



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO DE BATERÍAS EN  
UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR: CASO DE ESTUDIO EN WASAKENTSA,  
AMAZONÍA ECUATORIANA

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: KEVIN ANDRES CALDERON GARCIA

KARLA LIZBETH VAZQUEZ GARCIA

TUTOR: ING. MÓNICA KAREL HUERTA, PhD.

Cuenca – Ecuador

2025

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Andres Calderon Garcia con documento de identificación N°0106043409 y Karla Lizbeth Vazquez Garcia con documento de identificación N° 0302721006; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 13 de febrero de 2025

Atentamente,



---

Kevin Andres Calderon Garcia

0106043409



---

Karla Lizbeth Vazquez Garcia

0302721006

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Andres Calderon Garcia con documento de identificación N° 0106043409 y Karla Lizbeth Vazquez Garcia con documento de identificación N° 0302721006, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Desarrollo de un sistema IOT para el monitoreo de baterías en un sistema de energía solar: caso de estudio en Wasakentsa, Amazonia Ecuatoriana” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica , en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de febrero de 2025

Atentamente,



---

Kevin Andres Calderon Garcia

0106043409



---

Karla Lizbeth Vazquez Garcia

0302721006

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica Karel Huerta con documento de identificación N° 0151450426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO DE BATERÍAS EN UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR: CASO DE ESTUDIO EN WASAKENTSA, AMAZONÍA ECUATORIANA, realizado por Kevin Andres Calderon Garcia con documento de identificación N° 0106043409 y Karla Lizbeth Vazquez Garcia con documento de identificación N° 0302721006, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de febrero de 2025

Atentamente,



---

Ing. Mónica Karel Huerta, PhD.

0151450426

# AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de titulación representa el esfuerzo de varios años de estudio y no habría sido posible sin el apoyo incondicional de muchas personas, a quienes quiero expresar mi más sincera gratitud. En primer lugar, agradezco a mi familia por su amor, paciencia y confianza en mí. En especial, a Emily, Sebastián y Paola, pues sin ellos mi vida estaría incompleta.

**Kevin Andrés Calderón García**

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme culminar esta meta. A mis padres y a mi hermana, gracias por su apoyo incondicional en todo momento, por su constante motivación para seguir adelante y estar junto a mí cuando más los necesito. A mi querida amiga Daya, por su constante motivación y valiosos consejos. A Ronal, por su apoyo incondicional y por estar siempre dispuesto a brindarme su ayuda. A la Ing. PhD. Mónica Huerta por el apoyo que nos brindó en el desarrollo de la tesis.

**Karla Lizbeh Vázquez García**

# DEDICATORIAS

## *Dedicatoria de Kevin Andres Calderón García*

Dedico esta tesis a mis padres Jheny y Diego, quienes han sido el pilar más importante de mi vida. Su sabiduría y cariño han sido mi guía en cada paso del camino, haciéndome posible alcanzar este logro.

## *Dedicatoria de Karla Lizbeth Vázquez García*

Dedico esta tesis con todo mi cariño a mis padres y a mi hermana, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida y en el logro de esta anhelada meta. Su apoyo incondicional, amor y sacrificio han sido mi mayor inspiración. A mis padres, les ofrezco este trabajo como una pequeña muestra de gratitud por todo lo que han hecho por mí.

# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Dedicatorias</b>	<b>II</b>
<b>Índice General</b>	<b>III</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>VIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract</b>	<b>X</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>Justificación</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos</b>	<b>6</b>
<b>Introducción</b>	<b>7</b>
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>9</b>
1.1. Principios de Energía Solar y Funcionamiento de Sistemas Fotovoltaicos.	9
1.1.1. Fundamentos de la Energía Solar . . . . .	9
1.1.2. Tecnologías Solares . . . . .	10
1.1.3. Características de los Sistemas Fotovoltaicos . . . . .	10
1.1.4. Usos y Beneficios de los Sistemas Fotovoltaicos . . . . .	11

1.2.	Tipos de Baterías en Sistemas de Energía Fotovoltaica . . . . .	12
1.2.1.	Baterías Planta Fotovoltaica DC12-200 . . . . .	12
1.2.2.	Baterías de Plomo Ácido (A-Pb) . . . . .	13
1.3.	Introducción al IoT y sus Aplicaciones en Monitoreo. . . . .	14
1.3.1.	Características y Arquitectura del IoT . . . . .	15
1.3.2.	Aplicaciones del IoT en Monitoreo . . . . .	15
1.3.3.	Retos y Ventajas del IoT . . . . .	16
1.3.4.	Relación con este Estudio . . . . .	16
1.4.	Tecnologías Utilizadas . . . . .	16
1.4.1.	Sensores de Voltaje, Humedad y Temperatura . . . . .	16
1.4.2.	Módulo de Desarrollo: Heltec Wifi Lora 32 v2 . . . . .	19
1.4.3.	Plataforma ThingsBoard. . . . .	20
<b>2.</b>	<b>Metodología</b>	<b>22</b>
2.1.	Diseño de la Metodología Aplicada . . . . .	22
2.2.	Diseño del Sistema . . . . .	23
2.2.1.	Diseño del Hardware . . . . .	23
2.2.2.	Diseño del software . . . . .	30
2.3.	Comunicación Inalámbrica . . . . .	37
2.4.	Implementación del Sistema . . . . .	38
2.4.1.	Sistema Implementado en el Laboratorio . . . . .	38
2.4.2.	Divisores de Voltaje . . . . .	40
2.4.3.	Cálculo de potencia . . . . .	41
2.4.4.	Sistema Implementado en Wasakentsa . . . . .	43
2.5.	Procesamiento y Evaluación de Datos . . . . .	45
2.6.	Validación . . . . .	46
2.6.1.	Diagnóstico y Corrección de Fallas en el Prototipo . . . . .	46
<b>3.</b>	<b>Resultados</b>	<b>48</b>
3.1.	Datos Recolectados por el Sistema. . . . .	48
3.1.1.	Pruebas de Laboratorio . . . . .	48
3.1.2.	Datos Recolectados en las Pruebas de Laboratorio . . . . .	53

3.1.3. Pruebas en Wasakentsa . . . . .	54
3.1.4. Datos Recolectados en las Pruebas en Wasakentsa . . . . .	59
3.2. Análisis del Rendimiento del Sistema. . . . .	60
3.2.1. Fiabilidad del Sistema . . . . .	60
3.2.2. Precisión de los Sensores . . . . .	62
3.3. Comparación entre los Resultados Obtenidos en el Laboratorio y en la Implementación en Wasakentsa . . . . .	66
3.3.1. Comparación de los Datos Monitorizados. . . . .	67
3.3.2. Comparación de la Precisión de los Sensores de Voltaje . . . . .	68
3.3.3. Comparación de la Precisión de los Sensores de Temperatura . . . . .	69
3.3.4. Comparación de la Precisión de los Sensores de Humedad . . . . .	70
<b>4. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>71</b>
<b>Glosario</b>	<b>73</b>
<b>Referencias</b>	<b>77</b>

# Índice de figuras

1.1. Sensor de Voltaje FZ0430 [19] . . . . .	17
1.2. Sensor de Temperatura [20] . . . . .	18
1.3. Diagrama de Distribución de Pines [21] . . . . .	19
2.1. Diseño de la Metodología Aplicada . . . . .	22
2.2. Esquemático del Circuito . . . . .	25
2.3. Diseño del PCB . . . . .	26
2.4. Diseño de la Distribución de Componentes y Enrutamiento . . . . .	26
2.5. Esquemático Divisor de Voltaje . . . . .	27
2.6. Divisor de Voltaje . . . . .	27
2.7. Modelo 3D PCB . . . . .	28
2.8. Diseño de la Estructura . . . . .	29
2.9. Sistema Completo Implementado en Laboratorio de Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana . . . . .	39
2.10. Sistema Real Implementado en Laboratorio . . . . .	40
2.11. Sistema Completo Implementado en Wasakentsa . . . . .	43
2.12. Sistema Real Implementado en el Centro de Salud de Wasakentsa . . . . .	45
3.1. Datos de Voltajes Laboratorio Visualizados en el Servidor . . . . .	54
3.2. Datos de Temperatura Laboratorio Visualizados en el Servidor . . . . .	54
3.3. Datos Voltajes Campo Visualizados en el Servidor . . . . .	59
3.4. Datos Temperatura Campo Visualizados en el Servidor . . . . .	60
3.5. Gráfica de Valores Sensados en las Baterías Durante el Día en el Laboratorio de Automotriz vs los Datos Obtenidos en Wasakentsa . . . . .	67

# Índice de tablas

1.1. Especificaciones Batería DC12-200 . . . . .	13
1.2. Especificaciones Técnicas [22] . . . . .	20
2.1. Comparación entre Microprocesadores Evaluados [26],[21] . . . . .	23
2.2. Datos de Voltaje Medidos en el Banco de Baterías del Laboratorio . . . . .	39
2.3. Análisis de Carga Laboratorio . . . . .	40
2.4. Datos de Voltaje en Carga y Descarga . . . . .	43
2.5. Análisis de Carga para el Centro de Salud . . . . .	44
2.6. Datos de Corriente a Diferentes Horas . . . . .	44
3.1. Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 1	49
3.2. Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 2	50
3.3. Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 3	51
3.4. Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 4	52
3.5. Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 1 . . . . .	55
3.6. Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 2 . . . . .	56
3.7. Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 3 . . . . .	57
3.8. Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 4 . . . . .	58
3.9. Pruebas de Laboratorio Fiabilidad del Sistema . . . . .	61
3.10. Implementación en Wasakentsa Fiabilidad del Sistema . . . . .	62
3.11. Comparación de la Precisión de los Sensores de Voltaje . . . . .	62

3.12. Precisión del Sensor de Temperatura . . . . .	63
3.13. Precisión del Sensor de Humedad . . . . .	63
3.14. Precisión de los Sensores de Voltaje en Carga . . . . .	64
3.15. Precisión de los Sensores de Voltaje en Descarga . . . . .	65
3.16. Precisión del Sensor de Temperatura . . . . .	66
3.17. Precisión del Sensor de Humedad . . . . .	66
3.18. Comparación de la Precisión de los Sensores de Voltaje . . . . .	68
3.19. Comparación de la Precisión de los Sensores de Temperatura . . . . .	69
3.20. Comparación de la Precisión de los Sensores de Humedad . . . . .	70

# Resumen

El centro de salud de Wasakentsa tiene una importancia significativa en la zona, ya que es el único lugar que cuenta con el equipo necesario para brindar una atención adecuada. Sin embargo, la planta fotovoltaica que suministra energía al centro carece de un sistema de monitoreo instantáneo de sus baterías, lo que representa un desafío crítico que puede comprometer la eficiencia y sostenibilidad del suministro eléctrico. Por esta razón, este proyecto propone la creación de un sistema IoT para el seguimiento del estado de las baterías en un sistema de energía solar, aplicado a la casa de salud de Wasakentsa. Se analizaron diversas tecnologías y se optó por un microcontrolador Heltec WiFi LoRa 32 V2, junto con sensores de voltaje, temperatura y humedad, además de la plataforma ThingsBoard para la visualización de los datos recopilados en tiempo real. La metodología incluyó pruebas de laboratorio seguidas de una verificación en Wasakentsa, garantizando que los hallazgos reflejen con precisión las condiciones reales del sistema. El sistema permitió el monitoreo, en tiempo real, de parámetros tanto de las baterías como del entorno en el que están instaladas, optimizando la gestión energética y prolongando la vida útil del sistema. La visualización de los datos en la plataforma ThingsBoard facilitó la detección temprana de posibles fallos, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la eficiencia operativa. Los experimentos iniciales, realizados en la Universidad Politécnica Salesiana, demostraron la funcionalidad del sistema, cuya eficacia fue posteriormente validada en Wasakentsa. Este sistema es una solución replicable para otras comunidades aisladas del mundo.

**Palabras clave:** IOT; SISTEMA SOLAR; MICROCONTROLADOR; THINGSBOARD.

# Abstract

The Wasakentsa health center is of significant importance in the area, as it is the only place that has the necessary equipment to provide adequate care. However, the photovoltaic plant that supplies power to the center lacks an instantaneous monitoring system for its batteries, which represents a critical challenge that can compromise the efficiency and sustainability of the power supply. For this reason, this project proposes the creation of an IoT system for monitoring the status of batteries in a solar power system, applied to the Wasakentsa health house. Various technologies were analyzed and a Heltec WiFi LoRa 32 V2 microcontroller was chosen, along with voltage, temperature and humidity sensors, in addition to the ThingsBoard platform for visualization of the data collected in real time. The methodology included laboratory tests followed by verification at Wasakentsa, ensuring that the findings accurately reflect actual system conditions. The system enabled real-time monitoring of parameters of both the batteries and the environment in which they are installed, optimizing energy management and extending system life. The visualization of the data on the ThingsBoard platform facilitated the early detection of possible failures, reducing downtime and improving operational efficiency. Initial experiments, conducted at the Salesian Polytechnic University, demonstrated the functionality of the system, the effectiveness of which was subsequently validated at Wasakentsa. This system is a replicable solution for other isolated communities around the world.

**Keywords:** IOT; SOLAR SYSTEM; MICROCONTROLLER; THINGSBOARD.

# Antecedentes

Wasakentsa es una comunidad de la Asociación Achuar Patukmai, que forma parte de la NAE (NAE, Organización Indígena de los Pueblos Achuar en Ecuador). Se encuentra en la parroquia Pumpuentsa, cantón Taisha, en la provincia de Morona Santiago. Con una población de aproximadamente 200 habitantes, la Misión Salesiana ubicada en Wasakentsa es un centro vital para la región, ya que concentra diversos servicios esenciales [1]. En esta comunidad se encuentran una escuela, un colegio, un subcentro de salud del Ministerio de Salud Pública, una emisora de radio de la NAE y la Caja de Ahorro Achuar. Además, su puerto aéreo facilita la conexión con la capital provincial, Macas, y otras ciudades cercanas, lo que es fundamental para la gestión comunitaria. El difícil acceso a este tipo de zonas remotas ha dado paso a la implementación de energías renovables como plantas fotovoltaicas, disminuyendo así el uso de energías no renovables como generadores eléctricos los cuales son perjudiciales para el ambiente y para el ser humano.

La instalación de paneles solares en la comunidad ha sido fundamental para garantizar el acceso a energía eléctrica, cubriendo gran parte de la demanda en sectores clave como la educación, la salud y la conectividad [2], [3]. Además, abre nuevas oportunidades en áreas como la agricultura, el tratamiento de agua y otros usos domésticos, evidenciando el impacto global de las tecnologías solares en zonas remotas [4]. Por otro lado, la comunidad cuenta con dos formas de acceso a internet: una a través de un enlace de radiofrecuencia desde Taisha hasta una torre provincial, que luego distribuye la señal a distintos puntos, y otra mediante una antena satelital Starlink, que proporciona conexión al centro de salud [1].

El centro de salud es de vital importancia, ya que es el único en la zona que cuenta con los equipos necesarios para brindar una atención de calidad a los

pobladores. Además, no solo atiende a la comunidad de Wasakentsa, sino también a habitantes de otras comunidades cercanas, quienes deben caminar aproximadamente dos horas para acceder a sus servicios. Para garantizar su operatividad continua, se implementó un sistema fotovoltaico que suministra energía las 24 horas del día. Sin embargo, dado que la eficiencia y durabilidad de este sistema dependen del estado de las baterías, es imprescindible contar con un sistema de monitoreo avanzado. En este sentido, la tecnología IoT permite supervisar en tiempo real el nivel de carga, el consumo energético y posibles fallos, asegurando un suministro estable y eficiente.

Gracias al Internet de las Cosas (IoT) (IOT, del inglés Internet of Things), es posible monitorear en tiempo real variables críticas como el voltaje de las baterías, humedad y la temperatura ambiental, permitiendo analizar el estado de las mismas para anticipar posibles fallos. Varios estudios han demostrado que este tipo de monitoreo remoto ayuda a las comunidades a gestionar de mejor manera sus recursos energéticos, asegurando un suministro estable de electricidad [5]. Al facilitar la obtención y análisis de datos, se permite realizar un análisis oportuno de la recolección de datos sobre el estado del sistema, lo que mejora significativamente la sostenibilidad de los mismos a largo plazo. Además, el uso de estas tecnologías contribuye a reducir los costos operativos y de mantenimiento, al prever posibles fallos y optimizar el uso de los recursos disponibles, garantizando que los avances logrados en Wasakentsa continúen beneficiando a la comunidad de manera sostenible [6].

