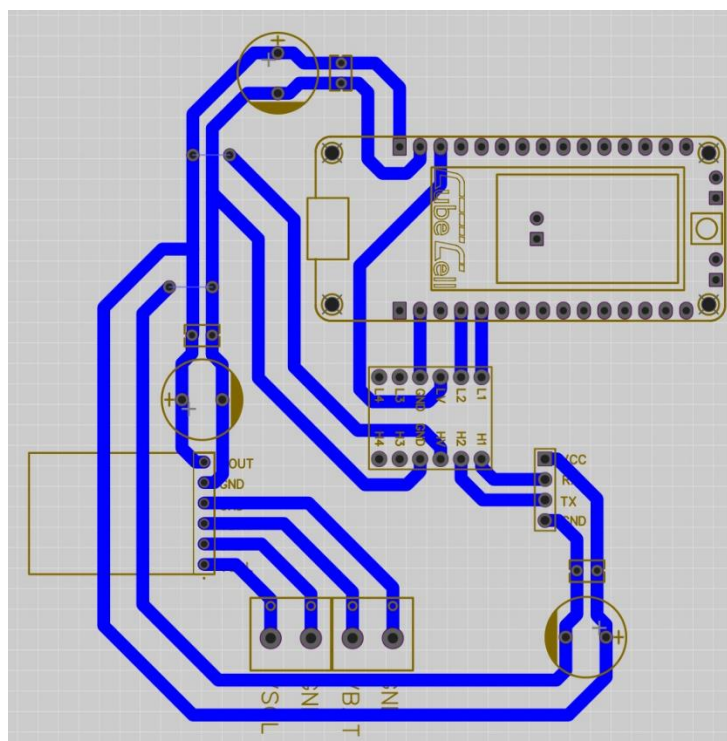
PLACA ESQUEMÁTICA PCB NODO DE AGUA

FIGURA 31

PLACA ESQUEMÁTICA PCB NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA



Nodo de Agua

FIGURA 32

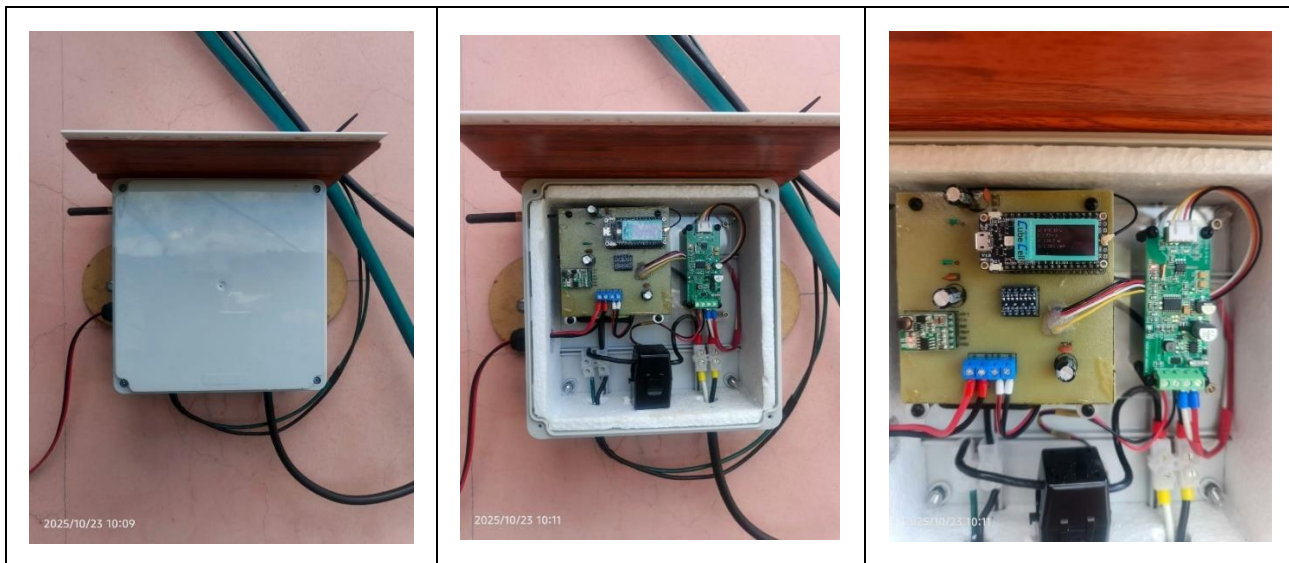
VISTAS FÍSICAS DEL NODO DE AGUA



Nodo de Energía Eléctrica

FIGURA 33

VISTAS FÍSICAS DEL NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA



Capítulo 5 Resultados

Consumo de agua con el medidor convencional

Los valores presentados indican el consumo de agua expresado en litros, registrado desde el 04/10/2025 hasta el 09/01/2026, en el medidor físico convencional que tiene la EPMAPS. Para recopilar los valores de las lecturas del consumo hídrico, se estableció un intervalo temporal semanal, en el transcurso de 14 semanas.

TABLA 11

CONSUMOS DEL MEDIDOR DE AGUA CONVENCIONAL

Intervalo de medición	Medición [litros]
04/10/2025 - 10/10/2025	3649.16
11/10/2025 - 17/10/2025	6571.66
18/10/2025 - 24/10/2025	3226.02

25/10/2025 - 31/10/2025	3703.93
01/11/2025 - 07/11/2025	3161.29
08/11/2025 - 14/11/2025	5175.38
15/11/2025 - 21/11/2025	6114.45
22/11/2025 - 28/11/2025	3867.74
29/11/2025 - 05/12/2025	3366.14
06/12/2025 - 12/12/2025	3630.37
13/12/2025 - 19/12/2025	4412.38
20/12/2025 - 26/12/2025	4036.24
27/12/2025 - 02/01/2026	4329.5
03/01/2025 - 09/01/2026	3272.19

Consumo de agua con el Nodo Implementado

Los valores presentados indican el consumo generado en litros desde el 04/10/2025 hasta el 09/01/2026, registrados por el sensor Hall FS300A y observados en el dashboard, los cuales fueron cuantificados semanalmente en el transcurso de 14 semanas.

TABLA 12

CONSUMOS DEL NODO DE AGUA IMPLEMENTADO

Intervalo de medición	Medición [litros]
04/10/2025 - 10/10/2025	3592.12
11/10/2025 - 17/10/2025	6649.46
18/10/2025 - 24/10/2025	3177.16
25/10/2025 - 31/10/2025	3657.35
01/11/2025 - 07/11/2025	3109.03

08/11/2025 - 14/11/2025	5243.97
15/11/2025 - 21/11/2025	6174.84
22/11/2025 - 28/11/2025	3812.92
29/11/2025 - 05/12/2025	3322.18
06/12/2025 - 12/12/2025	3573.36
13/12/2025 - 19/12/2025	4455.2
20/12/2025 - 26/12/2025	4078.54
27/12/2025 - 02/01/2026	4368.43
03/01/2025 - 09/01/2026	3217.64

Análisis de resultados del consumo de agua

TABLA 13

COMPARATIVA DEL CONSUMO HÍDRICO

Intervalo de medición	Medidor convencional [litros]	Nodo Agua [litros]	Error absoluto [litros]	Error relativo [%]
04/10/2025 - 10/10/2025	3649.16	3592.12	57.04	1.5631
11/10/2025 - 17/10/2025	6571.66	6649.46	77.8	1.1839
18/10/2025 - 24/10/2025	3226.02	3177.16	48.86	1.5146
25/10/2025 - 31/10/2025	3703.93	3657.35	46.58	1.2576
01/11/2025 - 07/11/2025	3161.29	3109.03	52.26	1.6531
08/11/2025 - 14/11/2025	5175.38	5243.97	68.59	1.3253
15/11/2025 - 21/11/2025	6114.45	6174.84	60.39	0.9877
22/11/2025 - 28/11/2025	3867.74	3812.92	54.82	1.4174