Un ejemplo del uso de esta tecnología es el trabajo de Maisagalla Gopal [7], donde un sistema IoT supervisa en tiempo real el voltaje de las baterías conectadas a paneles solares, enviando datos a un servidor central para su análisis. Este enfoque permite identificar de forma rápida fallos y mejorar la capacidad de respuesta ante posibles problemas, lo que prolonga la vida útil del sistema y asegura su eficiencia a largo plazo.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema embebido que permita monitorear el estado de las baterías de la planta fotovoltaica que suministra energía al centro de salud unificado en Wasakentsa. Para ello, se aprovecharán las condiciones existentes en el lugar, incluyendo la infraestructura de energía renovable y la conectividad satelital. Este sistema incorporará tecnología IoT para el seguimiento en

tiempo real de variables críticas como el voltaje de las baterías, la temperatura y otros parámetros clave, con el fin de prevenir fallos y mejorar la sostenibilidad del sistema. Al integrar esta solución tecnológica, se espera fortalecer la autonomía energética, reducir costos de mantenimiento y garantizar un suministro eléctrico estable.

# Justificación

La comunidad Salesiana en Wasakentsa cuenta con sistemas de energía solar; sin embargo, enfrenta una nueva problemática: la ausencia de un plan de monitoreo en tiempo real del estado de las baterías. Esta falta de supervisión impide a los usuarios conocer con precisión su condición, lo que puede derivar en sobrecargas, descargas profundas y un deterioro acelerado de los componentes, comprometiendo así la confiabilidad del sistema [8]. Además, al no contar con alertas tempranas sobre fallos, los usuarios solo detectan problemas cuando el sistema ya ha fallado, lo que puede resultar en interrupciones prolongadas del suministro eléctrico.

La implementación de un sistema de monitoreo basado en el Internet de las Cosas (IoT) es una solución eficiente para gestionar el estado de las baterías en tiempo real. Este enfoque permite planificar mantenimientos preventivos, minimizar riesgos de fallos imprevistos y reducir la necesidad de intervenciones físicas frecuentes, especialmente en zonas rurales donde el acceso de técnicos especializados es limitado. En el caso del centro de salud de la comunidad, el monitoreo constante asegura el suministro eléctrico para equipos médicos esenciales al prevenir daños en la planta y evitar cortes prolongados o inesperados. Asimismo, el uso de tecnologías IoT puede mejorar la sostenibilidad del sistema energético a largo plazo.

Estudios previos han demostrado que los sistemas de monitoreo en tiempo real optimizan la eficiencia de sistemas de energía solar, y contribuyen a reducir costos operativos. Esta capacidad de anticipar fallos y realizar ajustes oportunos extiende la vida útil de los componentes y garantiza un suministro energético más estable para la comunidad [9].

Este proyecto puede generar nuevas oportunidades de investigación en tecnologías de energía renovable y su aplicación en comunidades similares. De

esta manera, no sólo se enriquecerá el conocimiento existente, sino que también se contribuirá a construir un futuro más sostenible para las zonas rurales.

# Objetivos

## Objetivo General

- Desarrollar un Sistema IOT para el monitoreo de baterías en un sistema de energía solar: caso de estudio en Wasakentsa, Amazonía Ecuatoriana.

## Objetivos específicos:

- Diseñar el hardware del sistema embebido utilizando una placa de desarrollo IoT Heltec WiFi LoRa 32 V2, conectada a sensores de voltaje, humedad y temperatura para optimizar el monitoreo y gestión de la energía solar en tiempo real.
- Diseñar el software del sistema de monitoreo IoT utilizando la plataforma ThingsBoard para visualizar en tiempo real los datos obtenidos de los sensores de voltaje, humedad y temperatura.
- Implementar el sistema de monitoreo desarrollado en Wasakentsa, Amazonía Ecuatoriana.
- Evaluar el rendimiento del sistema embebido desarrollado para verificar la fiabilidad de dicho sistema.

# Introducción

A nivel mundial, más de 1.100 millones de personas no tienen acceso a la electricidad [10], una situación que impacta especialmente a las comunidades rurales y alejadas. Aunque en Ecuador la cobertura eléctrica llega al 97.04 % [11], las zonas amazónicas enfrentan retos considerables en términos de electrificación debido a su geografía, dispersión de la población y escasez de recursos técnicos. Este panorama ha obligado a poner en marcha sistemas de energías renovables como opción sustentable para asegurar el acceso a la electricidad.

En la misión Salesiana ubicada Wasakentsa es una de las comunidades que ha implementado sistemas solares fotovoltaicos para suplir sus necesidades energéticas [12]. Sin embargo, el éxito y la funcionalidad de estos sistemas dependen en su gran mayoría de un monitoreo adecuado y constante de parámetros clave que brinden información sobre las baterías. Actualmente, la falta de monitoreo en tiempo real de las baterías representa un problema crítico que compromete la eficiencia y vida útil del sistema, limitando el impacto positivo que podría tener en áreas como educación, salud y conectividad.

Para desarrollar este proyecto se hará uso de tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) ya que permite abordar este desafío monitorizando en tiempo real parámetros como voltaje de las baterías, temperatura y humedad. Este enfoque no solo trata de mejorar la gestión energética, sino también optimizar el mantenimiento preventivo, reducir costos operativos y asegurar la sostenibilidad a largo plazo. En este trabajo, se desarrolló e implementó un sistema IoT mediante el uso de un microcontrolador Heltec WiFi LoRa 32 V2, sensores de voltaje y temperatura, y un

servidor web en la plataforma ThingsBoard para monitorizar parámetros claves del banco de baterías, ofreciendo un modelo replicable para otras comunidades en condiciones similares.

A través de pruebas en laboratorio y validación en campo, este proyecto buscó demostrar cómo la integración de tecnologías IoT puede transformar la gestión energética en zonas rurales aisladas, optimizando recursos y mejorando la calidad de diversos servicios dentro de la comunidad, centrándose en el centro de salud. No obstante, se reconoce como limitación la dependencia de la comunidad en términos de infraestructura tecnológica y conectividad, lo cual podría influir en la replicabilidad del modelo en otros contextos, ya que este modelo usa antenas satelitales para su conectividad a wifi mientras que diversas comunidades no tienen acceso a internet.

# Capítulo 1

## Marco Teórico

En este capítulo se presentan los principales fundamentos teóricos necesarios para contextualizar los temas relevantes en el desarrollo del proyecto. En primer lugar, se estudiaron los Principios de energía solar y funcionamiento de sistemas fotovoltaicos. Luego, se analizan los tipos de Baterías en Sistemas de Energía Renovable. Luego, se analizaron las características de IoT y sus aplicaciones en monitoreo. Finalmente, se describen las tecnologías utilizadas como los sensores, el heltec y la plataforma thingsBoard.

### **1.1. Principios de Energía Solar y Funcionamiento de Sistemas Fotovoltaicos.**

#### **1.1.1. Fundamentos de la Energía Solar**

La energía que proviene del Sol es una de las energías renovables más viables debido a su disponibilidad y su capacidad para cubrir la demanda energética mundial. Alrededor de  $3,8 \times 10^{23}$  kW es el valor de la luz solar, de los cuales  $1,8 \times 10^{14}$  kW alcanza la superficie de la Tierra. No obstante, una considerable cantidad de esta energía se dispersa, se refleja o es absorbida por el ambiente y las nubes. Varios estudios han evidenciado que la energía solar posee la capacidad de cubrir el consumo energético mundial sin provocar cambios en el balance ambiental, constituyendo de esta manera una opción limpia y sustentable en contraposición a los combustibles

## 1.1. PRINCIPIOS DE ENERGÍA SOLAR Y FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

fósiles, cuyo efecto en el ecosistema es significativo. [13].

### 1.1.2. Tecnologías Solares

De forma principal, se emplea la energía solar a través de dos tecnologías:

1. A través de sistemas fotovoltaicos (PV) (PV, por sus siglas en inglés Photovoltaic), estos dispositivos transforman la radiación solar en electricidad de manera directa mediante el efecto fotovoltaico. Este fenómeno fue identificado por primera vez en 1839 por Edmond Becquerel y aplicado de forma práctica en 1954 en los Laboratorios Bell [13].
2. Mediante tecnologías de concentración solar (CSP)(CSP, del inglés Concentrated Solar Power), la cual utilizan matrices de espejos que rastrean el sol para concentrar su energía en un punto específico, donde se calienta un fluido que genera electricidad a través de turbinas convencionales [13].

### 1.1.3. Características de los Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico está compuesto por diversos elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos cuya función es captar la energía del Sol y transformarla en electricidad. Estos sistemas se pueden clasificar en [14]:

1. Sistemas independientes:
  - Con almacenamiento en baterías.
  - Sin almacenamiento en baterías.
2. Sistemas interconectados a la red eléctrica.
3. Sistemas híbridos: Integran la tecnología fotovoltaica con otras fuentes de generación de energía.

En su configuración inicial, un sistema fotovoltaico está conformado por los siguientes componentes:

## 1.1. PRINCIPIOS DE ENERGÍA SOLAR Y FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

- Paneles fotovoltaicos: Capturan la radiación solar y generan electricidad en forma de corriente continua.
- Reguladores de carga: Gestionan el flujo de energía hacia las baterías para evitar sobrecargas o descargas profundas.
- Baterías: Permiten el almacenamiento de la energía generada para su uso en momentos de baja radiación solar.
- Inversores: Convierten la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), permitiendo su uso en equipos eléctricos convencionales [14].

### 1.1.4. Usos y Beneficios de los Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos se distinguen por su habilidad para producir electricidad en una serie de usos, que incluyen:

- Electrificación de zonas remotas: Son una solución eficiente para sistemas de bombeo de agua, repetidores de televisión y telefonía.
- Suministro energético para edificaciones aisladas: Proporcionan electricidad para iluminación, electrodomésticos y otros consumos básicos.
- Alumbrado público autónomo: Se emplean en estacionamientos, áreas de descanso y otros espacios urbanos.
- Sistemas de señalización: Utilizados en infraestructura vial y marítima para mejorar la seguridad.
- Interconexión con la red eléctrica: Permiten la integración de pequeñas plantas solares en la red, reduciendo pérdidas y optimizando la eficiencia energética [14].

Entre las principales ventajas de los sistemas fotovoltaicos se encuentran:

- No generan contaminación ambiental.
- Funcionan de manera silenciosa y tienen una vida útil superior a 20 años.

- Son resistentes a condiciones climáticas adversas como granizo y fuertes vientos.
- No requieren el uso de combustibles fósiles [14].

## 1.2. Tipos de Baterías en Sistemas de Energía Fotovoltaica

Las baterías juegan un papel clave en los sistemas de energía renovable, permitiendo almacenar la electricidad generada y garantizando un suministro estable de energía, especialmente en entornos con acceso limitado a la red eléctrica. En el caso de las plantas fotovoltaicas, elegir la batería adecuada es crucial para optimizar la eficiencia del sistema y alargar su vida útil. A continuación se muestran las características de la batería DC12-200 y la de Plomo Ácido utilizadas en la planta fotovoltaica comunitaria de Wasakentsa.

### 1.2.1. Baterías Planta Fotovoltaica DC12-200

Las baterías de corriente continua (CC) de ciclo profundo ofrecen alta integridad y confiabilidad. Están especialmente diseñados para soportar cargas y descargas cíclicas frecuentes. Mediante el uso de grados de alta resistencia, placas gruesas y materiales activos especializados, estas baterías son ideales para aplicaciones de descarga profunda repetida. Además, ofrecen un 30 % más de vida útil en comparación con la serie de reserva. Son adecuadas para el almacenamiento de energía renovable solar y eólica, la movilidad, los equipos médicos y la televisión por cable, etc [15].

En la tabla 1.1 se pueden observar las especificaciones técnicas de esta batería:

Tabla 1.1: Especificaciones Batería DC12-200

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
<b>Celdas por unidad</b>	6
<b>Voltaje por unidad</b>	12V
<b>Capacidad</b>	200Ah @ tasa de 20 horas hasta 1.75V por celda a 25°C
<b>Peso</b>	58 lb (Tolerancia $\pm 5\%$ )
<b>Resistencia interna</b>	Máx. 5mOhms
<b>Terminal</b>	Predeterminado F10(M8), F16(M8) y L6 opcional
<b>Corriente máxima de descarga</b>	2000A (5 segundos)
<b>Vida útil de diseño</b>	12 años
<b>Corriente máxima de carga</b>	60.0A
<b>Capacidad de referencia</b>	C3: 150.0Ah C5: 170.0Ah C10: 190.5Ah C20: 200.0Ah
<b>Voltaje de flotación</b>	13.6V – 13.8V a 25°C
<b>Compensación de temperatura</b>	-3mV/°C por celda
<b>Voltaje de uso en ciclo</b>	14.6V – 14.8V a 25°C
<b>Compensación de temperatura</b>	-4mV/°C por celda
<b>Rango de temperatura de operación</b>	Descarga: -20°C a 60°C Carga: 0°C a 50°C Almacenamiento: -20°C a 60°C
<b>Autodescarga</b>	Las baterías VRLA de RITAR pueden almacenarse hasta 6 meses a 25°C antes de requerir recarga. La tasa de autodescarga mensual es menor al 3% a 25°C. Se recomienda cargar las baterías antes de su uso.
<b>Material contenedor</b>	del A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 opcional

### 1.2.2. Baterías de Plomo Ácido (A-Pb)

Este tipo de batería es un dispositivo electroquímico diseñado para almacenar energía. Su funcionamiento se basa en la conversión de energía química en energía eléctrica mediante reacciones de oxidación y reducción (redox) entre dos elementos

químicos. este tipo de batería está formada por varias celdas, que constituyen su unidad básica. Cada celda cuenta con un ánodo y un cátodo: durante la descarga, el ánodo libera electrones que fluyen hacia la carga, mientras que el cátodo los recibe a través del proceso de oxidación. Cuando la batería se encuentra en fase de carga, este proceso ocurre en sentido inverso [16].

Las baterías de plomo-ácido (A-Pb) han estado en el mercado desde 1859 y han mantenido su popularidad gracias a su bajo costo, resistencia y capacidad de reutilización. Se utilizan comúnmente en sistemas de arranque de motores y pueden soportar ciclos de descarga profunda. Su fiabilidad las hace ideales para aplicaciones críticas, como centros de datos y estaciones de telecomunicaciones en ubicaciones remotas. Existen dos tipos principales de baterías de plomo-ácido: las reguladas por válvula (VRLA) y las de electrolito líquido (baterías húmedas). Estas últimas requieren mantenimiento periódico para verificar el estado del electrolito en cada celda, mientras que las VRLA son selladas y no requieren intervención frecuente, razón por la cual se consideran libres de mantenimiento [16].

A pesar de sus ventajas, el principal inconveniente de las baterías de plomo-ácido es su gran tamaño y peso en relación con la cantidad de energía que pueden almacenar [16].

### **1.3. Introducción al IoT y sus Aplicaciones en Monitoreo.**

El Internet de las Cosas (IOT) (IOT, del inglés Internet of Things), es un modelo tecnológico que conecta dispositivos físicos a través de internet para recopilar, procesar y compartir información en tiempo real. Estos dispositivos, equipados con sensores, actuadores y módulos de comunicación, interactúan entre sí y con los usuarios, permitiendo la creación de sistemas inteligentes que optimizan procesos y mejoran la eficiencia en la gestión de recursos [17].

### 1.3.1. Características y Arquitectura del IoT

El IoT se basa en tres pilares fundamentales [18]:

1. **Conectividad:** La capacidad de interconectar múltiples dispositivos mediante protocolos de comunicación como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee o LPWAN, entre otros.
2. **Automatización:** Los sistemas basados en IoT operan con mínima intervención humana, procesando datos automáticamente para generar respuestas rápidas y efectivas.
3. **Escalabilidad:** Permite integrar nuevos dispositivos y funcionalidades de forma dinámica, adaptándose a las necesidades del sistema.

Además, frecuentemente la arquitectura de IoT se estructura en capas:

- **Capa de percepción:** Incluye los sensores y actuadores que almacenan datos del entorno.
- **Capa de red:** Facilita la transferencia de datos hacia servidores locales o la nube.
- **Capa de procesamiento:** Se encarga del análisis y almacenamiento de datos.
- **Capa de aplicación:** Ofrece interfaces de usuario para la visualización y administración de los datos obtenidos [18].

### 1.3.2. Aplicaciones del IoT en Monitoreo

El IoT ha revolucionado la manera en que se realiza el monitoreo de sistemas, permitiendo obtener información precisa y en tiempo real sobre variables críticas. Estas capacidades son especialmente valiosas en contextos donde el acceso a datos es esencial para garantizar la continuidad operativa y la eficiencia. Algunas características relevantes del IoT aplicado al monitoreo son:

- **Recolección de datos en tiempo real:** Los sensores recopilan información continuamente, permitiendo identificar patrones y posibles anomalías.