29/11/2025 - 05/12/2025	3366.14	3322.18	43.96	1.3059
06/12/2025 - 12/12/2025	3630.37	3573.36	57.01	1.5704
13/12/2025 - 19/12/2025	4412.38	4455.2	42.82	0.9705
20/12/2025 - 26/12/2025	4036.24	4078.54	42.3	1.0480
27/12/2025 - 02/01/2026	4329.5	4368.43	38.93	0.8992
03/01/2025 - 09/01/2026	3272.19	3217.64	54.55	1.6671

Para el cálculo del error relativo

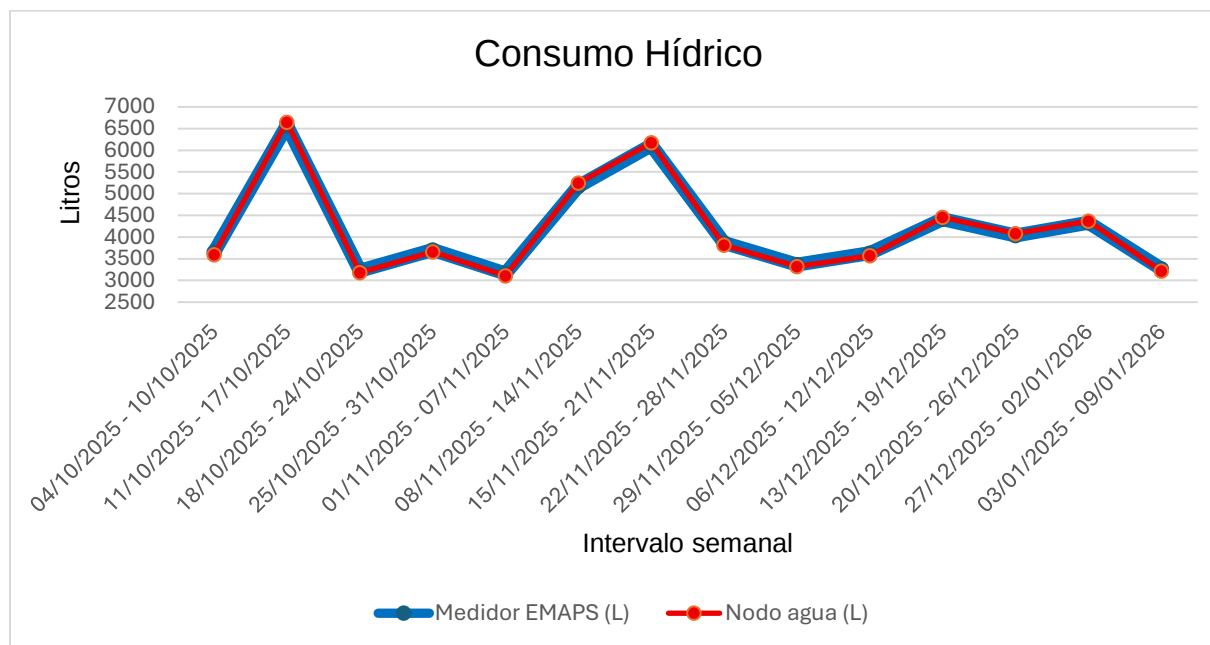
$$Error(\%) = \frac{|V_{conv} - V_{LoRa}|}{V_{conv}} (100)$$

El análisis comparativo entre el consumo de agua registrado por el medidor convencional de la EPMAPS y el nodo IoT basado en tecnología LoRa, evidencia que las diferencias observadas oscilan con valores mínimos por los intervalos semanales, lo que representa errores relativos entre el 0.89% y el 1.66%, los mismos que se sitúan dentro de los márgenes de error admitidos por las normativas internacionales aplicables a sistemas de medición volumétrica.

Técnicamente estos errores pueden ser por la naturaleza de medición que es basado en conteo de pulsos, mismo que son generados por el sensor FS300A, aquí pequeñas variaciones del caudal, turbulencias hidráulicas y discretización temporal del muestreo, influyendo en el cálculo acumulado del volumen.

FIGURA 34

PATRÓN DEL CONSUMO DE AGUA



En la figura 34 se observan los consumos de agua expresados en litros, los cuales son cuantificados semanalmente para el registro en el patrón del consumo hídrico.

Consumo de energía eléctrica con el medidor convencional

Estos valores indican el consumo generado en kWh desde el 04/10/2025 hasta el 09/01/2026, en el medidor físico convencional que tiene la empresa eléctrica Quito. Para recopilar los valores de las lecturas del consumo energético, se estableció un intervalo temporal semanal, en el transcurso de 14 semanas.

TABLA 14

CONSUMOS DEL MEDIDOR DE LUZ CONVENCIONAL

Intervalo de medición	Medición kWh
04/10/2025 - 10/10/2025	65
11/10/2025 - 17/10/2025	69

18/10/2025 - 24/10/2025	64
25/10/2025 - 31/10/2025	63
01/11/2025 - 07/11/2025	65
08/11/2025 - 14/11/2025	61
15/11/2025 - 21/11/2025	64
22/11/2025 - 28/11/2025	71
29/11/2025 - 05/12/2025	64
06/12/2025 - 12/12/2025	64
13/12/2025 - 19/12/2025	67
20/12/2025 - 26/12/2025	73
27/12/2025 - 02/01/2026	67
03/01/2025 - 09/01/2026	62

Consumo de energía eléctrica con el Nodo Implementado

Estos valores indican el consumo generado en kWh desde el 04/10/2025 hasta el 09/01/2026, registrados por el sensor PZEM-004 v3 y observados en el dashboard, los cuales fueron cuantificados semanalmente en el transcurso de 14 semanas.

TABLA 15

CONSUMOS DEL NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA IMPLEMENTADO

Intervalo de medición	Medición kWh
04/10/2025 - 10/10/2025	64.98
11/10/2025 - 17/10/2025	69.18
18/10/2025 - 24/10/2025	64
25/10/2025 - 31/10/2025	63.02

01/11/2025 - 07/11/2025	65.79
08/11/2025 - 14/11/2025	61.52
15/11/2025 - 21/11/2025	64.04
22/11/2025 - 28/11/2025	70.98
29/11/2025 - 05/12/2025	64.08
06/12/2025 - 12/12/2025	64.58
13/12/2025 - 19/12/2025	67.15
20/12/2025 - 26/12/2025	73.63
27/12/2025 - 02/01/2026	67.9
03/01/2025 - 09/01/2026	62.88

Análisis de resultados del consumo energético

TABLA 16

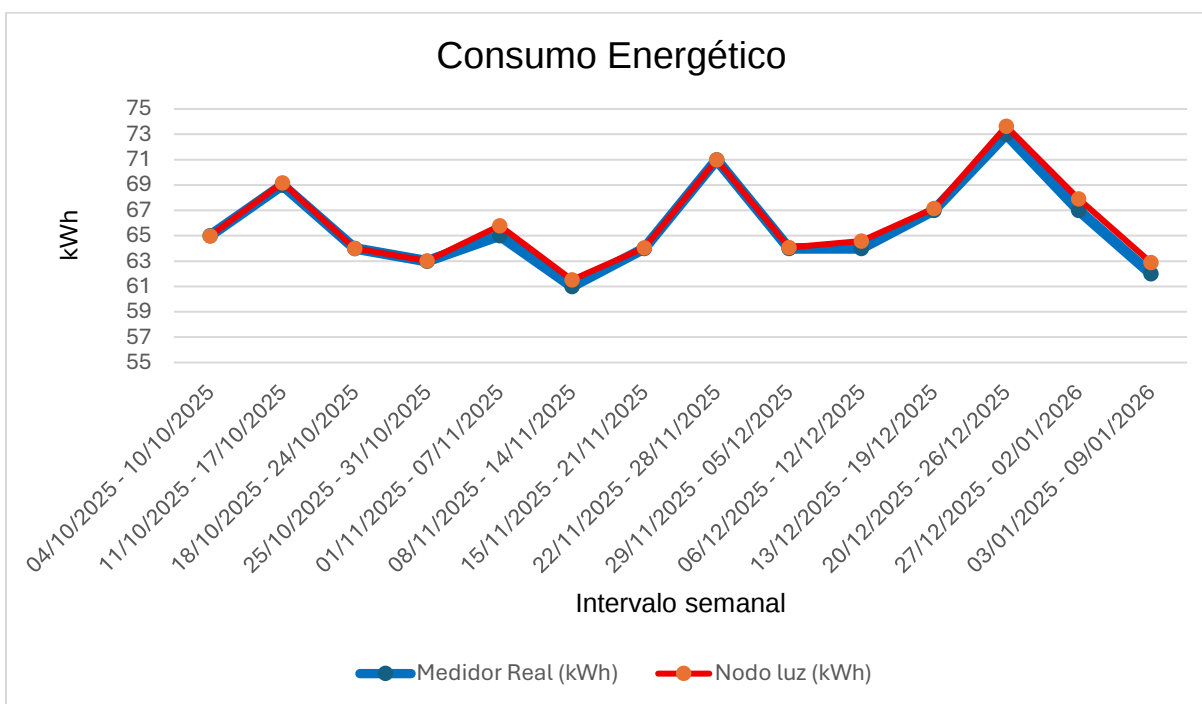
COMPARATIVA DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Intervalo de medición	Medidor convencional [kWh]	Nodo Luz [kWh]	Error absoluto [kWh]	Error relativo [%]
04/10/2025 - 10/10/2025	65	64.98	0.02	0.0308
11/10/2025 - 17/10/2025	69	69.18	0.18	0.2609
18/10/2025 - 24/10/2025	64	64	0	0.0000
25/10/2025 - 31/10/2025	63	63.02	0.02	0.0317
01/11/2025 - 07/11/2025	65	65.79	0.79	1.2154
08/11/2025 - 14/11/2025	61	61.52	0.52	0.8525
15/11/2025 - 21/11/2025	64	64.04	0.04	0.0625

22/11/2025 - 28/11/2025	71	70.98	0.02	0.0282
29/11/2025 - 05/12/2025	64	64.08	0.08	0.1250
06/12/2025 - 12/12/2025	64	64.58	0.58	0.9062
13/12/2025 - 19/12/2025	67	67.15	0.15	0.2239
20/12/2025 - 26/12/2025	73	73.63	0.63	0.8630
27/12/2025 - 02/01/2026	67	67.9	0.9	1.3433
03/01/2025 - 09/01/2026	62	62.88	0.88	1.4194

La comparación entre el medidor y el nodo IoT muestra una buena precisión en la toma de las lecturas acumuladas, con errores relativos que, en su gran mayoría, están por debajo del 1.41%, las variaciones detectadas se atribuyen principalmente a la diferencia en la resolución de los sistemas de medición, debido a que el nodo registra valores con precisión decimal, mientras que el medidor convencional proporciona lecturas con valores enteros.

FIGURA 35

PATRÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En la figura 35 se observan los consumos de energía eléctrica expresados en kWh, los cuales son cuantificados semanalmente para el registro en el patrón del consumo energético.

Análisis de Gastos y Presupuesto

El presupuesto del proyecto se estructura de la siguiente manera: Gateway, concentrador de servicios IoT, nodo de medición del volumen de agua y nodo de medición de energía eléctrica, dicha segmentación permite evaluar la distribución del costo de cada subsistema dentro de la solución global.

Gateway LoRaWAN

El Gateway es un componente crítico dentro de la infraestructura del proyecto, debido a su acción en la recepción y retransmisión de los datos de cada sensor, ofrece soporte nativo para LoRaWAN, conectividad IP, compatibilidad con MQTT y su configuración avanzada.

TABLA 17

PRESUPUESTO GATEWAY LoRa

Gateway			
Producto	Cantidad	precio unitario [\$]	Total [\$]
LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway WIFI 3G 4G Cellular	1	214.88	214.88
Waterproof 915MHz External LoRawan Antenna 2 dBi	1	10.68	10.68
Connector SMA/RP-SMA Male to RP-SMA/SMA Female	1	3.22	3.22
TOTAL			\$ 228.78

Concentrador de Servicios IoT

Se basa en un Raspberry Pi 5, el cual actúa como el núcleo encargado del procesamiento, almacenamiento y visualización de la información.

TABLA 18

PRESUPUESTO CONCENTRADOR DE SERVICIOS

Concentrador de Servicios IoT			
Producto	cantidad	precio unitario [\$]	Total [\$]
Raspberry Pi 5 8GB	1	97.87	97.87
SanDisk Extreme microSDXC UHS-I de 256 GB	1	34.99	34.99

TOTAL	\$ 132.86
-------	-----------

Nodo LoRaWAN de Agua

El nodo integra un conjunto de componentes diseñados específicamente para la medición del volumen de agua, la transmisión eficiente de los datos adquiridos y el funcionamiento autónomo del sistema.

TABLA 19

PRESUPUESTO NODO DE AGUA

Nodo Lorawan Agua			
Producto	cantidad	precio unitario [\$]	Total [\$]
Heltec-Placa de desarrollo de HTCC-AB02 CubeCell Plus	1	34.44	34.44
Sensor De Caudal Flujo De Agua Fs300a 3/4	1	15.2	15.2
Conversor Nivel Lógico Bidereccional 4ch 3.v 5v I2c	1	1.55	1.55
Charger 5V Discharger Board DC DC Converter Boost Module	1	1.82	1.82
Mini Solar Panel 5W 6V Cell Module Photovoltaic Board Outdoor	1	10.42	10.42
Batería recargable 21700, 3,7 V, 4800mAh	2	5.75	11.5
Soporte de batería 21700 de 2 ranuras	1	1.18	1.18

Placa impresa en baquelita FR4	1	7.5	7.5
Caja plastica IP65	1	12.5	12.5
		TOTAL	\$ 96.11

Nodo LoRaWAN de Energía Eléctrica

Este nodo integra un sensor con módulo de medición eléctrica, el cual cuenta con calibración de fábrica y memoria interna, estas características son importantes ya que facilitan la implementación al reducir la necesidad de realizar configuraciones adicionales.

TABLA 20

PRESUPUESTO NODO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Nodo Lorawan Electricidad			
Producto	cantidad	precio unitario [\$]	Total [\$]
Heltec-Placa de desarrollo de HTCC-AB02 CubeCell Plus	1	34.44	34.44
PZEM 004T 4,0 vatímetro monofásico Kwh medidor 220V 100A	1	26	26
Conversor Nivel Lógico Bidereccional 4ch 3.v 5v I2c	1	1.55	1.55
Charger 5V Discharger Board DC DC Converter Boost Module	1	1.82	1.82
Mini Solar Panel 5W 6V Cell Module Photovoltaic Board Outdoor	1	10.42	10.42

Batería recargable 21700, 3,7 V, 4800mAh	2	5.75	11.5
Soporte de batería 21700 de 2 ranuras	1	1.18	1.18
Placa impresa en baquelita FR4	1	14.5	14.5
Caja plastica IP65	1	18	18
TOTAL			\$ 119.41

Costo Global del Proyecto

La tabla 21 detalla la inversión total asociada a los principales componentes que conforman el proyecto, se desglosan los valores correspondientes al gateway, el concentrador de servicios IoT, el nodo hídrico y el nodo energético.

TABLA 21

INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO

Producto / Servicio	Inversión [\$]
Gateway	228.78
Concentrador de servicios IoT	132.86
Nodo Hídrico	96.11
Nodo Energético	119.41
TOTAL	\$ 577.16

Conclusiones

- Se diseñó una arquitectura de red IoT basada en LoRaWAN integrando dos nodos de medición, un gateway LoRaWAN, un servidor de red y la aplicación,

los cuales permitieron la comunicación entre los nodos de medición y la plataforma de gestión. En la figura 12 se detalló que la arquitectura tiene 3 capas principales que son: sensado, comunicación y aplicación, con el fin de tener un diseño de baja potencia, escalable y que asegure interoperabilidad del sistema.