- Gestión remota: Los usuarios pueden acceder a los datos desde cualquier ubicación a través de plataformas digitales.
- Optimización de recursos: El análisis de los datos recopilados permite tomar decisiones informadas para optimizar el uso de recursos y prevenir fallos [17].

### 1.3.3. Retos y Ventajas del IoT

Entre los principales beneficios del IoT destacan la automatización de procesos, la reducción de costos operativos y la mejora en la toma de decisiones basada en datos. No obstante, su implementación enfrenta desafíos como la seguridad de la información, la dependencia de la conectividad y el costo inicial de los sistemas. A pesar de estas limitaciones, el IoT sigue siendo una tecnología prometedora para la creación de sistemas eficientes y sostenibles.

### 1.3.4. Relación con este Estudio

En esta investigación, el IoT se aplica específicamente al monitoreo del estado de las baterías en un sistema de energía solar. Este enfoque permite supervisar variables críticas como voltaje, corriente y capacidad, optimizando el funcionamiento y la gestión de las baterías mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Este sistema busca contribuir a la sostenibilidad energética y garantizar la operatividad en contextos de difícil acceso, como las comunidades remotas de la Amazonía ecuatoriana.

## 1.4. Tecnologías Utilizadas

### 1.4.1. Sensores de Voltaje, Humedad y Temperatura

#### Sensor de Voltaje FZ0430

Es un dispositivo compacto y eficiente que emplea un divisor de voltaje conformado por resistencias de 30 k $\Omega$  y 7.5 k $\Omega$ , como se muestra en la figura 1.1. El diseño de este sensor, reduce en un factor de 5 el voltaje medido, lo que

permite obtener un rango de medición seguro y adecuado para la conexión con microcontroladores como Arduinos [19].

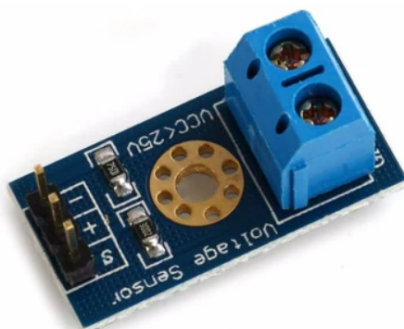


Figura 1.1: Sensor de Voltaje FZ0430 [19]

Este sensor es capaz de detectar hasta 25 V cuando se utiliza una referencia de 5 V y hasta 16.5 V si la referencia es de 3.3 V. No obstante, superar estos valores podría ocasionar daños en el pin analógico del dispositivo al que está conectado. Con una resolución de 24.45 mV, el FZ0430 es adecuado para aplicaciones que requieren precisión moderada [19]. por otro lado, es empleado para el monitoreo de baterías y sistemas eléctricos, especialmente en dispositivos de 12 V o 24 V, como tiras LED, ventiladores y celdas Peltier. Sus principales especificaciones técnicas son:

- Rango de voltaje de entrada: 0 V a 25 V DC.
- Voltaje máximo de detección: 25 V (con alimentación de 5 V) o 16.5 V (con alimentación de 3.3 V).
- Rango de medición: 24.45 mV a 25 V.
- Resolución analógica: 0.00489 V DC.
- Voltaje mínimo detectable: 24.45 mV [19].

### Sensor de Humedad y Temperatura

El sensor DHT11 es un módulo integrado que combina un sensor de temperatura y humedad para proporcionar mediciones precisas y fiables en aplicaciones IoT. Este dispositivo destaca por su señal digital de salida calibrada, lo

que facilita su uso en sistemas embebidos y proyectos electrónicos. El sensor DHT11 se puede observar en la figura 1.2.

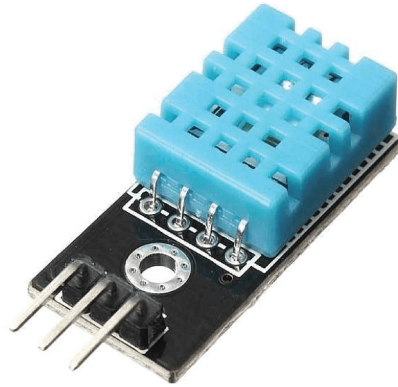


Figura 1.2: Sensor de Temperatura [20]

El sensor DHT11 utiliza un sensor de temperatura tipo NTC, capaz de medir un rango de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , y un sensor capacitivo para la humedad relativa. Su precisión se garantiza mediante un proceso de calibración estricto en laboratorio, cuyos coeficientes se almacenan en la memoria OTP (OTP, del inglés One-Time Programmable). Esta característica asegura un rendimiento estable y confiable a largo plazo.

Una de las ventajas principales del DHT11 es su interfaz de comunicación mediante un protocolo 1-Wire, que permite transmitir datos a través de un único hilo, simplificando su integración en proyectos. Adicionalmente, su bajo consumo energético y la capacidad de transmitir señales hasta 20 metros lo convierten en una buena opción para ser utilizados en sistemas IoT de monitoreo remoto [20].

Entre sus características técnicas principales se destacan:

- Rango de medición de temperatura:  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ .
- Rango de medición de humedad relativa: 20 % a 90 %.
- Precisión de temperatura:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Precisión de humedad:  $\pm 5\%$ .
- Comunicación: protocolo 1-Wire.



Tabla 1.2: Especificaciones Técnicas [22]

Especificación	Detalle
<b>Fabricante</b>	Heltec
<b>Modelo</b>	ZC-30-868
<b>CPU</b>	ESP32, Doble núcleo a 240 MHz
<b>WiFi</b>	Hasta 150 Mbps, 802.11 b/g/n/e/i
<b>Bluetooth</b>	Versión 4.2 (BLE)
<b>Flash</b>	8 MB (64 bits)
<b>Convertidor</b>	CP2102
<b>USB-Serial</b>	
<b>Radio</b>	Semtech SX1276
<b>Conector de antena</b>	IPX (U.FL) (antena incluida)
<b>Pantalla OLED</b>	Tamaño: 0,96", Controlador: SSD1306, Resolución: 128x64 píxeles
<b>Circuito de carga</b>	Compatible con baterías Li-Ion/Li-Po
<b>Toma de batería</b>	Paso de 2 pines de 1,25 mm (cable SH1.25)
<b>Dimensiones</b>	51 x 25,5 x 10,6 mm

### 1.4.3. Plataforma ThingsBoard.

ThingsBoard es una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) de código abierto ampliamente utilizada para la recopilación, procesamiento, visualización y gestión de dispositivos conectados. Esta plataforma ha sido diseñada para integrarse con sensores y microcontroladores mediante protocolos estándar como MQTT (MQTT, del inglés Message Queuing Telemetry Transport), HTTP y CoAP, permitiendo la transferencia eficiente y segura de datos entre los dispositivos y los sistemas de monitoreo [23].

Una de las principales características de ThingsBoard es su capacidad para crear paneles personalizados e interactivos que permiten visualizar datos en tiempo real. Los usuarios pueden configurar widgets, como gráficos, tablas y medidores digitales, para representar los datos recogidos por los sensores de manera intuitiva y accesible. Esto facilita la supervisión y el análisis de parámetros críticos, como voltajes y corrientes en sistemas de energía solar [24].

Además de la visualización, ThingsBoard incluye funcionalidades avanzadas como la generación de alarmas basadas en umbrales predeterminados. Estas alarmas pueden enviarse automáticamente por correo electrónico o integrarse con otras

aplicaciones para permitir una respuesta rápida ante condiciones anómalas. Por ejemplo, en proyectos de monitoreo de baterías solares, se pueden configurar alarmas para alertar sobre niveles de carga críticos o sobrecargas [25].

En términos de arquitectura, ThingsBoard se puede implementar de forma local o en la nube, brindando flexibilidad según los requerimientos del proyecto. La versión local, a menudo instalada en dispositivos como Raspberry Pi, asegura la privacidad y la integridad de los datos al operar en redes privadas, lo cual es esencial para aplicaciones críticas donde la seguridad es una prioridad [23].

Por estas razones, ThingsBoard se ha convertido en una opción preferida para proyectos de monitoreo IoT, incluyendo aplicaciones en energía solar. Su soporte para múltiples protocolos, su flexibilidad en la personalización y sus capacidades de integración hacen de esta plataforma una solución robusta y escalable [24].

# Capítulo 2

## Metodología

Este capítulo detalla los procedimientos y estudios llevados a cabo para la elaboración de este proyecto. El cual incluye selección de herramientas, comunicación inalámbrica, diseño e implementación del sistema. Por último diagnóstico y corrección de fallos.

### 2.1. Diseño de la Metodología Aplicada

La estructura del proyecto se divide en 5 etapas principales: diseño del sistema, comunicación inalámbrica, implementación del sistema, procesamiento de los datos y evaluación, y finalmente la validación. Cada una de estas etapas se encuentran detalladas a lo largo de este capítulo, indicando los dispositivos utilizados y los software pertinentes. En la figura 2.1 se muestra el diagrama para desarrollar un sistema de monitoreo de baterías usando tecnología IoT.

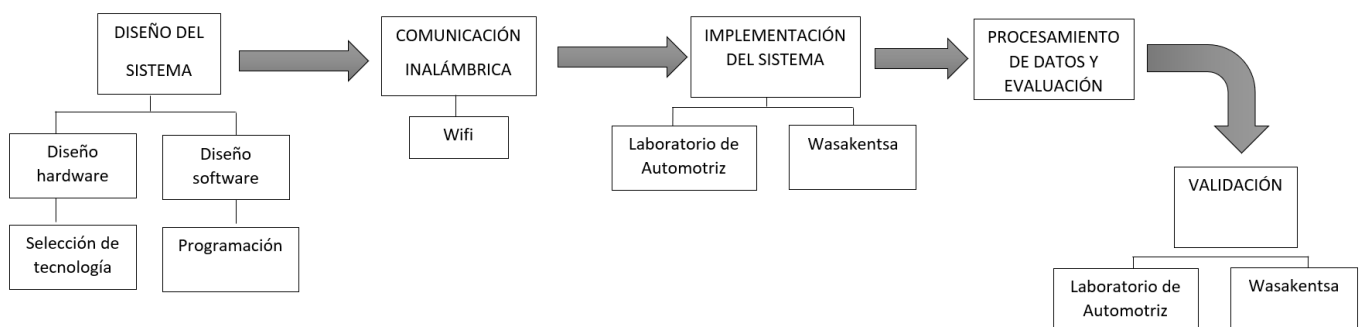


Figura 2.1: Diseño de la Metodología Aplicada

## 2.2. Diseño del Sistema

### 2.2.1. Diseño del Hardware

#### Selección de la Tecnología

Luego de haber recolectado información acerca de posibles soluciones para el caso de estudio, se realizó un análisis comparativo de tres opciones tecnológicas para el microprocesador del sistema embebido las cuales se observan en la tabla 2.1: un ESP32 estándar, un ESP8266 y un Heltec WiFi LoRa 32 V2.

Característica	ESP8266	ESP32 (Normal)	Heltec WiFi LoRa 32 V2
Núcleos	1	2	2
Frecuencia	80 MHz	160-240 MHz	160 MHz
Conectividad	WiFi	WiFi, Bluetooth	WiFi, Bluetooth, LoRa
Consumo de Energía	Medio	Medio	Bajo
Memoria Flash	Hasta 4 MB	Hasta 16 MB	Hasta 8 MB
Soporte para LoRa	No	No	Sí
Facilidad de Integración	Media	Alta	Alta
Alcance de Comunicación	Corto (WiFi)	Medio (WiFi, BT)	Largo (LoRa, WiFi, BT)

Tabla 2.1: Comparación entre Microprocesadores Evaluados [26],[21]

Tras evaluar factores como la capacidad de procesamiento, la conectividad, el consumo energético y la compatibilidad con protocolos de comunicación inalámbrica, se optó por el Heltec WiFi LoRa 32 V2. Esta decisión se tomó debido a sus múltiples opciones de comunicación, como WiFi, que lo hacen ideal para un sistema IoT al permitir una transmisión de datos eficiente a largas distancias con un bajo consumo de energía. Además, cuenta con integración nativa con LoRa, lo que puede ser útil para trabajos futuros. Asimismo, su interfaz intuitiva facilita el manejo y envío de datos, optimizando el desarrollo e implementación del sistema.

Para la recolección de datos, se seleccionaron los sensores para la medición de voltaje y temperatura. El sensor de voltaje FZ0430 fue elegido por su alta precisión en la medición de voltajes de corriente continua (DC), lo que permite obtener datos confiables del sistema. Aunque su capacidad de medición está limitada a 25V cuando se alimenta con 5V y 16V cuando se alimenta con 3.3V, su facilidad de integración con el Heltec WiFi LoRa 32 V2 lo convierte en una opción ideal, ya que su salida

analógica es compatible con los pines de entrada del microcontrolador. Debido a que la planta fotovoltaica instalada en wasakentsa maneja voltajes de hasta 52V y corrientes superiores a 3A, se implementaron divisores de voltaje que permiten reducir los valores a rangos seguros para la medición.

Por otro lado, el sensor de temperatura DHT22 fue seleccionado por su estabilidad y precisión en la medición de temperatura y humedad, además de su bajo consumo energético, lo que lo hace ideal para sistemas de bajo consumo como el Heltec. Su interfaz digital simplifica la comunicación con el microcontrolador, asegurando una lectura confiable de los datos.

Los datos recopilados fueron enviados a un servidor en ThingsBoard para su visualización y análisis, permitiendo un monitoreo remoto eficiente. Además, en caso de detectar anomalías, el sistema genera alertas automáticas vía correo electrónico, mejorando la capacidad de respuesta ante posibles anomalías en el comportamiento de las baterías.

### **Diseño de la Placa Electrónica**

El diseño de las placas electrónicas fue realizado utilizando Altium Designer, un software avanzado de diseño de circuitos impresos (PCB). Las placas han sido desarrollada para integrar diversos sensores y componentes electrónicos esenciales para la funcionalidad del sistema.

### **Placa Principal**

**Esquemático del Circuito:** El diseño comenzó con la elaboración del esquemático que se muestra en la figura 2.2, donde se definieron las conexiones entre los principales componentes.

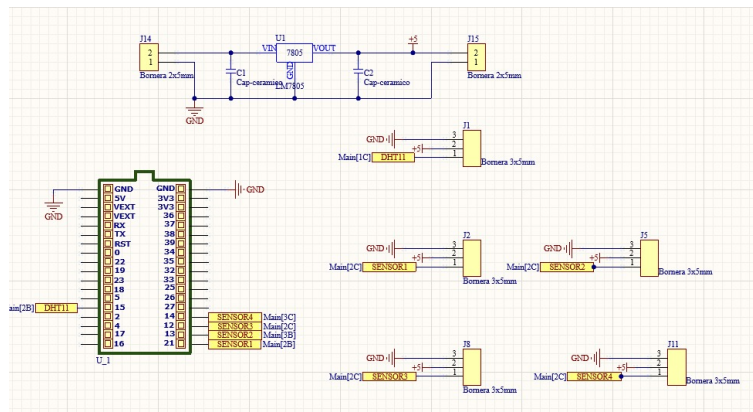


Figura 2.2: Esquemático del Circuito

**Microcontrolador Heltec Wifi Lora 32 v2:** Se utilizó como unidad de procesamiento central, encargada de gestionar la adquisición de datos y la comunicación con los sensores.

**Regulador de Voltaje 7805:** Se incluyó para convertir la voltaje de entrada en una salida estable de 5V, necesaria para alimentar algunos sensores y dispositivos periféricos.

**Sensores:** Se incorporaron múltiples sensores de voltaje conectados a través de borneras, incluyendo un sensor DHT22 para la medición de temperatura y humedad.

**Conectores y Terminales:** Se añadieron borneras de conexión para facilitar el ensamble y mantenimiento del sistema.

**Diseño del PCB:** Después de definir el esquemático, se procedió con la creación del diseño del PCB, considerando los siguientes aspectos:

- **Software:** Altium Designer permitió optimizar el enrutamiento de las pistas y la distribución de los componentes.
- **Tamaño y forma:** La PCB fue diseñada con dimensiones adecuadas para su integración en la estructura final del sistema.

Como resultado final se obtuvo el diseño de placa que se muestra en la figura 2.3.