- Se implementaron los nodos de consumo de energía eléctrica y volumen de agua integrándolos con módulos de comunicación LoRaWAN de bajo consumo, sensores y microcontroladores, evidenciándose en la figura 32 el Nodo del consumo del volumen de agua y en la figura 33 el nodo del consumo de energía eléctrica, ambos funcionando correctamente, registrando de forma periódica los datos y transmitiéndolos al servidor.
- Se desarrolló la plataforma de gestión en la nube basada en RealTime Database Firebase tal como se evidencia en la figura 26 en donde se visualiza un patrón con el registro de la información en tiempo real del volumen total de datos descargados y el patrón de crecimiento de los datos almacenados en la plataforma. De igual manera en la figura 27 se puede visualizar los datos que se guardan en Real Time Database FireBase para posteriormente ser visualizados en los dashboards de administrador visualizado en la figura 25 y en la app móvil como lo indica la figura 29.
- Se realizó la comparativa de los consumos del volumen de agua, en la tabla 13 se evidencia que, existe concordancia entre las mediciones realizadas por el nodo LoRaWAN y el medidor convencional, registrando un error relativo por debajo del 1.7%, confirmando la capacidad del nodo para realizar lecturas remotas precisas. La comparativa del consumo de energía eléctrica de la tabla 16 evidencia un desempeño aun mas preciso con errores relativos inferiores al 1% en su mayoría, evidenciando que el sistema es apto para aplicaciones de

monitoreo energético y análisis de consumos en entornos residenciales y comerciales.

- Los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto de integración curricular indican que el sistema implementado cumple con los objetivos planteados, demostrando que la combinación de tecnologías IoT y LoRaWAN representa una solución técnicamente viable y eficiente para la medición inteligente del volumen de agua y energía eléctrica.
- La ejecución del proyecto no solo responde con soluciones a las necesidades actuales de digitalización y sostenibilidad, sino que también aporta una visión para futuras ampliaciones del sistema, como la detección predictiva de fallas o integración con infraestructuras de ciudades inteligentes.

Bibliografía

Huang, C., Zhang, W., & Xue, L. (2022). Virtual reality scene modeling in the context of Internet of Things. *Alexandria Engineering Journal*, 5949-5958.

(ITU), I. T. (2023). *Overview of the Internet of Things*. Obtenido de Overview of the Internet of Things.

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2024). *Informe estadístico del sector eléctrico ecuatoriano*. Quito, Ecuador: ARCONEL.

Aloi, G., Caliciuri, G., Fortino, G., Gravina, R., Pace, P., Savaglio, C., & Spezzano, G. (2020). LoRaWAN and NB-IoT in smart city applications: A comparative study. *Sensors*, 1567-1582.

Al-Sammak, A., Kashani, M., & Kolobe, M. (2025). Scalability analysis of LoRaWAN networks under dense deployment scenarios.

Al-Sammak, A., Kashani, M., & Kolobe, M. (2025). Security architecture and mechanisms in LoRaWAN networks for low-power IoT devices. *IEEE Internet of Things Journal*.

Amazon Web Services, Inc. (2025). *Amazon Web Services, Inc.* Obtenido de <https://aws.amazon.com/es/nosql/>

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2021). Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role. *Computer Networks*.

Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors*.

Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors*.

Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors*.

Cabrera, P., Rodríguez, D., & Hidalgo, L. (2024). Implementación de red LoRaWAN para monitoreo ambiental urbano en Cuenca. *Revista Tecnológica de la Universidad de Cuenca*, 44-52.

Centenaro, M., Vangelista, L., & Zanella, A. (2021). Long-range low-power communication networks for IoT: Comparative analysis and open issues. *IEEE Internet of Things Journal*, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3018821>.

De Oliveira, L. R., Moraes, P., & Conceição, A. F. (2023). Review of LoRaWAN applications in water management. *Brazilian Journal of IoT and Smart Systems*, 210-228.

Dragino Technology Co., Ltd. (2025). *Dragino*. Obtenido de <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/200-lps8n.html>

Electronics, A. (s.f.). *AV Electronics*. Obtenido de [https://avelectronics.cc/producto/raspberry-pi-4-model-b-](https://avelectronics.cc/producto/raspberry-pi-4-model-b-4gb/?srsltid=AfmBOop6HvFF2Wt4o2B8GNDmFDg8h6MSvKCe9qCmNgy5RSBqC1d1pvnp)

[4gb/?srsltid=AfmBOop6HvFF2Wt4o2B8GNDmFDg8h6MSvKCe9qCmNgy5RSBqC1d1pvnp](https://avelectronics.cc/producto/raspberry-pi-4-model-b-4gb/?srsltid=AfmBOop6HvFF2Wt4o2B8GNDmFDg8h6MSvKCe9qCmNgy5RSBqC1d1pvnp)

Ferrari, P., Sisinni, E., & Flammini, A. (2018). Evaluation of communication technologies for smart metering infrastructures. *IEEE Sensors Journal*, 1578-1588.

Ferrari, P., Sisinni, E., Depari, A., & Flammini, A. (2018). On the use of LPWAN for IoT: The coverage challenge. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.

Google LLC. (2025). *Firebase Documentation*. Obtenido de Firebase:

<https://firebase.google.com/docs/database?hl=es-419>

Gutiérrez, F., & Salcedo, J. (2024). Arquitectura híbrida LoRaWAN–NB-IoT para monitoreo energético. *Revista Colombiana de Ingeniería Electrónica*, 66-75.

Haider, M., & Zhao, W. (2024). Energy-efficient LPWAN networks for smart metering: A review. *IEEE Access*.

Heltec Automation Co., Ltd. (s.f.). *Heltec Official Website*. Obtenido de

<https://heltec.org/project/htcc-ab02/>

Ikpehai, A., Adebisi, B., & Rabie, K. M. (2019). Broadband PLC for smart grid applications: A review. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 528-558.

Ikpehai, A., Adebisi, B., & Rabie, K. M. (2019). Low-power wide area network technologies for smart metering applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 372–406.

Ikpehai, A., Adebisi, B., Rabie, K. M., Anoh, K., Ande, R. E., Hammoudeh, M., . . . Mbanaso, U. M. (2019). Low-power wide area network technologies for Internet-of-Things: A comparative review. *IEEE Internet of Things Journal*, 2225-2240.

InnovatorsGuru. (2019). *InnovatorsGuru*. Obtenido de <https://innovatorsguru.com/pzem-004t-v3/>

Kashani, M., Kolobe, M., & Al-Sammak, A. (2025). Smart water metering systems based on wireless sensor networks and IoT technologies.

Kashani, S., Kolobe, M., & Al-Sammak, M. (2025). Smart water management IoT applications using LoRaWAN. *Journal of Smart Water Systems*, 45-58.

Khan, J. K. (2024). *A review on 5G and beyond wireless communication channel models: Applications and challenges*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874490724002064?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=8e9329953d64c2cc

Liu, S., Huang, T., & Choi, J. (2022). Wi-SUN and LoRaWAN coexistence: Performance and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 58-64.

LoRa Alliance. (2023). *LoRa Alliance*. Obtenido de LoRa Alliance: https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-security/

LoRa Alliance. (2024). *LoRa Alliance*. Obtenido de LoRa Alliance: https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification/

LoRa Alliance. (2024). *LoRaWAN specification update report*. San Ramon, CA.

Marcul, L., Brzozowski, M., & Janicki, A. (2024). System for measurement of electric energy using beacons with optical sensors and LoRaWAN transmission. *Sensors*, 1-10.

Micro Robotics. (2025). *Robotics.org.za*. Obtenido de <https://www.robotics.org.za/LEVEL-4P>

Micro Robotics. (2025). *Robotics.org.za*. Obtenido de <https://www.robotics.org.za/DD05CVSA-5V>

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL). (2024).

Informe sobre el estado de la digitalización de infraestructuras de servicios públicos en Ecuador. Quito: Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

OpenJS Foundation. (2025). *Node-RED*. Obtenido de <https://nodered.org/>

Oracle Corporation. (2025). *MySQL*. Obtenido de

<https://www.mysql.com/products/enterprise/database/>

Patel, M., & Sharma, R. (2025). Design and implementation of smart energy meter using LoRa-WAN and IoT applications. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 123-130.

Patel, R., & Sharma, S. (2025). IoT-based smart metering systems using LoRaWAN for real-time monitoring and resource optimization. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 1-12.

Patel, R., & Sharma, V. (2025). Smart electricity metering based on LoRaWAN for energy monitoring and tariff management.

Pi, R. (s.f.). *Raspberry Pi*. Obtenido de

<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>

Ramírez, F., Soto, P., & Fuentes, R. (2023). Evaluación de redes LoRaWAN para monitoreo energético en zonas rurales de Chile. *Revista Chilena de Ingeniería Eléctrica*, 55-68.

Raspberry Pi Ltd. (2025). *Raspberry Pi*. Obtenido de

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>

Reddy, S. (2024). Cloud platforms and data management architectures for LoRaWAN-based IoT systems.

- Reddy, T. S. (2024). Development of a low-cost IoT system based on LoRaWAN for monitoring electrical variables. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 89-95.
- Sisinni, E., Fernandes Carvalho, D., Ferrari, P., Flammini, A., Depari, A., Silva, D. R., & Da Silva, I. M. (2018). Enhanced flexible LoRaWAN node for industrial IoT. *2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)* (págs. 1-4). Imperia, Italy: IEEE.
- SSDI Electronics . (s.f.). *SSDIElect*. Obtenido de <https://ssdielect.com/sensores-para-liquidos/2629-fs300a.html>
- Sundaram, J., Du, X., & Zhao, M. (2019). Interoperability challenges and standardization of LPWAN technologies for IoT applications. *IEEE Communications Standards Magazine*, 92-99.
- UN DESA. (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024*. New York, United States of America: United Nations.
- UN-Habitat. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat).
- UNIDO. (2023). *Industrial Development Report 2023: Industrializing in a Digital Age*. Vienna, Austria: United Nations Industrial Development Organization (UNIDO).
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2023). *Industrial Development Report 2023: Fostering innovation and sustainable infrastructure*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- United Nations Industrial Development Organization. (2023). *Annual Report 2023*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.

UN-Water. (2023). *SDG 6 Synthesis Report 2023: Water and Sanitation for All*. Ginebra, Suiza:

UN-Water (United Nations Inter-Agency Coordination Mechanism for Water and Sanitation).

Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2019). Star-of-stars network architecture and scalability aspects in LoRaWAN systems. *Sensors*.

Vega, J., & Muñoz, C. (2023). Sistema de monitoreo remoto de niveles de agua con LoRa y Raspberry Pi. *Revista Politécnica*, 122-130.

Wang, Y., Chen, Q., Hong, T., & Kang, C. (2023). Review of smart meter data analytics: Applications, methodologies, and challenges. *Energy Reports*, 2201-2218.

Wang, Y., Chen, X., Hong, K., & Kang, S. (2023). Advanced data analytics for smart metering systems: consumption pattern analysis and anomaly detection.

Wang, Y., Chen, X., Hong, K., & Kang, S. (2023). Smart metering systems for utility monitoring: efficiency improvement and billing accuracy.

Wang, Y., Chen, X., Hong, Y., & Kang, J. (2023). Analysis of reading errors in manual metering systems and their impact on utility billing. *Energy Policy*, 113–122.

Zhang, A., Liu, B., & Wang, Y. (2025). Design and implementation of smart IoT water meter based on LoRa. *ACM Transactions on Internet of Things*, 1-15.

Apéndices

ANEXO 1: DATASHEET GATEWAY LPS8N



LoRaWAN Gateway

LPS8N



OVERVIEW:

The LPS8N is an open source LoRaWAN Indoor Gateway. It lets you bridge LoRa wireless network to an IP network via WiFi, Ethernet, 3G or 4G cellular network. The LoRa wireless allows users to send data and reach extremely long ranges at low data-rates.

The LPS8N uses Semtech packet forwarder & LoRaWAN Basic Station and fully compatible with LoRaWAN protocol. It includes a SX1302 LoRa concentrator, which provides 10 programmable parallel demodulation paths.

LPS8N has pre-configured standard LoRaWAN frequency bands to use for different countries. User can also customized the frequency bands to use in their own LoRa network.

LPS8N can communicate with ABP LoRaWAN end node without LoRaWAN server. System integrator can use it to integrate with their existing IoT Service without set up own LoRaWAN server or use 3rd party LoRaWAN service.

Features:

- LoRaWAN Gateway
- Support different level log in
- Open Source OpenWrt system
- Support LoRaWAN basic station
- Emulates 49x LoRa demodulators
- Support Semtech Packet Forwarder
- Optional 3G/4G cellular connection
- Managed by Web GUI, SSH via WAN or WiFi
- Remote access with Reverse-SSH or remote.it
- 10 programmable parallel demodulation paths
- Allow to customize LoRaWAN regional parameters.
- Pre-configure to support different LoRaWAN regional settings.
- Support Local decode ABP end node info and transfer to MQTT server

Applications:

- Smart Metering
- Smart Agriculture
- Smart Cities
- Smart Factory
- Smart Buildings & Home Automation
- Logistics and Supply Chain Management

Specifications:

LoRa Interfaces:

- 1 x SX1302 + 2 x SX1250 LoRa Transceiver
- Max Output Power: 27dBm
- Sensitivity: -140dBm

General Interfaces:

- 10M/100M RJ45 Ports x 1
- 1 x 2.4G WiFi (802.11 bgn)
- 1 x USB host port
- 1 x USB Type C port for power
- Power Input: 5v, 2A
- Optional 4G version

Ordering Info:

• LPS8N-XXX-YYY:

XXX: Frequency Band

- 868: For EU868,RUS864,IN865,KZ865
- 915: For US915,AU915,AS923,KR920

YYY: 4G Cellular Option

- E: EMEA, Korea, Thailand, India.
- A: North America/ Rogers/AT&T-Mobile.
- AU: Latin America, New Zeland, Taiwan
- J: Japan, DOCOMO/SoftBank/ KDDI

Dragino Technology Co., Limited

Room 202, Block B, BCT Incubation Bases (BaoChengTai), No.8 CaiYunRoad
LongCheng Street, LongGang District : Shenzhen 518116,China
Direct: +86 755 86610829 |Fax: +86 755 86647123

WWW.DRAGINO.COM

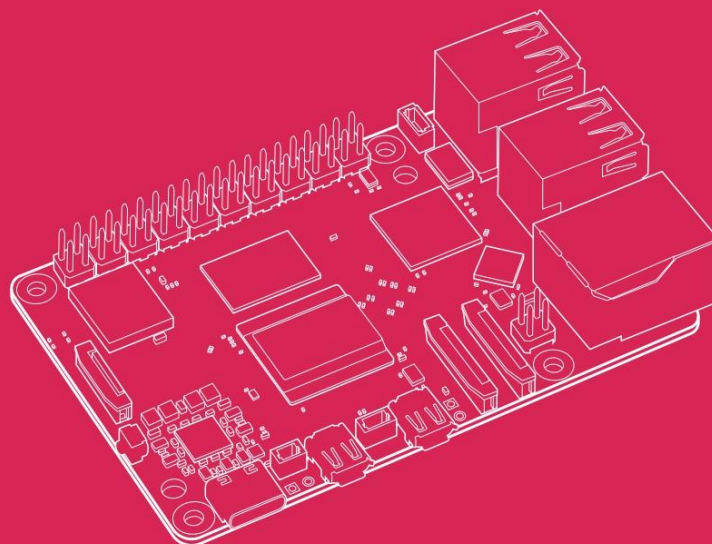
sales@dragino.com

ANEXO 2: RASPBERRY PI 5



Raspberry Pi 5

Published December 2025



The terms HDMI, HDMI High-Definition Multimedia Interface, and the HDMI Logo are trademarks or registered trademarks of HDMI Licensing Administrator, Inc.