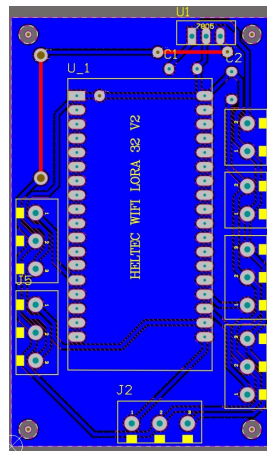


Figura 2.3: Diseño del PCB

### Distribución de Componentes y Enrutamiento

Para garantizar un diseño eficiente y funcional se colocaron los componentes estratégicamente para minimizar interferencias y facilitar el flujo de corriente obteniendo como resultado los PCBs como se puede observar en la figura 2.4.



Figura 2.4: Diseño de la Distribución de Componentes y Enrutamiento

Se priorizó un enrutamiento limpio, evitando cruces innecesarios y manteniendo una separación adecuada entre pistas de señal y alimentación. Se incorporaron planos de tierra (GND) para mejorar la estabilidad del circuito y reducir ruidos eléctricos.

### Placa Divisores

1. Esquemático del Circuito: El diseño se inicio con la elaboración del esquemático de la figura 2.5, donde se definieron las conexiones para el divisor de Voltaje.

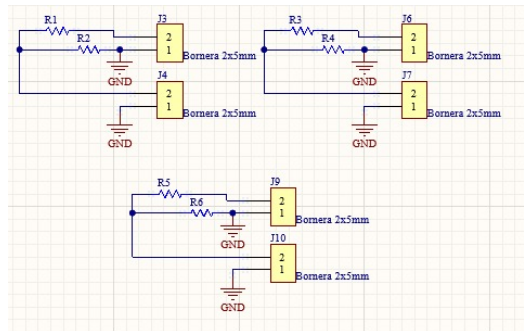


Figura 2.5: Esquemático Divisor de Voltaje

2. Diseño PCB: La PCB fue diseñada con dimensiones adecuadas para su integración en la estructura final del sistema como se muestra en la figura 2.6

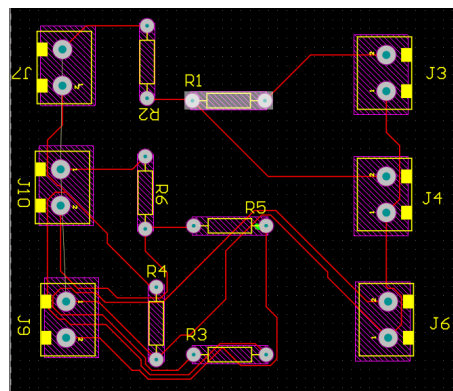


Figura 2.6: Divisor de Voltaje

3. Distribución de Componentes y Enrutamiento: Se colocaron las resistencias de manera estratégica para minimizar interferencias y facilitar la lectura precisa del voltaje, esta distribución se observa en la figura 2.7.

Se priorizó un enrutamiento limpio, evitando cruces innecesarios y manteniendo una separación adecuada entre pistas de señal y alimentación. Se incorporaron planos de tierra (GND) para mejorar la estabilidad del circuito y reducir ruidos eléctricos.

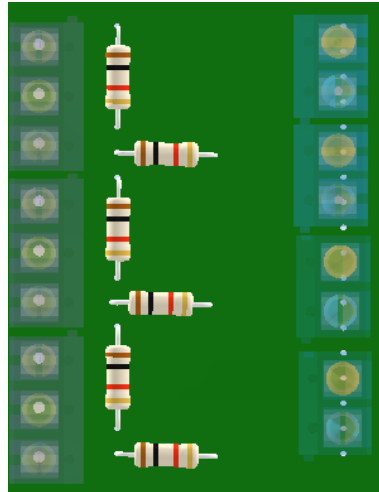


Figura 2.7: Modelo 3D PCB

### Diseño de la Estructura

La estructura del sistema fue diseñada con el objetivo de alojar y proteger los componentes electrónicos. Se optimizó su estructura para garantizar un montaje seguro, facilitar el acceso a los puertos de conexión y minimizar el impacto de factores ambientales adversos.

#### 1. Estructura

La estructura consta de tres partes principales como se observa en la figura 2.8 y se detallan a continuación :

- Cajón principal: Aloja los PCBs y los componentes electrónicos.
- Tapa principal: Incluye una ventana para visualizar el Heltec, facilitando la supervisión del sistema.
- Tapas para baterías: Protegen y aseguran las baterías en su compartimiento, permitiendo un acceso sencillo para su mantenimiento.

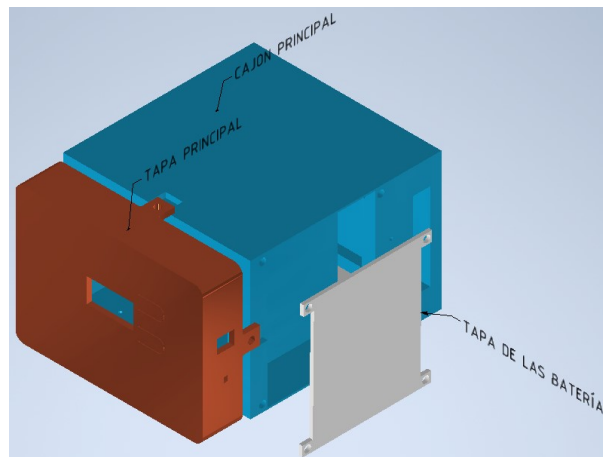


Figura 2.8: Diseño de la Estructura

El diseño de la estructura fue realizada en Autodesk Inventor, lo que permitió optimizar la distribución de los componentes y garantizar un ensamblaje preciso, obteniendo como resultado el diseño que se presenta en la figura .

2. Material Utilizado: Se empleó filamento de PLA (Polylactic Acid) para la impresión 3D de la caja. Este material fue seleccionado por su facilidad de impresión, rigidez y buena calidad superficial. Se consideró una opción adecuada para este proyecto debido a su resistencia, durabilidad y bajo costo.
3. Método de Fabricación: La estructura fue fabricada mediante impresión 3D. Se emplearon configuraciones que aseguraron una buena resistencia mecánica sin comprometer excesivamente el tiempo de impresión. Se usaron las siguientes configuraciones:
  - Altura de capa: 0.2 mm
  - Relleno: 20 %
  - Soportes: Solo en las zonas necesarias para evitar deformaciones
  - Velocidad de impresión: 50 mm/s

### Conexiones y Montaje

1. Conexiones Internas: Los componentes internos se conectan mediante cables flexibles con conectores tipo Dupont y terminales soldadas para garantizar una

conexión firme. Se evitó el uso de cables largos para reducir interferencias y mejorar la organización interna.

2. Montaje de la PCB: La PCB se fija dentro de la estructura mediante soportes impresos en 3D y tornillos M3, asegurando estabilidad y evitando movimientos indeseados que podrían dañar los circuitos.

3. Conectores y Cableado Externo

Se dispusieron aperturas en la estructura para permitir la salida de los conectores principales, incluyendo:

- Puerto de alimentación.
- Conexiones a sensores.
- Puerto de programación.

Estas aperturas fueron diseñadas con dimensiones precisas para evitar holguras excesivas y proteger los componentes internos de elementos externos.

### 2.2.2. Diseño del software

#### Programación

El sistema fue programado utilizando el entorno Arduino IDE, y se estructura en módulos que separan las tareas principales del sistema. La configuración inicial incluye la activación de pines, sensores y la pantalla OLED. En el bucle principal (`loop()`), se gestionan las tareas periódicas como la lectura de sensores, el envío de telemetría a ThingsBoard y la actualización de la pantalla OLED. La conectividad se gestiona mediante la librería WiFi.h, que permite la reconexión automática en caso de pérdida de señal. Los datos recolectados por los sensores se procesan y convierten en valores físicos antes de ser enviados a la plataforma ThingsBoard para su visualización en tiempo real. Además, se implementó un sistema de visualización en pantalla OLED con varias pantallas rotativas para mostrar información clave del sistema localmente.

## Arquitectura

### 1. Capa de Configuración e Inicialización

Esta capa establece los parámetros iniciales necesarios para que el sistema funcione correctamente:

- Configuración de pines (**pinMode** y **digitalWrite**).
- Inicialización de sensores (**dht.begin()**).
- Configuración de comunicación OLED y WiFi (**Wire.begin()** y **InitWiFi()**).
- Variables globales:
  - pantallaActual: Control de las pantallas OLED.
  - datos[]: Arreglo que almacena los datos recolectados.

### 2. Capa de Adquisición de Datos

Responsable de obtener los valores de los sensores conectados al sistema:

- Lectura de voltajes: Los valores de voltaje de las baterías se obtienen a través de divisores de voltaje en pines analógicos.

```
float batteryVoltagePin36 = analogRead(voltajePin1)*(25.0/6250.0);  
float batteryVoltagePin37 = analogRead(voltajePin2)*(25.0/6250.0);  
float batteryVoltagePin38 = analogRead(voltajePin3)*(25.0/6250.0);  
float batteryVoltagePin39 = analogRead(voltajePin4)*(25.0/6250.0);  
float batteryVoltage = readBatteryVoltage();
```

- Lectura de temperatura y humedad: Uso del sensor DHT11 para obtener datos ambientales:

```
float temperatura = dht.readTemperature();  
float humedad = dht.readHumidity();
```

### 3. Capa de Visualización

Se encarga de mostrar la información en tiempo real utilizando la pantalla

OLED.

Funciones asociadas:

- Pantalla de bienvenida: Mensaje general mostrado en el inicio del sistema:

```
mostrarPantalla1Contenido();
```

- Pantallas de sensores: Muestra los valores de voltajes y datos ambientales en diferentes formatos:

```
mostrarPantalla2Contenido(batteryVoltagePin36,  
  
batteryVoltagePin37);  
  
mostrarPantalla3Contenido(batteryVoltagePin38,  
  
batteryVoltagePin39);  
  
mostrarPantalla4Contenido(temperatura, batteryVoltage);
```

- Pantalla personalizada: Permite mostrar un mensaje dinámico en el OLED:

```
mostrarMensajeOLED("Voltaje General:"+String(batteryVoltage,2));
```

#### 4. Capa de Comunicación y Conectividad

Administra la conexión WiFi y el envío de datos a ThingsBoard:

- Conexión WiFi: La función `InitWiFi()` conecta el sistema a la red y valida la conexión.

```
WiFi.begin(WIFI_AP, WIFI_PASSWORD);  
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(500);  
}
```

- Conexión ThingsBoard: Para conectarnos a ThingsBoard lo hacemos por medio de MQTT

```
mosquitto_pub-d-q1-h3.15.222.219-p1883-t v1/devices/me/telemetry
-u "2IfY0tA0x00LHoMqpon2" -m "{temperature:25}"
TOKEN "2IfY0tA0x00LHoMqpon2";
const char thingsboardServer[] = "3.15.222.219";
```

- Reconexión automática a ThingsBoard: Usa reconnect() para reestablecer la comunicación si se pierde la conexión con el servidor:

```
if (!tb.connect(thingsboardServer, TOKEN)) { // Error de conexión
}
```

- Envío de datos: Los datos se transmiten a ThingsBoard en formato de telemetría:

```
tb.sendTelemetryFloat("voltajeBateria1", datos[0]);
tb.sendTelemetryFloat("voltajeBateria2", datos[1]);
tb.sendTelemetryFloat("voltajeBateria3", datos[2]);
tb.sendTelemetryFloat("voltajeBateria4", datos[3]);
tb.sendTelemetryFloat("temperatura", datos[4]);
tb.sendTelemetryFloat("humedad", datos[5]);
tb.sendTelemetryFloat("BateriaIot", datos[6]);
```

- Envío de correos electrónicos: Está preparada en enviarCorreo() para notificaciones por email.

```
if (batteryVoltage < 2.5) {
    enviarCorreo("Advertencia:La batería del sistema tiene un
                voltaje bajo"+String(batteryVoltage, 2) +
                " V). Se recomienda reemplazarla.");
}
if (batteryVoltagePin36 < 7.5) {
    enviarCorreo("Advertencia:La batería 1 tiene un voltaje bajo
                ("+String(batteryVoltagePin36, 2) +
                " V). Se recomienda reemplazarla.");
...
void enviarCorreo(String mensaje) {
    Serial.println("Enviando correo...");
    Session_Config config;
    config.server.host_name = "smtp.gmail.com";
    config.server.port = 465;
    config.login.email = EMAIL_SENDER;
    config.login.password = EMAIL_PASSWORD;
    SMTP_Message message;
    message.sender.name = "Sistema IoT";
    message.sender.email = EMAIL_SENDER;
    message.subject = "Advertencia de Batería";
    message.addRecipient("Destinatario", EMAIL_RECIPIENT);
    message.text.content = mensaje;
    message.text.charSet = "utf-8";

    if (!smtp.connect(&config)) {
        Serial.println("Error al conectar al servidor SMTP:");
        return;
    }
    if (!MailClient.sendMail(&smtp, &message)) {
        Serial.println("Error al enviar el correo:"+ smtp.errorReason());
    } else {
        Serial.println("Correo enviado exitosamente.");
    }
    smtp.closeSession();
}
```

5. Capa de Lógica y Control Coordina el flujo de trabajo y las acciones del sistema:

- Ciclo Principal (loop): Responsable de:
  - Verificar conexiones con ThingsBoard.

```
void loop() {  
  if (!tb.connected()) {  
    reconnect();  
  }  
}
```

- Leer y actualizar los datos de los sensores.

```
float temperatura = dht.readTemperature();  
float humedad = dht.readHumidity();  
temperatura = 5.0;  
float batteryVoltagePin36=analogRead(voltajePin1)*(25/6250);  
float batteryVoltagePin37=analogRead(voltajePin2)*(25/6250);  
float batteryVoltagePin38=analogRead(voltajePin3)*(25/6250);  
float batteryVoltagePin39=analogRead(voltajePin4)*(25/6250);  
float batteryVoltage = readBatteryVoltage();
```

- Cambiar las pantallas OLED en intervalos definidos.

```
unsigned long tiempoActual = millis();
if (tiempoActual - lastScreenSwitch > OLED_SCREEN_INTERVAL) {
    pantallaActual = (pantallaActual % 5) + 1;
    lastScreenSwitch = tiempoActual;
}
switch (pantallaActual) {
case 1:
mostrarPantalla1Contenido();
break;
case 2:
mostrarPantalla2Contenido(batteryVoltagePin36,
batteryVoltagePin37);
break;
case 3:
mostrarPantalla3Contenido(batteryVoltagePin38,
batteryVoltagePin39);
break;
case 4:
mostrarPantalla4Contenido(temperatura, batteryVoltage);
break;
case 5:
mostrarMensajeOLED("VoltajeGeneral:
"+String(batteryVoltage,2)+"V");
break;
}
```

- Enviar datos a la nube en intervalos regulares.

```
datos[0] = batteryVoltagePin36;
datos[1] = batteryVoltagePin37;
datos[2] = batteryVoltagePin38;
datos[3] = batteryVoltagePin39;
datos[4] = temperatura;
datos[5] = humedad;
datos[5] = batteryVoltage;
if (millis() - lastSend > 1000) {
    enviarCoordenadas();
    lastSend = millis();
}
tb.loop();
delay(500);
```

- Gestión de pantallas: Cambia automáticamente la pantalla OLED cada OLED\_SCREEN\_INTERVAL:

```
pantallaActual = (pantallaActual % 5) + 1;
```

## 2.3. Comunicación Inalámbrica

El Internet de las Cosas (IoT) ha cambiado la forma en que se monitorean sistemas energéticos, permitiendo una supervisión en tiempo real y una mejor toma de decisiones. En este proyecto, el IoT se implementó para monitorear baterías de una planta fotovoltaica en Wasakentsa, usando el microcontrolador Heltec WiFi LoRa 32 V2 y sensores para medir voltaje y temperatura. Esto facilita la recolección de datos y su transmisión eficiente incluso en zonas remotas.

El sistema está compuesto por sensores, una red de comunicación y una plataforma de visualización. Los sensores FZ0430 y DHT22 capturan información clave sobre el estado de las baterías y las condiciones ambientales. Estos datos se envían mediante WiFi a ThingsBoard, donde pueden visualizarse y analizarse en paneles personalizados. Gracias a esto, se pueden detectar patrones y anomalías de

manera rápida y eficiente.

El Heltec WiFi LoRa 32 V2 es una pieza clave en la implementación del sistema por su capacidad de conectar sensores y transmitir datos a largas distancias con bajo consumo de energía. Su compatibilidad con WiFi y LoRa lo hace ideal para lugares con conectividad limitada, y su programación sencilla permite optimizar la recolección de información.