Raspberry Pi Ltd

Overview



Welcome to the latest generation of Raspberry Pi: the everything computer.

Featuring a 64-bit quad-core Arm Cortex-A76 processor running at 2.4GHz, Raspberry Pi 5 delivers a 2–3× increase in CPU performance relative to Raspberry Pi 4. Alongside a substantial uplift in graphics performance from an 800MHz VideoCore VII GPU; dual 4Kp60 display output over HDMI; and state-of-the-art camera support from a rearchitected Raspberry Pi Image Signal Processor, it provides a smooth desktop experience for consumers, and opens the door to new applications for industrial customers.

For the first time, this is a full-size Raspberry Pi computer using silicon built in-house at Raspberry Pi. The RP1 “southbridge” provides the bulk of the I/O capabilities for Raspberry Pi 5, and delivers a step change in peripheral performance and functionality. Aggregate USB bandwidth is more than doubled, yielding faster transfer speeds to external UAS drives and other high-speed peripherals; the dedicated two-lane 1Gbps MIPI camera and display interfaces present on earlier models have been replaced by a pair of four-lane 1.5Gbps MIPI transceivers, tripling total bandwidth, and supporting any combination of up to two cameras or displays; peak SD card performance is doubled, through support for the SDR104 high-speed mode; and for the first time the platform exposes a single-lane PCI Express 2.0 interface, providing support for high-bandwidth peripherals.

Specification

Processor: Broadcom BCM2712 2.4GHz quad-core 64-bit Arm Cortex-A76 CPU, with Cryptographic Extension, 512KB per-core L2 caches, and a 2MB shared L3 cache

Features:

- VideoCore VII GPU, supporting OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.2
- Dual 4Kp60 HDMI® display output with HDR support
- 4Kp60 HEVC decoder
- LPDDR4X-4267 SDRAM (options for 1GB, 2GB, 4GB, 8GB and 16GB)
- Dual-band 802.11ac Wi-Fi®
- Bluetooth 5.0/Bluetooth Low Energy (BLE)
- microSD card slot, with support for high-speed SDR104 mode
- 2 × USB 3.0 ports, supporting simultaneous 5Gbps operation
- 2 × USB 2.0 ports
- Gigabit Ethernet, with PoE+ support (requires separate PoE+ HAT)
- 2 × 4-lane MIPI camera/display transceivers
- PCIe 2.0 x1 interface for fast peripherals (requires separate M.2 HAT or other adapter)
- 5V/5A DC power via USB-C, with Power Delivery support
- Raspberry Pi standard 40-pin header
- Real-time clock (RTC), powered from external battery
- Power button

MTBF¹ Ground Benign: 93 800 hours

Operating temperature: 0°C to 70°C

Production lifetime: Raspberry Pi 5 will remain in production until at least January 2036

Compliance: For a full list of local and regional product approvals, please visit pip.raspberrypi.com

List price:	1GB	\$45
	2GB	\$55
	4GB	\$70
	8GB	\$95
	16GB	\$145

¹ Mean Time Between Failure

ANEXO 3: HELTEC CUBECCELL

**HTCC-AB02****LoRa Development Board**

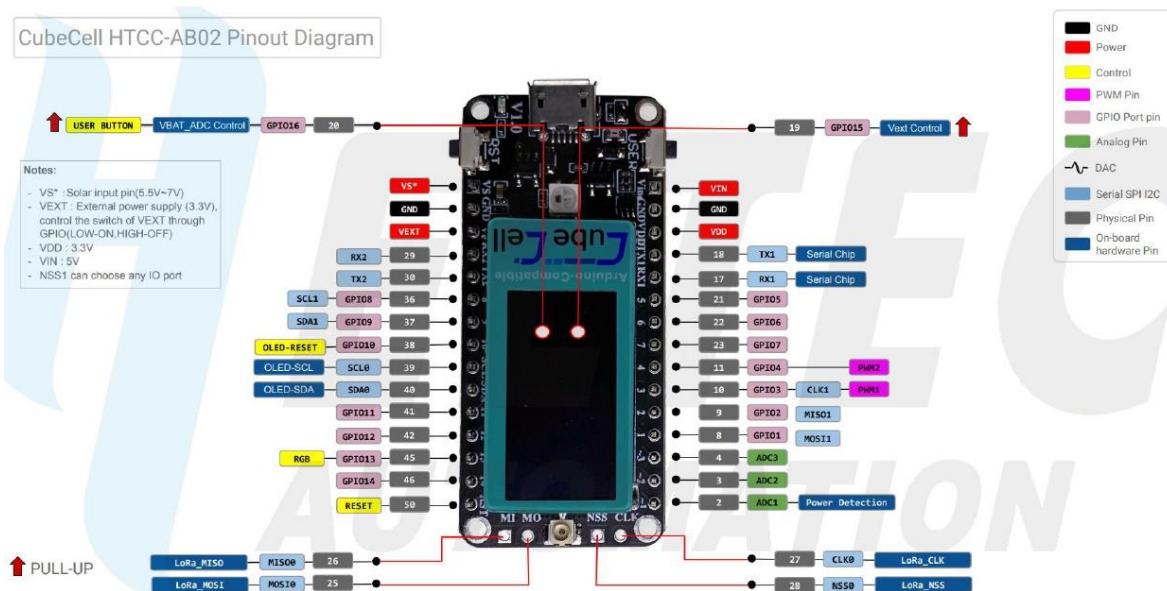
<https://heltec.org>

Documents	Rev 1.1	P 1/14	Apr, 2021	Heltec Automation © Limited standard files
-----------	---------	--------	-----------	--



2. Pin Definition

2.1 Pin assignment



2.2 Pin description

● Header P2

Table 2-2-1 Pin description

No.	Name	Type	Function
1	VS	P	Power Supply.
2	GND	P	Ground.
3	VE	P	Vext.
4	RX2	I/O	UART_RX2.
5	TX2	I/O	UART_TX2.
6	8	I/O	GPIO8, SCL1.
7	9	I/O	GPIO9, SDA1.
8	10	I/O	GPIO10,OLED_RESET.

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 7/14

Apr. 2021

HelTec Automation © Limited standard files



Signal Bandwidth/[KHz]	Spreading Factor	Sensitivity/[dBm]
125	SF12	-135
125	SF10	-130
125	SF7	-124

3.6 Operation Frequencies

HTCC-AB02(F) supports LoRaWAN frequency channels and models corresponding table.

Table3-6: Operation Frequencies

Region	Frequency (MHz)	Model
EU433	433.175~434.665	HTCC-AB02-L
CN470	470~510	HTCC-AB02-L
IN868	865~867	HTCC-AB02-F
EU868	863~870	HTCC-AB02-F
US915	902~928	HTCC-AB02-F
AU915	915~928	HTCC-AB02-F
KR920	920~923	HTCC-AB02-F
AS923	920~925	HTCC-AB02-F

<https://heltec.org>

Documents | Rev 1.1 | P 12/14 | Apr. 2021 | HelTec Automation © Limited standard files