El Heltec se comunica con el servidor ThingsBoard a través del protocolo MQTT, lo que permite una transmisión de datos ligera, eficiente y en tiempo real. MQTT es ideal para dispositivos IoT debido a su bajo consumo de ancho de banda y su capacidad para operar en redes inestables, asegurando una comunicación confiable. Gracias a esta conexión, se monitorean continuamente los parámetros de las baterías, reduciendo la necesidad de inspecciones manuales y permitiendo la detección temprana de fallas. Además, se configuran alertas automáticas por correo electrónico ante valores anormales, lo que permite una respuesta rápida ante posibles problemas.

A futuro, se podrían incorporar sensores adicionales para medir corriente, mejorando la precisión del monitoreo. También se podría implementar LoRaWAN para ampliar la cobertura de comunicación y explorar el uso de inteligencia artificial para predecir el estado de las baterías, optimizando el mantenimiento y la eficiencia del sistema.

## **2.4. Implementación del Sistema**

### **2.4.1. Sistema Implementado en el Laboratorio**

Para el diseño del sistema embebido se simuló un sistema similar al instalado en Wasakentsa con un banco de 4 baterías conectadas en serie, con la diferencia de que estas baterías no son alimentadas por una planta fotovoltaica. La implementación se llevó a cabo en el laboratorio de automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. Un diagrama representativo de la conexión se puede ver en la figura 2.9.

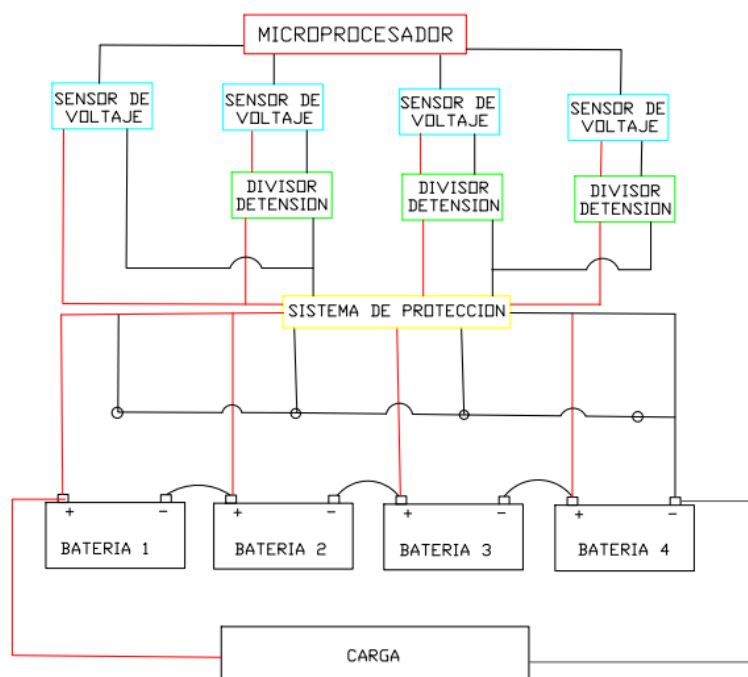


Figura 2.9: Sistema Completo Implementado en Laboratorio de Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana

Los datos recolectados del banco de baterías se detallan en la tabla 2.2, donde se presentan los valores de voltaje medidos en cada una de las baterías del sistema.

Tabla 2.2: Datos de Voltaje Medidos en el Banco de Baterías del Laboratorio

1 Batería	2 Baterías	3 Baterías	4 Baterías
12.8 V	25.60 V	38.40 V	51.20 V

Basándose en los datos recolectados del voltaje de las baterías, se determinó que el voltaje máximo del sistema es de 51.20 V. Adicionalmente, la Tabla 2.3 presenta el análisis de carga realizado en el laboratorio, donde se empleó un tablero de simulación de un automóvil, incluyendo elementos como las luces del vehículo. Esto se debe a que las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de automotriz, permitiendo evaluar el desempeño del sistema bajo estas condiciones.

Tabla 2.3: Análisis de Carga Laboratorio

Ítem	Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
1	Luces delanteras	2	55	110
2	Luces direccionales	4	21	84
3	Luces de freno	2	21	42
5	Tacómetro	1	10	10
6	Velocímetro	1	10	10
<b>Total</b>				<b>256</b>

En la figura 2.10 se observa el sistema implementado en el laboratorio de automotriz para llevar a cabo las pruebas necesarias.



Figura 2.10: Sistema Real Implementado en Laboratorio

### 2.4.2. Divisores de Voltaje

Para realizar el monitoreo de las cuatro baterías, se implementaron divisores de voltaje para las baterías 2, 3 y 4, ya que el módulo FZ0430 solo tiene la capacidad de manejar voltajes menores a 25 V. En el caso de la batería 1, no fue necesario, ya que su voltaje se encuentra dentro del rango máximo de medición del sensor.

La ecuación del divisor de voltaje es:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Despejamos  $R_1$ :

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right)$$

Sustituyendo los valores dados para el primer divisor tenemos como  $V_{in}=26V$ ,  
 $R_2 = 10K\Omega$ :

$$R_1 = 10K\Omega \times \left( \frac{26V}{12V} - 1 \right)$$

$$R_1 = 12K\Omega$$

Para el segundo divisor tenemos como  $V_{in}=39 V$ ,  $R_2 = 10K\Omega$ :

$$R_1 = 10K\Omega \times \left( \frac{39V}{12V} - 1 \right)$$

$$R_1 = 22K\Omega$$

Y para el ultimo divisor tenemos como  $V_{in}=52V$ ,  $R_2 = 10K\Omega$ :

$$R_1 = 10K\Omega \times \left( \frac{52V}{12V} - 1 \right)$$

$$R_1 = 33K\Omega$$

### 2.4.3. Cálculo de potencia

Para el cálculo de las potencias de las resistencias, tomamos el valor del último divisor de voltaje, ya que en este se trabajan con los datos de todo el banco de baterías.

- $V_{in} = 52V$
- $V_{out} = 12V$
- $R_1 = 33k\Omega$
- $R_2 = 10k\Omega$

La corriente total que circula por el divisor se calcula con la Ley de Ohm:

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} = \frac{52V}{33k\Omega + 10k\Omega} = \frac{52V}{43k\Omega} \quad (2.1)$$

$$I = 1,209 \text{ mA} \quad (2.2)$$

La potencia disipada en cada resistencia se obtiene con la ecuación:

$$P = I^2 R \quad (2.3)$$

Para  $R_1$ :

$$P_1 = (1,209 \times 10^{-3})^2 \times 33k\Omega \quad (2.4)$$

$$P_1 \approx 48,4 \text{ mW} \quad (2.5)$$

Para  $R_2$ :

$$P_2 = (1,209 \times 10^{-3})^2 \times 10k\Omega \quad (2.6)$$

$$P_2 \approx 14,7 \text{ mW} \quad (2.7)$$

Por lo tanto, la potencia disipada en cada resistencia es:

- $P_1 \approx 48,4 \text{ mW}$
- $P_2 \approx 14,7 \text{ mW}$

Lo que nos indica que una resistencia de 1/4 W debería ser suficiente para disipar la potencia sin riesgo de sobrecalentamiento. Sin embargo, es recomendable considerar un margen de seguridad para prevenir posibles fallos.

### 2.4.4. Sistema Implementado en Wasakentsa

En la figura 2.11 se presenta un esquema representativo de la conexión en Wasakentsa, donde un banco de 4 baterías conectadas en serie es alimentado por un sistema fotovoltaico

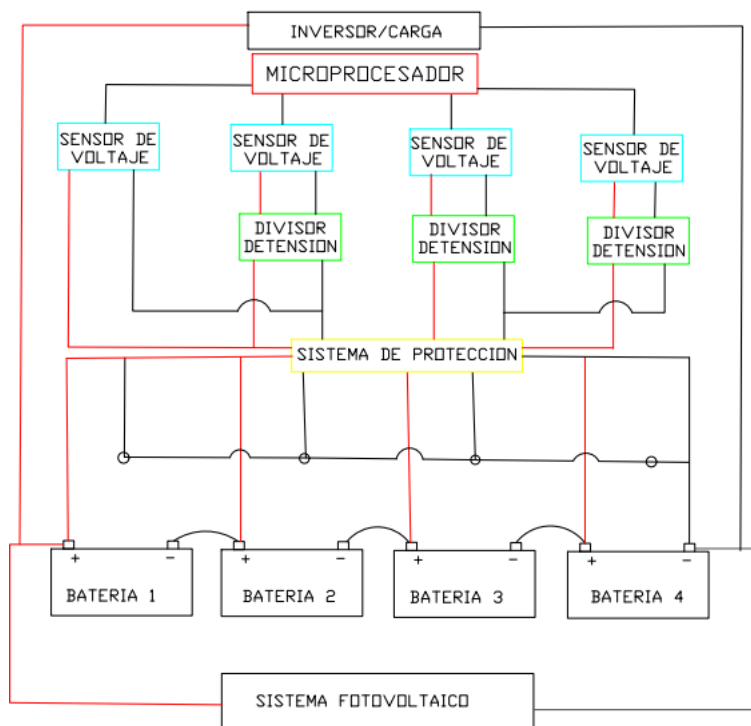


Figura 2.11: Sistema Completo Implementado en Wasakentsa

La información recopilada de las baterías se detalla en la tabla 2.4:

Tabla 2.4: Datos de Voltaje en Carga y Descarga

Hora	1 Batería	2 Baterías	3 Baterías	4 Baterías
06:00	12.51 V	25.12 V	37.59 V	50.11 V
11:00	12.97 V	25.98 V	39.18 V	52.15 V
15:00	13.01 V	26.08 V	39.17 V	52.27 V
22:00	12.48 V	25.01 V	37.57 V	50.04 V

Basándose en los datos recolectados del voltaje de las baterías durante los ciclos de carga y descarga, se determinó que el sistema alcanza un voltaje máximo de 52.27V entre las 11:00 y 15:00 horas. Este comportamiento se debe a la mayor disponibilidad de radiación solar en ese intervalo, lo que optimiza la carga del banco de baterías a través del sistema fotovoltaico.

Teniendo en cuenta la carga del sistema que se plasma en la tabla 2.5, se puede analizar la información detallada sobre la potencia instalada del sistema, lo que permite evaluar su capacidad de generación y suministro de energía en Wasakentsa.

Tabla 2.5: Análisis de Carga para el Centro de Salud

Ítem	Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
1	Laptops	7	45	315
2	Focos	20	10	200
3	Antenas Starlink	1	75	75
4	Celulares	7	50	350
5	Cargador de batería	1	12	12
6	Ventilador	4	57.2	228.8
7	Ultrasonido	1	150	150
8	Intantómetro	1	3	3
9	Tellímetro	1	3	3
10	Esterilizador	2	500	1000
11	Microscopio #1	1	102	102
12	Microscopio #2	5	50.4	252
13	Microscopio #3	1	20	20
14	Tensiómetro digital	1	6	6
<b>Total</b>				<b>2716.8</b>

Por otro lado, los datos de corriente recolectados, presentados en la tabla 2.6, muestran que durante las horas laborables se pueden alcanzar picos de consumo de 3.10A. Este aumento se debe a la presencia de mayor personal de salud, técnicos y una mayor afluencia de pacientes, lo que incrementa el consumo energético. En contraste, durante las horas no laborables, como en la noche o la madrugada, la demanda disminuye significativamente, reduciendo la corriente hasta 1A.

Tabla 2.6: Datos de Corriente a Diferentes Horas

Hora	Banco de Baterías
06:00	1.13 A
11:00	3.08 A
15:00	3.10 A
22:00	1.09 A

Finalmente, en la figura 2.12 se presenta el sistema real implementado en el centro de salud de Wasakentsa.



Figura 2.12: Sistema Real Implementado en el Centro de Salud de Wasakentsa

## 2.5. Procesamiento y Evaluación de Datos

Para procesar los datos obtenidos del banco de baterías, cada batería debe pasar primero por su respectivo divisor de voltaje, lo que permite reducir el voltaje y la corriente a niveles adecuados para ser manejados por los sensores y el microcontrolador. Una vez que el microcontrolador ha recopilado los datos de voltaje de cada batería, estos se procesan y preparan para su transmisión. La comunicación con el servidor ThingsBoard se establece mediante MQTT, un protocolo optimizado para IoT que permite el envío de datos de manera eficiente y en tiempo real. A través de una conexión WiFi, el microcontrolador publica los datos en el servidor utilizando las credenciales de autenticación y el formato JSON adecuado. Esto garantiza que la información sobre el estado de las baterías se actualice constantemente en la plataforma, permitiendo su monitoreo remoto y la generación de alertas ante valores anormales. Además, MQTT facilita la escalabilidad del sistema, permitiendo agregar más sensores o dispositivos sin afectar el rendimiento de la comunicación.

## 2.6. Validación

### 2.6.1. Diagnóstico y Corrección de Fallas en el Prototipo

#### Daño en el Sensor de Voltaje

Durante la implementación del proyecto, surgieron varios inconvenientes. Al conectar y poner en marcha el circuito completo, se produjo un cortocircuito debido a un sensor de voltaje defectuoso. Esto provocó fugas de corriente en el divisor de voltaje, superando la capacidad de disipación de las resistencias y causando su falla. Como consecuencia, la corriente y el voltaje excedieron los límites tolerables, lo que generó daños irreversibles en el microcontrolador y lo dejó in operativo.

Para evitar este problema en el futuro, se aumentó la potencia nominal de las resistencias del divisor de voltaje. De este modo, si se presenta una fuga de corriente, las resistencias podrán disiparla sin sufrir daños, protegiendo así al microcontrolador de una sobrecarga. Además se incorporó un fusible en la placa del divisor de voltaje para un funcionamiento óptimo.

#### Cambio del Regulador LM7805 por un Convertidor Buck

Al iniciar con el desarrollo del sistema, se utilizó un regulador lineal LM7805 para reducir el voltaje de alimentación de 12V a 5V. Sin embargo, este componente presentó fallas constantes debido a sobrecalentamiento, lo que afectaba la estabilidad del circuito y comprometía el funcionamiento del sistema.

El principal problema del LM7805 radica en su principio de operación como regulador lineal, donde la diferencia entre el voltaje de entrada y el de salida se disipa en forma de calor. En este caso, al recibir 12V y entregar 5V, la energía disipada era significativa, generando un exceso de temperatura que llevaba al fallo del componente [27].

Para solucionar este problema, se sustituyó el LM7805 por un convertidor buck, un tipo de fuente de alimentación conmutada que permite reducir el voltaje de entrada a 5V de manera más eficiente, este convertidor buck funcionan mediante conmutación rápida y almacenamiento de energía en inductores y capacitores, lo que minimiza las

pérdidas de energía en forma de calor y mejora significativamente la eficiencia [27].

### **Limitaciones del Diseño de Protección**

En el diseño de protección del circuito, se implementó un fusible de 3A con el objetivo de limitar la corriente en caso de sobrecarga o cortocircuito. Sin embargo, esta estrategia presentó una limitación importante, ya que solo protegía contra excesos de corriente, pero no contra variaciones de voltaje que pudieran dañar los componentes sensibles del sistema.

# Capítulo 3

## Resultados

### 3.1. Datos Recolectados por el Sistema.

#### 3.1.1. Pruebas de Laboratorio

En esta sección se presentan datos obtenidos a través del sistema de monitoreo desarrollado para evaluar el comportamiento de las cuatro baterías en condiciones controladas de laboratorio. Los registros incluyen medidas de voltaje entre los días 28 y 29 de enero, permitiendo analizar su variación en relación a los valores nominales esperados.

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 muestran los datos recolectados en el laboratorio de Automotriz de la Universidad Politecnica Salesiana, de cada batería, detallando la fecha, la hora, el voltaje sensado, voltaje real, rango esperado y su desviación respecto al valor nominal. Esta información es esencial para evaluar el desempeño del sistema de adquisición de datos y validar su precisión en la medición de los parámetros eléctricos de las baterías.

Tabla 3.1: Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 1

SENSADO BATERÍA 1				
Fecha	Hora	Voltaje sensado(V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
28/1/2025	18:00	12.62	12.80	0.18
28/1/2025	19:00	12.59	12.80	0.21
28/1/2025	20:00	12.58	12.80	0.22
28/1/2025	21:00	12.56	12.80	0.24
28/1/2025	22:00	12.51	12.80	0.38
28/1/2025	23:00	12.48	12.80	0.42
29/1/2025	0:00	12.42	12.80	0.48
29/1/2025	1:00	12.38	12.80	0.50
29/1/2025	2:00	12.35	12.80	0.51
29/1/2025	3:00	12.33	12.80	0.54
29/1/2025	4:00	12.32	12.80	0.55
29/1/2025	5:00	12.30	12.80	0.61
29/1/2025	6:00	12.29	12.80	0.63
29/1/2025	7:00	12.26	12.80	0.69
29/1/2025	8:00	12.25	12.80	0.72
29/1/2025	9:00	12.19	12.80	0.76
29/1/2025	10:00	12.17	12.80	0.82
29/1/2025	11:00	12.11	12.80	0.84
29/1/2025	12:00	12.08	12.80	0.86
29/1/2025	13:00	12.04	12.80	0.87
29/1/2025	14:00	11.98	12.80	1.00
29/1/2025	15:00	11.96	12.80	0.84
29/1/2025	16:00	11.94	12.80	0.86
29/1/2025	17:00	11.93	12.80	0.87
29/1/2025	18:00	11.80	12.80	1.00

Tabla 3.2: Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 2

SENSADO BATERÍA 2						
Fecha	Hora	Voltaje sentido(V)	Divisor tensión	Voltaje real (V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
28/1/2025	18:00	11.58	2.2	25.48	25.60	0.12
28/1/2025	19:00	11.54	2.2	25.39	25.60	0.21
28/1/2025	20:00	11.510	2.2	25.32	25.60	0.28
28/1/2025	21:00	11.480	2.2	25.26	25.60	0.34
28/1/2025	22:00	11.460	2.2	25.21	25.60	0.39
28/1/2025	23:00	11.430	2.2	25.15	25.60	0.45
29/1/2025	0:00	11.410	2.2	25.10	25.60	0.50
29/1/2025	1:00	11.410	2.2	25.10	25.60	0.50
29/1/2025	2:00	11.390	2.2	25.06	25.60	0.54
29/1/2025	3:00	11.370	2.2	25.01	25.60	0.59
29/1/2025	4:00	11.340	2.2	24.95	25.60	0.65
29/1/2025	5:00	11.310	2.2	24.88	25.60	0.72
29/1/2025	6:00	11.310	2.2	24.88	25.60	0.72
29/1/2025	7:00	11.290	2.2	24.84	25.60	0.76
29/1/2025	8:00	11.260	2.2	24.77	25.60	0.83
29/1/2025	9:00	11.220	2.2	24.68	25.60	0.92
29/1/2025	10:00	11.210	2.2	24.66	25.60	0.94
29/1/2025	11:00	11.190	2.2	24.62	25.60	0.98
29/1/2025	12:00	11.170	2.2	24.57	25.60	1.03
29/1/2025	13:00	11.140	2.2	24.51	25.60	1.09
29/1/2025	14:00	11.110	2.2	24.44	25.60	1.16
29/1/2025	15:00	11.080	2.2	24.38	25.60	1.22
29/1/2025	16:00	11.070	2.2	24.35	25.60	1.25
29/1/2025	17:00	11.050	2.2	24.31	25.60	1.29
29/1/2025	18:00	11.030	2.2	24.27	25.60	1.33

Tabla 3.3: Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 3

SENSADO BATERÍA 3						
Fecha	Hora	Voltaje sentido(V)	Divisor tensión	Voltaje real (V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
28/1/2025	18:00	11.98	3.2	38.336	38.40	0.06
28/1/2025	19:00	11.98	3.2	38.336	38.40	0.06
28/1/2025	20:00	11.95	3.2	38.24	38.40	0.16
28/1/2025	21:00	11.94	3.2	38.208	38.40	0.19
28/1/2025	22:00	11.91	3.2	38.112	38.40	0.29
28/1/2025	23:00	11.88	3.2	38.016	38.40	0.38
29/1/2025	0:00	11.88	3.2	38.016	38.40	0.38
29/1/2025	1:00	11.85	3.2	37.92	38.40	0.48
29/1/2025	2:00	11.86	3.2	37.952	38.40	0.45
29/1/2025	3:00	11.83	3.2	37.856	38.40	0.54
29/1/2025	4:00	11.81	3.2	37.792	38.40	0.61
29/1/2025	5:00	11.79	3.2	37.728	38.40	0.67
29/1/2025	6:00	11.79	3.2	37.728	38.40	0.67
29/1/2025	7:00	11.77	3.2	37.664	38.40	0.74
29/1/2025	8:00	11.76	3.2	37.632	38.40	0.77
29/1/2025	9:00	11.75	3.2	37.6	38.40	0.80
29/1/2025	10:00	11.72	3.2	37.504	38.40	0.90
29/1/2025	11:00	11.710	3.2	37.472	38.40	0.93
29/1/2025	12:00	11.680	3.2	37.376	38.40	1.02
29/1/2025	13:00	11.670	3.2	37.344	38.40	1.06
29/1/2025	14:00	11.65	3.2	37.28	38.40	1.12
29/1/2025	15:00	11.63	3.2	37.216	38.40	1.18
29/1/2025	16:00	11.59	3.2	37.088	38.40	1.31
29/1/2025	17:00	11.56	3.2	36.992	38.40	1.41
29/1/2025	18:00	11.53	3.2	36.896	38.40	1.50

Tabla 3.4: Pruebas de Laboratorio - Datos Recolectados por el Sistema de la Batería 4

SENSADO BATERÍA 4						
Fecha	Hora	Voltaje sensado(V)	Divisor tensión	Voltaje real (V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
28/1/2025	18:00	11.9	4.3	51.17	51.20	0.03
28/1/2025	19:00	11.89	4.3	51.13	51.20	0.07
28/1/2025	20:00	11.87	4.3	51.04	51.20	0.16
28/1/2025	21:00	11.85	4.3	50.87	51.20	0.33
28/1/2025	22:00	11.83	4.3	50.78	51.20	0.42
28/1/2025	23:00	11.81	4.3	50.74	51.20	0.46
29/1/2025	0:00	11.80	4.3	50.74	51.20	0.46
29/1/2025	1:00	11.79	4.3	50.70	51.20	0.50
29/1/2025	2:00	11.79	4.3	50.70	51.20	0.50
29/1/2025	3:00	11.77	4.3	50.61	51.20	0.59
29/1/2025	4:00	11.76	4.3	50.57	51.20	0.63
29/1/2025	5:00	11.76	4.3	50.57	51.20	0.63
29/1/2025	6:00	11.75	4.3	50.53	51.20	0.68
29/1/2025	7:00	11.74	4.3	50.48	51.20	0.72
29/1/2025	8:00	11.73	4.3	50.44	51.20	0.76
29/1/2025	9:00	11.71	4.3	50.35	51.20	0.85
29/1/2025	10:00	11.70	4.3	50.31	51.20	0.89
29/1/2025	11:00	11.69	4.3	50.27	51.20	0.93
29/1/2025	12:00	11.68	4.3	50.22	51.20	0.98
29/1/2025	13:00	11.66	4.3	50.14	51.20	1.06
29/1/2025	14:00	11.64	4.3	50.05	51.20	1.15
29/1/2025	15:00	11.63	4.3	50.01	51.20	1.19
29/1/2025	16:00	11.61	4.3	49.92	51.20	1.28
29/1/2025	17:00	11.60	4.3	49.88	51.20	1.32
29/1/2025	18:00	11.59	4.3	49.84	51.20	1.36

Los datos obtenidos muestran un comportamiento estable en el voltaje de las baterías monitorizadas. Durante el periodo de prueba, se registraron voltajes que oscilan entre 49V y 51V, con una desviación de hasta 1.36V respecto al valor nominal.

Al iniciar el monitoreo, las baterías muestran voltaje dentro de un rango aceptable, con pequeños valores de desviación (0.03V). Esto nos permite concluir que las baterías están en buen estado y dentro de los parámetros adecuados para su funcionamiento.

En el transcurso del día, como se puede observar en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, los rangos de desviación aumentan debido a que las baterías se mantienen en

funcionamiento, pero sin ser recargadas durante este periodo de tiempo. Cuando el voltaje de alguna de las baterías cae por debajo del valor determinado como descarga, el sistema se encarga de enviar un correo de advertencia para que el usuario recargue la batería. Si el valor sigue cayendo, entonces el sistema enviará correos adicionales para que se realice una inspección de la batería, ya que esta podría estar dañada.

Este análisis permite validar que el sistema cumple con su propósito de supervisar el estado de las baterías, proporcionando datos en tiempo real sobre su desempeño y permitiendo la detección de posibles anomalías en futuras implementaciones.

### **3.1.2. Datos Recolectados en las Pruebas de Laboratorio**

Tras implementar el sistema en el laboratorio, se realizaron pruebas de conectividad y funcionamiento. A nivel de hardware, no se detectaron problemas visibles, y el software operó de manera óptima. Sin embargo, al analizar los datos recolectados, se observó una desviación significativa entre el voltaje medido y el valor real de las baterías. Esto se debía a que los sensores de voltaje presentaban diferencias en su sensibilidad, y además, las resistencias tenían variaciones entre su valor real y el valor comercial.

Para corregir este problema, se identificó los sensores con sensibilidad diferente y fueron reemplazados, al igual que aquellas resistencias cuya variación era significativa. Adicionalmente, en el software se realizó una calibración individual de los valores medidos por cada ADC del microcontrolador, compensando las pequeñas diferencias de sensibilidad entre los sensores para obtener mediciones más precisas.

Finalmente, la conectividad con el servidor en ThingsBoard se realizó de manera correcta. La figura 3.1 muestra una vista previa de los datos de los voltajes en la plataforma. La figura 3.2 muestra los datos obtenidos desde el sensor de temperatura, después de aplicar las correcciones necesarias.

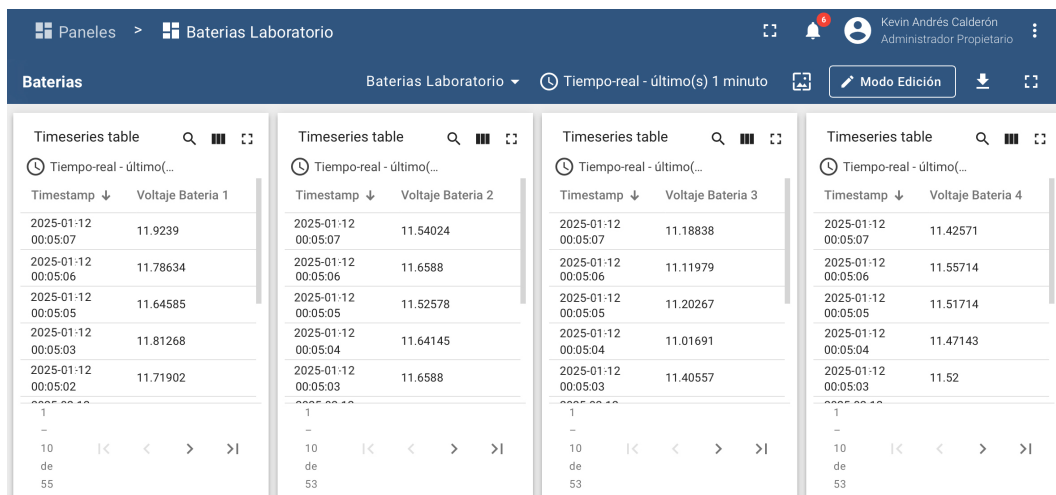


Figura 3.1: Datos de Voltajes Laboratorio Visualizados en el Servidor

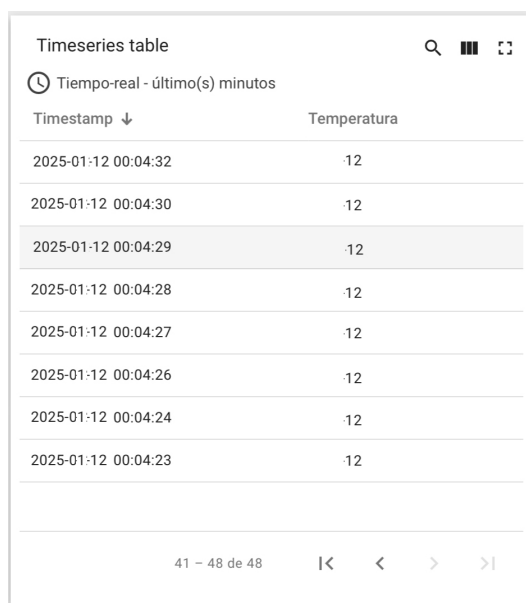


Figura 3.2: Datos de Temperatura Laboratorio Visualizados en el Servidor

### 3.1.3. Pruebas en Wasakentsa

En esta sección se presentan datos obtenidos a través del sistema de monitoreo desarrollado para evaluar el comportamiento de las cuatro baterías en condiciones reales, en la comunidad ubicada en Wasakentsa. Los registros incluyen medidas de voltaje entre los días 3 y 4 de febrero, permitiendo analizar su variación en relación a los valores nominales esperados.

Las tablas 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 muestran los datos realizadas en el campo en la

comunidad de Wasakentsa de cada batería, detallando la fecha, la hora, el voltaje sensado, voltaje real, rango esperado y su desviación respecto al valor nominal. Esta información es esencial para evaluar el desempeño del sistema de adquisición de datos y validar su precisión en la medición de los parámetros eléctricos de las baterías en un entorno real.

Tabla 3.5: Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Batería 1

SENSADO BATERÍA 1				
Fecha	Hora	Voltaje sensado(V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
3/2/2025	19:00	12.069	12.50	0.43
3/2/2025	20:00	12.067	12.50	0.43
3/2/2025	21:00	12.064	12.50	0.44
3/2/2025	22:00	12.061	12.50	0.44
3/2/2025	23:00	12.06	12.50	0.44
4/2/2025	0:00	12.058	12.50	0.44
4/2/2025	1:00	12.056	12.50	0.44
4/2/2025	2:00	12.053	12.50	0.45
4/2/2025	3:00	12.052	12.50	0.45
4/2/2025	4:00	12.049	12.50	0.45
4/2/2025	5:00	12.045	12.50	0.46
4/2/2025	6:00	12.041	12.50	0.46
4/2/2025	7:00	12.037	12.50	0.46
4/2/2025	8:00	12.046	12.50	0.45
4/2/2025	9:00	12.120	13.00	0.88
4/2/2025	10:00	12.162	13.00	0.84
4/2/2025	11:00	12.18	13.00	0.82
4/2/2025	12:00	12.24	13.00	0.76
4/2/2025	13:00	12.3	13.00	0.70
4/2/2025	14:00	12.33	13.00	0.67
4/2/2025	15:00	12.31	13.00	0.69
4/2/2025	16:00	12.36	13.00	0.64
4/2/2025	17:00	12.19	12.50	0.31
4/2/2025	18:00	12.13	12.50	0.37
4/2/2025	19:00	12.085	12.50	0.41

Tabla 3.6: Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 2

SENSADO BATERÍA 2						
Fecha	Hora	Voltaje sensado(V)	Divisor tensión	Voltaje real (V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
3/2/2025	19:00	11.41	2.2	25.04	25.12	0.08
3/2/2025	20:00	11.38	2.2	24.97	25.12	0.15
3/2/2025	21:00	11.35	2.2	24.90	25.12	0.22
3/2/2025	22:00	11.32	2.2	24.84	25.12	0.28
3/2/2025	23:00	11.29	2.2	24.84	25.12	0.28
4/2/2025	0:00	11.29	2.2	24.82	25.12	0.30
4/2/2025	1:00	11.28	2.2	24.77	25.12	0.35
4/2/2025	2:00	11.26	2.2	24.77	25.12	0.35
4/2/2025	3:00	11.26	2.2	24.77	25.12	0.35
4/2/2025	4:00	11.24	2.2	24.73	25.12	0.39
4/2/2025	5:00	11.230	2.2	24.71	25.12	0.41
4/2/2025	6:00	11.200	2.2	24.64	25.12	0.48
4/2/2025	7:00	11.170	2.2	24.57	25.12	0.55
4/2/2025	8:00	11.210	2.2	24.66	25.12	0.46
4/2/2025	9:00	11.600	2.2	25.52	26.08	0.56
4/2/2025	10:00	11.69	2.2	25.72	26.08	0.36
4/2/2025	11:00	11.78	2.2	25.92	26.08	0.16
4/2/2025	12:00	11.8	2.2	25.96	26.08	0.12
4/2/2025	13:00	11.79	2.2	25.94	26.08	0.14
4/2/2025	14:00	11.83	2.2	26.03	26.08	0.05
4/2/2025	15:00	11.82	2.2	26.00	26.08	0.08
4/2/2025	16:00	11.6	2.2	25.52	26.08	0.56
4/2/2025	17:00	11.41	2.2	25.10	25.12	0.02
4/2/2025	18:00	11.38	2.2	25.04	25.12	0.08
4/2/2025	19:00	11.39	2.2	25.06	25.12	0.06