ANEXO 4: CÓDIGO IMPLEMENTADO

```
// Nodo Agua

#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"
#include "HT_SH1107Wire.h"

#define FLOW_SENSOR_PIN GPIO7
#define PULSES_PER_LITER 371.23
#define VEXT_PIN 15
#define USER_BUTTON_PIN P3_3

uint8_t devEui[] = { };
uint8_t appEui[] = { };
uint8_t appKey[] = { };

uint8_t nwkSKey[] = {0xA2, 0x3A, 0xCF,
0x50, 0x29, 0xCD, 0xA1, 0xFB, 0x42,
0x2A, 0xFD, 0x4D, 0x60, 0x85, 0x9C,
0xEA};
uint8_t appSKey[] = {0x24, 0xDC, 0x5F,
0x94, 0xC4, 0xA6, 0x1C, 0x19, 0xDC,
0xB0, 0x10, 0x9A, 0xFF, 0xB0, 0x19,
0xAA};
uint32_t devAddr =
(uint32_t)0x00B6EB1C;

uint16_t userChannelsMask[6] = {0xFF00,
0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000,
0x0000};
LoRaMacRegion_t loraWanRegion =
ACTIVE_REGION;
DeviceClass_t loraWanClass =
LORAWAN_CLASS;
uint32_t appTxDutyCycle = 3600000;
bool overTheAirActivation = false;
bool loraWanAdr = false;
bool keepNet = LORAWAN_NET_RESERVE;
bool isTxConfirmed = false;
uint8_t appPort = 2;
uint8_t confirmedNbTrials = 0;

volatile unsigned long pulseCount = 0;
float litersToSend = 0.0;
```

```
bool sendNow = false;

extern SH1107Wire display;
bool screenOn = true;

static TimerEvent_t wakeUp;
void onWakeUp(void) {
    sendNow = true;
}

void pulseCounter() {
    pulseCount++;
}

void userKey(void) {
    delay(10);
    if (digitalRead(USER_BUTTON_PIN) ==
LOW) {
        screenOn = !screenOn
        if (screenOn) {
            digitalWrite(VEXT_PIN,
LOW);

            delay(100);
            display.init();
            display.flipScreenVerticall
y();

            display.clear();
            display.drawString(0, 0,
"Litros: " + String(litersToSend, 3));
            display.display();
        } else {
            display.clear();
            display.display();
            display.stop();
            digitalWrite(VEXT_PIN,
HIGH);
        }
    }
}

static void prepareTxFrame(uint8_t
port) {
    noInterrupts();
```

```

    unsigned long currentPulses =
pulseCount;
    pulseCount = 0;
    interrupts();

    litersToSend = (float)currentPulses
/ PULSES_PER_LITER;

    Serial.print("Litros medidos este
ciclo: ");
    Serial.println(litersToSend, 3);

    appDataSize = 4;
    memcpy(appData, &litersToSend,
4);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(3000);

#ifdef AT_SUPPORT
    enableAt();
#endif

    pinMode(VEXT_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(VEXT_PIN, LOW);
    delay(100);
    display.init();
    display.flipScreenVertically();
    display.clear();
    display.drawString(0, 0, "Litros:
0.000");
    display.display();

    pinMode(USER_BUTTON_PIN,
INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterru
pt(USER_BUTTON_PIN), userKey, FALLING);

    LoRaWAN.init(loraWanClass,
loraWanRegion);
    LoRaWAN.join();
    Serial.println("Nodo unido (modo
ABP) y listo para enviar datos.");

```

```

    LoRaWAN.setDataRateForNoADR(5);

    pinMode(FLOW_SENSOR_PIN,
INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(FLOW_SENSOR_PIN,
pulseCounter, RISING);

    TimerInit(&wakeUp, onWakeUp);
    TimerSetValue(&wakeUp,
appTxDutyCycle);
    TimerStart(&wakeUp);

    deviceState = DEVICE_STATE_SEND;
}

void loop() {
    switch (deviceState) {
        case DEVICE_STATE_SEND:
            if (sendNow) {
                prepareTxFrame(appPort)
;

                LoRaWAN.send();
                sendNow = false;
                TimerSetValue(&wakeUp,
appTxDutyCycle);
                TimerStart(&wakeUp);
            }
            break;

        if (screenOn) {
            float litersCurrent =
(float)pulseCount / PULSES_PER_LITER;
            display.clear();
            display.drawString(0, 0,
"Litros: " + String(litersCurrent, 3));
            display.display();
            delay(1000);
        }
    }
}

```

```
// Nodo Luz
```

```
#include "LoRaWan_APP.h"
```

```

#include "Arduino.h"
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <EEPROM.h>
#include "HT_SH1107Wire.h"

#define PZEM_RX_PIN 29
#define PZEM_TX_PIN 30
#define VEXT_PIN 15
#define USER_BUTTON_PIN P3_3

#define EEPROM_ADDR 0
#define EEPROM_FLAG1 0xAA
#define EEPROM_FLAG2 0x55
#define EEPROM_SIZE (2 + sizeof(float)
+ sizeof(int))

PZEM004Tv30* pzem;

uint8_t devEui[] = { };
uint8_t appEui[] = { };
uint8_t appKey[] = { };

uint8_t nwkSKey[] = {0x34, 0xA5, 0xAF,
0x2B, 0x5C, 0xE8, 0xF9, 0x50, 0xA8,
0x13, 0x0D, 0x52, 0x75, 0x88, 0x49,
0xD4};
uint8_t appSKey[] = {0x1B, 0x37, 0xA4,
0x41, 0x04, 0x4D, 0x18, 0xF3, 0xD3,
0xDB, 0xAE, 0x2A, 0x48, 0x3E, 0x45,
0xA2};
uint32_t devAddr =
(uint32_t)0x00589F13;

uint16_t userChannelsMask[6] = {0xFF00,
0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000,
0x0000};
LoRaMacRegion_t loraWanRegion =
LORAMAC_REGION_US915;
DeviceClass_t loraWanClass =
LORAWAN_CLASS;
uint32_t appTxDutyCycle = 3600000;
bool overTheAirActivation = false;
bool loraWanAdr = false;
bool keepNet = LORAWAN_NET_RESERVE;
bool isTxConfirmed = false;

```

```

uint8_t appPort = 2;
uint8_t confirmedNbTrials = 0;

float energyToSend = 0.0;
float prev_energy = 0.0;
int resetCounter = 0;
unsigned long lastPZEMRetry = 0;
const unsigned long PZEM_RETRY_INTERVAL
= 420000;

extern SH1107Wire display;
volatile bool screenOn = true;
volatile unsigned long lastButtonPress
= 0;

static TimerEvent_t wakeUp;
bool sendNow = false;

void userKey(void) {
    unsigned long currentTime =
millis();
    if (currentTime - lastButtonPress <
200) {
        return;
    }
    lastButtonPress = currentTime;

    if (digitalRead(USER_BUTTON_PIN) ==
LOW) {
        screenOn = !screenOn;
        Serial.print("Botón USER
presionado, screenOn: ");
        Serial.println(screenOn ? "ON"
: "OFF");

        if (screenOn) {
            digitalWrite(VEXT_PIN,
LOW);

            delay(200);
            Wire.begin();
            display.init();
            display.clear();
            float voltage = pzem-
>voltage();

```

```

        float current = pzem-
>current();
        float power = pzem-
>power();

        display.drawString(0, 0,
"V: " + String(isnan(voltage) ? 0.00 :
voltage, 2) + " V");
        display.drawString(0, 12,
"I: " + String(isnan(current) ? 0.000 :
current, 3) + " A");
        display.drawString(0, 24,
"P: " + String(isnan(power) ? 0.0 :
power, 1) + " W");
        display.drawString(0, 36,
"E: " + String(energyToSend, 3) + "
kWh");

        display.display();
        Serial.println("Pantalla
encendida");
    } else {
        display.clear();
        display.display();
        display.stop();
        digitalWrite(VEXT_PIN,
HIGH);
        Serial.println("Pantalla
apagada");
    }
}

void onWakeUp(void) {
    sendNow = true;
}

static void prepareTxFrame(uint8_t
port) {
    unsigned long currentTime =
millis();
    float voltage = pzem->voltage();
    float current = pzem->current();
    float power = pzem->power();
    float current_energy = pzem-
>energy();

```

```

        Serial.print("Time (ms): ");
        Serial.println(currentTime);
        Serial.print("Voltage (V): ");
        Serial.println(isnan(voltage) ?
"NaN" : String(voltage, 2));
        Serial.print("Current (A): ");
        Serial.println(isnan(current) ?
"NaN" : String(current, 3));
        Serial.print("Power (W): ");
        Serial.println(isnan(power) ? "NaN"
: String(power, 1));
        Serial.print("Current energy (kWh):
");
        Serial.println(isnan(current_energy
) ? "NaN" : String(current_energy, 3));
        Serial.print("Previous energy
(kWh): ");
        Serial.println(prev_energy, 3);

        if (!isnan(current_energy) &&
!isnan(voltage)) {
            energyToSend = current_energy -
prev_energy;
            if (energyToSend < 0) {
                Serial.println("Warning:
Negative energy detected, setting to
0");
                energyToSend = 0.0;
            }
            prev_energy = current_energy;

            EEPROM.write(EEPROM_ADDR,
EEPROM_FLAG1);
            EEPROM.write(EEPROM_ADDR + 1,
EEPROM_FLAG2);
            byte* p_energy =
(byte*)&prev_energy;
            for (int i = 0; i <
sizeof(float); i++) {
                EEPROM.write(EEPROM_ADDR +
2 + i, p_energy[i]);
            }
            byte* p_reset =
(byte*)&resetCounter;

```

```

        for (int i = 0; i <
sizeof(int); i++) {
            EEPROM.write(EEPROM_ADDR +
2 + sizeof(float) + i, p_reset[i]);
        }
        EEPROM.commit();

        Serial.print("Energy
accumulated this cycle (kWh): ");
        Serial.println(energyToSend,
3);
    } else {
        Serial.println("Error reading
PZEM, using previous value or 0");
        energyToSend = 0.0;
        unsigned long now = millis();
        if (now - lastPZEMRetry >=
PZEM_RETRY_INTERVAL && pzem != NULL) {
            Serial.println("Attempting
PZEM reinitialization...");
            delete pzem;
            Serial1.end();
            Serial1.begin(9600);
            pzem = new
PZEM004Tv30(Serial1);
            delay(1000);
            lastPZEMRetry = now;
        }
    }

    if (screenOn) {
        display.clear();
        display.drawString(0, 0, "V: "
+ String(isnan(voltage) ? 0.00 :
voltage, 2) + " V");
        display.drawString(0, 12, "I: "
+ String(isnan(current) ? 0.000 :
current, 3) + " A");
        display.drawString(0, 24, "P: "
+ String(isnan(power) ? 0.0 : power, 1)
+ " W");
        display.drawString(0, 36, "E: "
+ String(energyToSend, 3) + " kWh");
        display.display();
    }
}

```

```

        appDataSize = 4;
        memcpy(appData, &energyToSend, 4);
    }

    void setup() {
        Serial.begin(115200);
        delay(3000);

        #if(AT_SUPPORT)
            enableAt();
        #endif

        pinMode(VEXT_PIN, OUTPUT);
        digitalWrite(VEXT_PIN, LOW);
        delay(200);
        Wire.begin();
        display.init();
        display.clear();
        display.drawString(0, 0, "V: 0.00
V");
        display.drawString(0, 12, "I: 0.000
A");
        display.drawString(0, 24, "P: 0.0
W");
        display.drawString(0, 36, "E: 0.000
kWh");
        display.display();
        Serial.println("Pantalla
inicializada");

        pinMode(USER_BUTTON_PIN,
INPUT_PULLUP);
        attachInterrupt(digitalPinToInterru
pt(USER_BUTTON_PIN), userKey, FALLING);

        Serial.println("\nIniciando
LoRaWAN...");
        LoRaWAN.init(loraWanClass,
loraWanRegion);
        LoRaWAN.join();
        Serial.println("Nodo unido (modo
ABP) y listo para enviar datos.");

        LoRaWAN.setDataRateForNoADR(5);
    }
}

```

```

Serial1.begin(9600);
pzem = new PZEM004Tv30(Serial1);
delay(3000);

bool initOK = false;
for (int t = 0; t < 5; t++) {
    float v = pzem->voltage();
    float i = pzem->current();
    float p = pzem->power();
    float e = pzem->energy();

    Serial.print("Intento ");
    Serial.println(t + 1);
    Serial.print("Voltaje (V): ");
    Serial.println(isnan(v) ? "NaN" :
String(v, 2));
    Serial.print("Corriente (A):
"); Serial.println(isnan(i) ? "NaN" :
String(i, 3));
    Serial.print("Potencia (W): ");
    Serial.println(isnan(p) ? "NaN" :
String(p, 1));
    Serial.print("Energia acumulada
(kWh): "); Serial.println(isnan(e) ?
"NaN" : String(e, 3));

    if (!isnan(v) && !isnan(i) &&
!isnan(p) && !isnan(e)) {
        Serial.println("CubeCell
listo para leer PZEM-004T v3.0...");
        initOK = true;
        break;
    }
    Serial.println("Intento fallido
de lectura, reintentando...");
    Serial1.end();
    Serial1.begin(9600);
    delete pzem;
    pzem = new
PZEM004Tv30(Serial1);
    delay(1000);
}

if (!initOK) {

```

```

    Serial.println("Error: No se
pudo inicializar el PZEM tras 5
intentos.");
}

EEPROM.begin(512);

bool resetEEPROM = false;
if (resetEEPROM) {
    for (int i = 0; i <
EEPROM_SIZE; i++) {
        EEPROM.write(EEPROM_ADDR +
i, 0);
    }
    EEPROM.commit();
}

byte flag1 =
EEPROM.read(EEPROM_ADDR);
byte flag2 =
EEPROM.read(EEPROM_ADDR + 1);
if (flag1 == EEPROM_FLAG1 && flag2
== EEPROM_FLAG2) {
    byte pbytes[sizeof(float)];
    for (int i = 0; i <
sizeof(float); i++) {
        pbytes[i] =
EEPROM.read(EEPROM_ADDR + 2 + i);
    }
    memcpy(&prev_energy, pbytes,
sizeof(float));
    byte rbytes[sizeof(int)];
    for (int i = 0; i <
sizeof(int); i++) {
        rbytes[i] =
EEPROM.read(EEPROM_ADDR + 2 +
sizeof(float) + i);
    }
    memcpy(&resetCounter, rbytes,
sizeof(int));
} else {
    resetCounter = 0;
}

```

```

    if (isnan(prev_energy) ||
prev_energy < 0.0) {
        float initial_energy = pzem-
>energy();
        if (!isnan(initial_energy)) {
            prev_energy =
initial_energy;
        } else {
            Serial.println("Error:
usando prev_energy = 0.0 como último
recurso");
            prev_energy = 0.0;
        }

        EEPROM.write(EEPROM_ADDR,
EEPROM_FLAG1);
        EEPROM.write(EEPROM_ADDR + 1,
EEPROM_FLAG2);
        byte* p = (byte*)&prev_energy;
        for (int i = 0; i <
sizeof(float); i++) {
            EEPROM.write(EEPROM_ADDR +
2 + i, p[i]);
        }
        EEPROM.commit();
    }

    Serial.print("Initial prev_energy
(kWh): ");
    Serial.println(prev_energy, 3);
    Serial.print("Reset counter: ");
    Serial.println(resetCounter);

    TimerInit(&wakeUp, onWakeUp);
    TimerSetValue(&wakeUp,
appTxDutyCycle);
    TimerStart(&wakeUp);

    deviceState = DEVICE_STATE_SEND;
}

```

```

void loop() {
    switch (deviceState) {
        case DEVICE_STATE_SEND:
            if (sendNow) {
                prepareTxFrame(appPort)
;

                LoRawAN.send();
                sendNow = false;
                TimerSetValue(&wakeUp,
appTxDutyCycle);
                TimerStart(&wakeUp);
            }
            break;
    }

    if (screenOn) {
        float voltage = pzem-
>voltage();
        float current = pzem-
>current();
        float power = pzem->power();
        display.clear();
        display.drawString(0, 0, "V: "
+ String(isnan(voltage) ? 0.00 :
voltage, 2) + " V");
        display.drawString(0, 12, "I: "
+ String(isnan(current) ? 0.000 :
current, 3) + " A");
        display.drawString(0, 24, "P: "
+ String(isnan(power) ? 0.0 : power, 1)
+ " W");
        display.drawString(0, 36, "E: "
+ String(energyToSend, 3) + " kWh");
        display.display();
        delay(60000);
    }
}

```