Tabla 3.7: Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 3

SENSADO BATERÍA 3						
Fecha	Hora	Voltaje sensado(V)	Divisor tensión	Voltaje real (V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
3/2/2025	19:00	11.72	3.2	37.50	37.59	0.09
3/2/2025	20:00	11.69	3.2	37.41	37.59	0.18
3/2/2025	21:00	11.66	3.2	37.31	37.59	0.28
3/2/2025	22:00	11.65	3.2	37.28	37.59	0.31
3/2/2025	23:00	11.63	3.2	37.22	37.59	0.37
4/2/2025	0:00	11.61	3.2	37.15	37.59	0.44
4/2/2025	1:00	11.57	3.2	37.02	37.59	0.57
4/2/2025	2:00	11.56	3.2	36.99	37.59	0.60
4/2/2025	3:00	11.54	3.2	36.93	37.59	0.66
4/2/2025	4:00	11.51	3.2	36.83	37.59	0.76
4/2/2025	5:00	11.470	3.2	36.70	37.59	0.89
4/2/2025	6:00	11.460	3.2	36.67	37.59	0.92
4/2/2025	7:00	11.460	3.2	36.67	37.59	0.92
4/2/2025	8:00	11.540	3.2	36.93	37.59	0.66
4/2/2025	9:00	11.980	3.2	38.34	39.17	0.83
4/2/2025	10:00	12.08	3.2	38.66	39.17	0.51
4/2/2025	11:00	12.13	3.2	38.82	39.17	0.35
4/2/2025	12:00	12.18	3.2	38.98	39.17	0.19
4/2/2025	13:00	12.21	3.2	39.07	39.17	0.10
4/2/2025	14:00	12.19	3.2	39.01	39.17	0.16
4/2/2025	15:00	12.23	3.2	39.14	39.17	0.03
4/2/2025	16:00	12.01	3.2	38.43	39.17	0.74
4/2/2025	17:00	11.84	3.2	37.89	37.59	-0.30
4/2/2025	18:00	11.64	3.2	37.25	37.59	0.34
4/2/2025	19:00	11.6	3.2	37.12	37.59	0.47

Tabla 3.8: Pruebas de Campo en la Comunidad de Wasakentsa - Datos Recolectados en la Bateria 4

SENSADO BATERÍA 4						
Fecha	Hora	Voltaje sensado(V)	Divisor tensión	Voltaje real (V)	Rango esperado (V)	Desviación respecto al valor nominal(V)
3/2/2025	19:00	11.62	4.3	49.97	50.11	0.14
3/2/2025	20:00	11.59	4.3	49.84	50.11	0.27
3/2/2025	21:00	11.57	4.3	49.75	50.11	0.36
3/2/2025	22:00	11.61	4.3	49.92	50.11	0.19
3/2/2025	23:00	11.62	4.3	49.97	50.11	0.14
4/2/2025	0:00	11.59	4.3	49.84	50.11	0.27
4/2/2025	1:00	11.61	4.3	49.92	50.11	0.19
4/2/2025	2:00	11.58	4.3	49.79	50.11	0.32
4/2/2025	3:00	11.61	4.3	49.92	50.11	0.19
4/2/2025	4:00	11.6	4.3	49.88	50.11	0.23
4/2/2025	5:00	11.580	4.3	49.79	50.11	0.32
4/2/2025	6:00	11.590	4.3	49.84	50.11	0.27
4/2/2025	7:00	11.560	4.3	49.71	50.11	0.40
4/2/2025	8:00	11.600	4.3	49.88	50.11	0.23
4/2/2025	9:00	12.030	4.3	51.73	52.27	0.54
4/2/2025	10:00	11.99	4.3	51.56	52.27	0.71
4/2/2025	11:00	12	4.3	51.60	52.27	0.67
4/2/2025	12:00	12.01	4.3	51.64	52.27	0.63
4/2/2025	13:00	12.03	4.3	51.73	52.27	0.54
4/2/2025	14:00	12.06	4.3	51.86	52.27	0.41
4/2/2025	15:00	12.02	4.3	51.69	52.27	0.58
4/2/2025	16:00	12.01	4.3	51.64	52.27	0.63
4/2/2025	17:00	11.63	4.3	50.01	50.11	0.10
4/2/2025	18:00	11.59	4.3	49.84	50.11	0.27
4/2/2025	19:00	11.43	4.3	49.15	50.11	0.96

Los datos obtenidos reflejan el comportamiento del banco de baterías. Dado que las cuatro baterías están conectadas en serie, el voltaje esperado es de 52 V. A partir de la tabla 3.8, se observa que el banco de baterías funciona según lo esperado, ya que, durante las horas en las que la planta fotovoltaica opera a su máxima capacidad, las baterías se cargan hasta alcanzar el voltaje previsto. Sin embargo, este valor varía a lo largo del día, ya que, durante la noche, cuando el panel fotovoltaico no está operando, el voltaje disminuye. Este comportamiento se repite en las ot

Además, al analizar el voltaje sensado en la batería 4, se observa que oscila entre 49 V y 51 V, lo que indica que su estado es óptimo. Esto corrobora que la batería

se encuentra en condiciones adecuadas de operación, ya que los valores medidos se mantienen dentro de un rango aceptable en relación con su voltaje nominal.

### 3.1.4. Datos Recolectados en las Pruebas en Wasakentsa

El sistema implementado en campo presentó problemas más significativos que los detectados en el laboratorio. Uno de los sensores de voltaje estaba defectuoso, lo que provocó un daño considerable en el microcontrolador. Para solucionar este inconveniente, se verificó el correcto funcionamiento de todos los sensores de voltaje, se incrementó la potencia de las resistencias en el divisor de tensión y se añadió un fusible en la placa secundaria para proteger el circuito.

Adicionalmente, se calibró el software considerando la sensibilidad de cada sensor, permitiendo obtener mediciones más precisas y cercanas a los valores reales. Por otro lado, la conectividad con el servidor no presentó inconvenientes. La figura 3.3 muestra la visualización de los datos de voltaje en la plataforma, luego de aplicar las correcciones necesarias. La La figura 3.4 muestra la visualización de los datos de temperatura en la plataforma, luego de aplicar las correcciones necesarias.

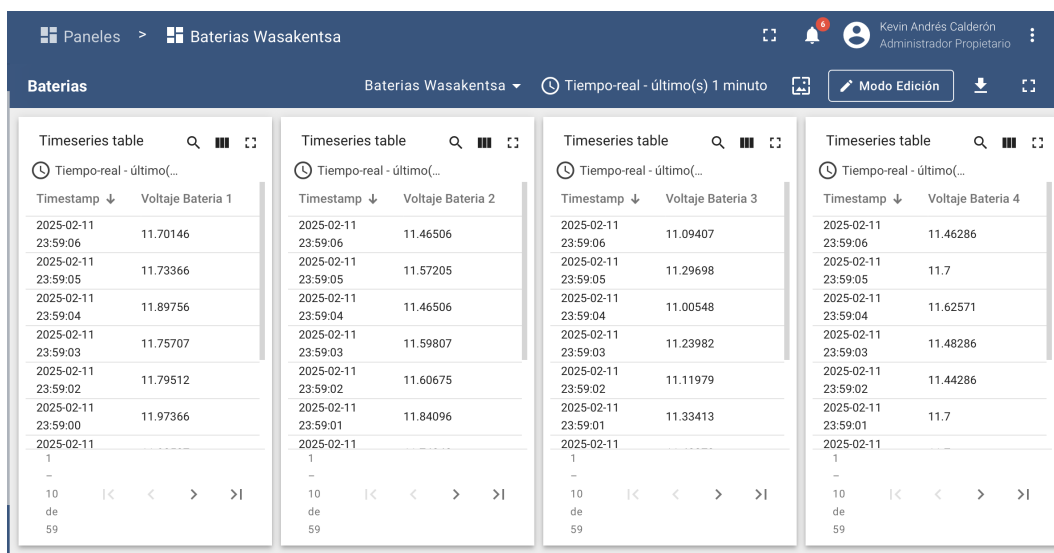
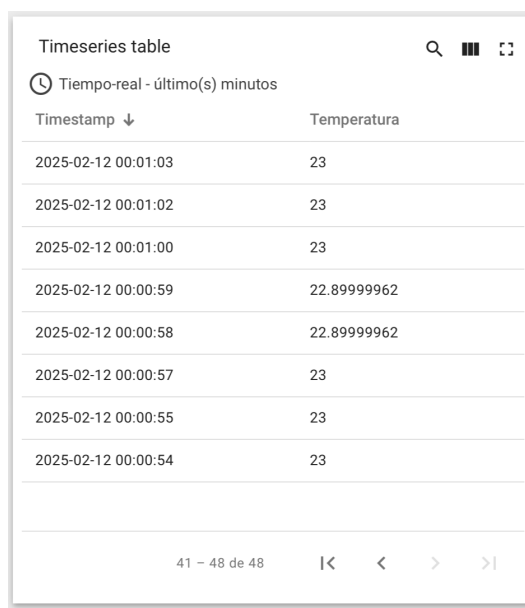


Figura 3.3: Datos Voltajes Campo Visualizados en el Servidor



Timestamp ↓	Temperatura
2025-02-12 00:01:03	23
2025-02-12 00:01:02	23
2025-02-12 00:01:00	23
2025-02-12 00:00:59	22.89999962
2025-02-12 00:00:58	22.89999962
2025-02-12 00:00:57	23
2025-02-12 00:00:55	23
2025-02-12 00:00:54	23

Figura 3.4: Datos Temperatura Campo Visualizados en el Servidor

## 3.2. Análisis del Rendimiento del Sistema.

En esta sección se evalúa el desempeño del sistema considerando su confiabilidad y la precisión de los sensores utilizados. Para lograrlo se analizan tres parámetros clave que determinan la estabilidad y continuidad de la operación, tanto en condiciones de laboratorio como de campo. Además, se examina la precisión de los sensores de voltaje, temperatura y humedad, con el objetivo de validar su eficacia en la adquisición de datos. Los resultados obtenidos permiten identificar posibles mejoras en la conectividad y la capacidad del sistema para mantener un monitoreo continuo y preciso.

### 3.2.1. Fiabilidad del Sistema

En las tablas 3.9 y 3.10 se detallan tres parámetros utilizados para evaluar la fiabilidad del sistema, tanto en laboratorio como en campo:

- Tasa de operación (%): Porcentaje del tiempo que el sistema estuvo activo.
- Interrupciones detectadas: Número de veces que el sistema dejó de operar correctamente.

- Tiempo promedio entre fallos: Duración promedio en horas entre interrupciones.

### Pruebas de Laboratorio

- En un día se registró un 100 % de operatividad, debido a que la autonomía del sistema embebido tiene una duración de hasta una semana.
- Durante las pruebas, se identificaron cuatro interrupciones, todas asociadas a desconexiones en la red WiFi. Estas interrupciones impactaron el monitoreo en tiempo real, aunque el sistema se restableció automáticamente tras la reconexión.
- Se observó un promedio de 3 horas entre fallos, indicando que las desconexiones fueron relativamente frecuentes. Este comportamiento sugiere la necesidad de optimizar la estabilidad de la conexión a la red o considerar un mecanismo de respaldo para minimizar la pérdida de datos durante los periodos de desconexión.

Tabla 3.9: Pruebas de Laboratorio Fiabilidad del Sistema

Parámetro	Fiabilidad del sistema Valor en laboratorio	Observaciones
Tasa de operación (%)	100 %	Autonomía del sistema puede durar hasta 1 semana
Interrupciones detectadas	4	Desconexión a la red wifi
Tiempo promedio entre fallos	6 horas	Frecuentes desconexiones

### Pruebas en Wasakentsa

- En un día se registró un 100 % de operatividad, debido a que la autonomía del sistema embebido tiene una duración de hasta una semana.
- A diferencia de las pruebas de laboratorio, en las pruebas de campo se logró minimizar las interrupciones por desconexión de la red, lo que permitió una mayor estabilidad en la transmisión de datos y un monitoreo más constante del sistema.
- Se observó un promedio de 18 horas entre interrupciones, lo que evidencia una mejora significativa en la continuidad del funcionamiento en comparación

con las pruebas de laboratorio. Esto sugiere que el sistema puede mantener un desempeño estable en condiciones reales.

Tabla 3.10: Implementación en Wasakentsa Fiabilidad del Sistema

Parámetro	Fiabilidad del sistema	
	Valor en campo	Observaciones
Tasa de operación (%)	100 %	Autonomía del sistema puede durar hasta 1 semana
Interrupciones detectadas	1	Desconexión a la red wifi
Tiempo promedio de fallos	18 horas	Frecuentes desconexiones

### 3.2.2. Precisión de los Sensores

Para evaluar la precisión de los sensores utilizados en el sistema, se compararon los valores medidos con los valores esperados, determinando la desviación en cada caso. Se realizaron pruebas en los sensores de voltaje, temperatura y humedad para analizar su comportamiento estos datos se observan en las tablas .

#### Precisión en Pruebas de Laboratorio

La tabla 3.11 presenta la comparación entre el promedio de los valores de voltaje esperados y los valores medidos por los sensores en cuatro baterías diferentes. Se evalúan dos métricas principales para determinar la precisión del sensor:

- Error Absoluto (V): Diferencia entre el voltaje esperado y el medido.
- Error Relativo (%): Indica la desviación en relación con el valor esperado, expresado en porcentaje.

Tabla 3.11: Comparación de la Precisión de los Sensores de Voltaje

Sensor	Precisión de los sensores de Voltaje			
	Valor medido (V)	Valor esperado (V)	Error absoluto(V)	Error relativo(%)
Voltaje Promedio Batería 1	12.51	12.80	0.29	2.37 %
Voltaje Promedio Batería 2	24.99	25.60	0.61	2.38 %
Voltaje Promedio Batería 3	37.42	38.40	0.98	2.45 %
Voltaje Promedio Batería 4	49.8	51.20	1.40	2.63 %

Los errores absolutos muestran valores que superan la precisión nominal de  $\pm 1\%$ , debido a que el valor medido es el promedio de todos los datos recolectados. Además, al no estar alimentadas, las baterías presentaron una notable descarga. Por ende, los valores promedio de las baterías tienen una diferencia mayor respecto a los valores esperados.

Para determinar la precisión del sensor de temperatura DHT22 en el laboratorio se comparó la temperatura registrada con nuestro sensor y la temperatura que nos proporcionaba Google en diferentes horas del día. La desviación registrada en cada caso se muestra en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Precisión del Sensor de Temperatura

<b>Precisión del sensor de Temperatura</b>			
<b>Hora</b>	<b>Valor Medido Sensor (°C)</b>	<b>Valor Medido Google (°C)</b>	<b>Desviación (°C)</b>
6:000	11.45	12	0.55
13:00	22.98	24	1.02
22:00	17.08	18	0.92

El sensor de temperatura mostró una desviación máxima de  $1.02^{\circ}\text{C}$  en todas las mediciones, lo que indica un valor muy cercano de la temperatura real.

Para evaluar la precisión del sensor de humedad, se comparó la humedad registrada con nuestro sensor y la humedad que nos proporcionaba Google en diferentes horas del día. La desviación registrada en cada caso se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13: Precisión del Sensor de Humedad

<b>Precisión del sensor de Humedad</b>			
<b>Hora</b>	<b>Valor Medido Sensor (°C)</b>	<b>Valor Medido Google (°C)</b>	<b>Desviación (°C)</b>
6:000	72 %	74 %	2 %
13:00	68 %	70 %	2 %
22:00	74 %	75 %	1 %

El sensor de humedad presentó una desviación máxima de  $2\%$ , lo que sugiere una buena precisión para las condiciones de operación del sistema.

### Precisión en Pruebas de Campo

Las tablas 3.14, 3.15 presentan la comparación entre el promedio de los valores de voltaje esperados y los valores medidos en carga máxima y descarga por los sensores en cuatro baterías diferentes. Se evalúan dos métricas principales para determinar la precisión del sensor:

- Error Absoluto (V): Diferencia entre el voltaje esperado y el medido.
- Error Relativo (%): Indica la desviación en relación con el valor esperado, expresado en porcentaje.

Tabla 3.14: Precisión de los Sensores de Voltaje en Carga

Precisión de los sensores de Voltaje en Carga				
Sensor	Valor medido (V)	Valor esperado (V)	Error absoluto(V)	Error relativo(%)
Voltaje Promedio Batería 1	12.89	13	0.11	0.85 %
Voltaje Promedio Batería 2	25.98	26.08	0.10	0.39 %
Voltaje Promedio Batería 3	38.87	39.17	0.30	0.77 %
Voltaje Promedio Batería 4	51.86	52.27	0.41	0.79 %

#### 1. Precisión de los Sensores

Los errores absolutos son relativamente bajos, con un máximo de 0.41V (Batería 4) y un mínimo de 0.10V (Batería 1). En términos porcentuales, los errores relativos están en el rango de 0.39 % a 0.79 %, lo cual es un resultado bastante preciso para la medición de voltaje.

#### 2. Cumplimiento con Expectativas

Si el sensor tiene una precisión nominal de  $\pm 1\%$ , todos los valores de error relativo se encuentran dentro del margen aceptable. Esto indica que los sensores están funcionando correctamente y que la desviación es mínima.

#### 3. Posibles Factores de Error

A pesar de la buena precisión, pequeñas variaciones pueden ser causadas por:

- Condiciones ambientales: Temperatura y humedad pueden influir en la estabilidad de los sensores.

- Ruido eléctrico: Interferencias en la red o fluctuaciones en la carga de las baterías pueden afectar las mediciones.
- Resolución del sensor: La capacidad del ADC del microcontrolador y la calidad del divisor de tensión pueden contribuir a pequeños errores.

Tabla 3.15: Precisión de los Sensores de Voltaje en Descarga

<b>Precisión de los sensores de Voltaje en Descarga</b>				
<b>Sensor</b>	<b>Valor medido (V)</b>	<b>Valor esperado (V)</b>	<b>Error absoluto(V)</b>	<b>Error relativo( %)</b>
Voltaje Promedio Batería 1	12.38	12.50	0.12	0.94 %
Voltaje Promedio Batería 2	24.97	25.12	0.15	0.59 %
Voltaje Promedio Batería 3	37.44	37.59	0.15	0.39 %
Voltaje Promedio Batería 4	49.86	50.11	0.25	0.50 %

### 1. Precisión de los Sensores

Los errores absolutos son relativamente bajos, con un máximo de 0.25V (Batería 4) y un mínimo de 0.12V (Batería 1). En términos porcentuales, los errores relativos están en el rango de 0.39 % a 0.94 %, lo cual es un resultado bastante preciso para la medición de voltaje.

### 2. Cumplimiento con Expectativas

Si el sensor tiene una precisión nominal de  $\pm 1\%$ , todos los valores de error relativo se encuentran dentro del margen aceptable. Esto indica que los sensores están funcionando correctamente y que la desviación es mínima.

### 3. Posibles Factores de Error

A pesar de la buena precisión, pequeñas variaciones pueden ser causadas por:

- Condiciones ambientales: Temperatura y humedad pueden influir en la estabilidad de los sensores.
- Ruido eléctrico: Interferencias en la red o fluctuaciones en la carga de las baterías pueden afectar las mediciones.
- Resolución del sensor: La capacidad del ADC del microcontrolador y la calidad del divisor de tensión pueden contribuir a pequeños errores.

### 3.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO Y EN LA IMPLEMENTACIÓN

Para determinar la precisión del sensor de temperatura DHT22 en campo se comparó la temperatura registrada con nuestro sensor y la temperatura que proporciona Google en diferentes horas del día. La desviación registrada en cada caso se muestra en la tabla 3.16.

Tabla 3.16: Precisión del Sensor de Temperatura

<b>Precisión del sensor de Temperatura</b>				
<b>Hora</b>	<b>Valor Medido Sensor (°C)</b>	<b>Valor Medido Google (°C)</b>	<b>Desviación (°C)</b>	
6:00	18.98	20	1.02	
13:00	31.75	33	1.25	
22:00	21.97	23	1.03	

El sensor de temperatura mostró una desviación máxima de 1.25°C en todas las mediciones, lo que indica un valor muy cercano de la temperatura real.

Para evaluar la precisión del sensor de humedad, se comparó la humedad registrada con nuestro sensor y la humedad proporcionada por Google en diferentes horas del día. La desviación registrada en cada caso se muestra en la tabla 3.17.

Tabla 3.17: Precisión del Sensor de Humedad

<b>Precisión del sensor de Humedad</b>				
<b>Hora</b>	<b>Valor Medido Sensor (%)</b>	<b>Valor Medido Google (%)</b>	<b>Desviación (%)</b>	
6:00	70 %	72 %	2 %	
13:00	84 %	86 %	2 %	
22:00	73 %	75 %	3 %	

El sensor de humedad presentó una desviación máxima de 3 %, lo que sugiere una buena precisión para las condiciones de operación del sistema.

### 3.3. Comparación entre los Resultados Obtenidos en el Laboratorio y en la Implementación en Wasakentsa

Para evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales, se compararon los datos obtenidos en pruebas de laboratorio con los registrados en campo durante

### 3.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO Y EN LA IMPLEMENTACIÓN

la implementación en Wasakentsa. La primera comparación realizada corresponde a la precisión de los sensores de voltaje, analizando la desviación de las mediciones en ambos entornos.

#### 3.3.1. Comparación de los Datos Monitorizados.

El análisis se basa en la gráfica presentada en la figura 3.5, donde se observan los valores de voltaje sensados en todo el banco de baterías, tanto en las pruebas realizadas en el laboratorio de automotriz como en el sistema implementado en Wasakentsa. En la gráfica, la línea naranja representa el comportamiento del banco de baterías en el laboratorio, donde el voltaje disminuye progresivamente debido a la conexión a carga y la ausencia de un sistema de recarga. En contraste, la línea azul muestra los valores sensados en Wasakentsa, donde los voltajes se mantienen o incluso aumentan, ya que este banco de baterías está alimentado por un sistema fotovoltaico.

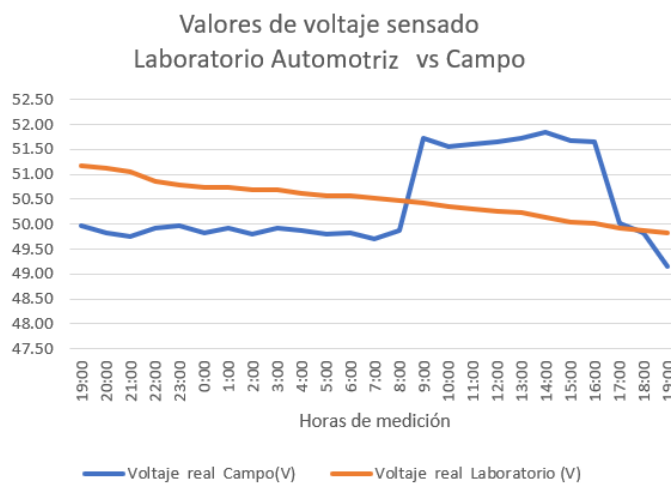


Figura 3.5: Gráfica de Valores Sensados en las Baterías Durante el Día en el Laboratorio de Automotriz vs los Datos Obtenidos en Wasakentsa

Al tener acceso a estos datos y poderlos analizar se obtiene como resultado que:

- El sistema IoT permite identificar en tiempo real la caída de voltaje en el laboratorio, evidenciando la falta de un sistema de recarga.
- En el sistema de Wasakentsa, el monitoreo IoT confirma que el banco de baterías se mantiene estable gracias a la alimentación fotovoltaica.

### 3.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO Y EN LA I

- Para el caso de laboratorio cuando el voltaje bajo de un umbral, el sistema IoT generó alertas automáticas mediante correo electrónico.

#### 3.3.2. Comparación de la Precisión de los Sensores de Voltaje

Para el análisis de la precisión de los sensores de voltaje es importante destacar que el banco de baterías de Wasakentsa está alimentado por un sistema fotovoltaico, lo que permite mantener los valores de voltaje dentro de rangos estables durante las mediciones, ya que el sistema solar provee una recarga constante. En contraste, el banco de baterías del laboratorio no dispone de un sistema de carga, lo que provoca que las baterías se descarguen progresivamente. Este comportamiento de descarga genera un aumento en las variaciones de los valores de voltaje, lo que se refleja en mayores rangos de error absoluto y relativo en comparación con las mediciones realizadas bajo condiciones de carga, estos valores se observan en la tabla 3.18 . Este análisis permitirá comprender mejor las condiciones bajo las cuales los sensores pueden mostrar una mayor o menor precisión, dependiendo de si las baterías están siendo alimentadas o están en proceso de descarga.

Tabla 3.18: Comparación de la Precisión de los Sensores de Voltaje

Condición	Rango de Error Absoluto (V)	Rango de Error Relativo (%)	Mayor Error Relativo (%)	Menor Error Relativo (%)
Laboratorio	0.29V - 1.40V	2.27 % - 2.73 %	2.73 % (Batería 4)	2.27 % (Batería 1)
Carga Wasakentsa	0.10V - 0.41V	0.39 % - 0.85 %	0.85 % (Batería 1)	0.39 % (Batería 2)
Descarga Wasakentsa	0.12V - 0.25V	0.39 % - 0.94 %	0.94 % (Batería 1)	0.39 % (Batería 3)

En carga, los valores de error absoluto y relativo son bajos. El error relativo varía entre 0.39 % y 0.85 %, lo que indica una alta precisión de los sensores cuando las baterías están siendo alimentadas por el sistema fotovoltaico. En descarga, los errores siguen siendo bajos, pero el error relativo aumenta ligeramente, variando entre 0.39 % y 0.94 %. Este aumento se debe a la descarga gradual de las baterías, lo que introduce

### 3.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO Y EN LA I

pequeñas variaciones en las mediciones. Al analizar las mediciones generales, es evidente un incremento en los errores. Los valores de error relativo alcanzan hasta 2.73 % en la Batería 4, lo que refleja un mayor rango de variabilidad debido a la falta de un sistema de carga y la descarga progresiva de las baterías.

#### 3.3.3. Comparación de la Precisión de los Sensores de Temperatura

En la siguiente tabla 3.19 se presentan las desviaciones registradas en las pruebas de laboratorio y en campo para el sensor de temperatura:

Tabla 3.19: Comparación de la Precisión de los Sensores de Temperatura

<b>Comparación de la Precisión de los sensores de Temperatura</b>			
<b>Hora</b>	Desviación pruebas de Laboratorio (°C)	Desviación pruebas de campo (°C)	Diferencia absoluta (°C)
6:000	0.55	1.02	0.47
13:00	1.02	1.25	0.23
22:00	0.92	1.03	0.11

La precisión del sensor de temperatura DHT22 se evalúa comparando la desviación estándar de sus mediciones en pruebas de laboratorio y en condiciones de campo. Según la Tabla 3.19, se observa que la desviación en el laboratorio varía entre 0.55°C y 1.02°C, mientras que en el campo fluctúa entre 1.02°C y 1.25°C. La diferencia absoluta entre ambas condiciones es mayor a primeras horas del día (0.47°C a las 6:00) y menor en la noche (0.11°C a las 22:00), lo que indica que la precisión del sensor puede verse afectada por factores ambientales externos como humedad, radiación solar y cambios bruscos de temperatura. Esto sugiere que el DHT22 presenta un mejor desempeño en entornos controlados y que su precisión disminuye en condiciones reales de campo, especialmente en horarios donde la variabilidad térmica es más pronunciada.

### 3.3.4. Comparación de la Precisión de los Sensores de Humedad

Tabla 3.20: Comparación de la Precisión de los Sensores de Humedad

<b>Comparación de la Precisión de los sensores de Humedad</b>			
<b>Hora</b>	<b>Desviación pruebas de laboratorio( %)</b>	<b>Desviación pruebas de campo( %)</b>	<b>Diferencia absoluta ( %)</b>
6:00	2 %	2 %	0 %
13:00	2 %	2 %	0 %
22:00	1 %	3 %	2 %

Las mediciones de la precisión del sensor de humedad, se muestran en la tabla 3.20. Estos resultados indican que para la mayoría de los casos, la desviación estándar en pruebas de laboratorio y en condiciones de campo es idéntica, con valores de 2 % tanto a las 6:00 como a las 13:00. Esto indica una estabilidad en la precisión del sensor en estos periodos. Sin embargo, a las 22:00 se observa una diferencia notable, donde la desviación en el laboratorio es de 1 %, mientras que en campo aumenta a 3 %, resultando en una diferencia absoluta de 2 %. Este incremento en la variabilidad sugiere que, bajo ciertas condiciones ambientales nocturnas, como cambios en temperatura y humedad relativa, la precisión del sensor puede verse afectada. A pesar de ello, en términos generales, el sensor muestra una consistencia aceptable en sus mediciones, manteniendo una precisión estable en la mayor parte del día.

# Capítulo 4

## Conclusiones y Trabajos Futuros

Se desarrolló un Sistema IoT para el monitoreo de baterías en un sistema de energía solar: caso de estudio en Wasakentsa, Amazonía Ecuatoriana. Dicho sistema ha demostrado ser funcional, ofreciendo una solución viable y efectiva para la detección de fallos en el banco de baterías.

Se diseñó e implementó un hardware basado en la placa de desarrollo IoT Heltec WiFi LoRa 32 V2, integrando sensores de voltaje, humedad y temperatura. La selección y configuración de estos componentes garantizó la obtención de datos precisos y en tiempo real para el monitoreo del sistema de energía solar.

Se desarrolló un software para la adquisición, procesamiento y visualización de datos utilizando la plataforma ThingsBoard. La interfaz gráfica resultante facilitó la supervisión remota del estado de las baterías, permitiendo un análisis detallado del desempeño energético y la identificación de posibles fallos.

Se evaluó el rendimiento del sistema embebido, verificando su fiabilidad en condiciones reales de operación. Los resultados muestran que el sistema de monitoreo es preciso y eficiente en la medición de voltajes, temperatura y humedad. Los sensores de voltaje registraron errores absolutos bajos, con un máximo de 0.25 V en descarga y un mínimo de 0.10 V en condiciones de carga, manteniéndose dentro del margen de precisión nominal del  $\pm 1\%$ . En términos de error relativo, los valores oscilaron entre

0.39 % y 0.94 % en Wasakentsa, mientras que en el laboratorio, debido a la descarga de las baterías, el error se incrementó hasta 2.73 %.

En cuanto a la temperatura, el sensor DHT22 presentó desviaciones entre 0.55 °C y 1.02 °C en laboratorio, y entre 1.02 °C y 1.25 °C en campo, reflejando un desempeño estable con una diferencia máxima de 0.47 °C en la mañana. Por otro lado, el sensor de humedad mostró una precisión constante con diferencias de 0 % a 2 %, destacando una mayor variabilidad en la noche. Además, el sistema IoT permitió detectar en tiempo real la caída de voltaje en el laboratorio y la estabilidad en Wasakentsa gracias al sistema fotovoltaico.

El proyecto destacó por su diseño flexible ya que permite la incorporación de sensores adicionales para monitorear parámetros complementarios, como la corriente generada por los paneles solares o la eficiencia del sistema en función de la demanda energética del centro de salud. Esto abre la posibilidad de expandir la funcionalidad del sistema a futuras mejoras que contribuyan a la sostenibilidad y optimización del uso de la energía solar.

Este estudio abre el camino para futuras investigaciones sobre el monitoreo de energía renovable, especialmente en zonas de difícil acceso. Como trabajo futuro, se plantea la integración de algoritmos de predicción de consumo y generación de energía mediante inteligencia artificial, lo que permitiría optimizar la gestión del almacenamiento en baterías. Además, se podría mejorar la precisión de los sensores con técnicas de calibración adaptativa y evaluar la implementación de redes de comunicación de bajo consumo, como LoRaWAN, para ampliar la cobertura del monitoreo en entornos aislados.

# Glosario

**CSP** Concentrated Solar Power.

**IOT** Internet de las cosas – Internet of Things.

**MQTT** Message Queuing Telemetry Transport.

**NAE** Organización indígena de los pueblos Achuar en Ecuador.

**OTP** One-Time Programmable.

**PV** Photovoltaic.

# Referencias

- [1] J. S. C. Pauta, «Diseño de una Red de Telecomunicaciones Inalámbricas en la Comunidad de Wasakentsa,» Undergraduate Thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2024.
- [2] O. Quinche-Bravo y E. Salinas-Guaman, «Diseño, implementación y desarrollo de un sistema fotovoltaico aislado y plan de mantenimiento sistemático para el centro de salud y sistema de telecomunicaciones para la comunidad amazónica Wasakentsa-Morona Santiago,» B.S. thesis, 2024.
- [3] S. Cordova, C. Guerrero, R. Clotet, D. Rivas-Lalaleo, R. Cabrera y M. Huerta, «Optimizing Wireless Connectivity for Sustainable Development: A Case Study in the Remote Amazon Community of Wasakentsa,» en *2024 IEEE Latin American Electron Devices Conference (LAEDC)*, IEEE, 2024, págs. 1-5.
- [4] M.Hayat, D.Ali, K.Monyake, L.Alagha y N.Ahmed, «Solar energy—A look into power generation, challenges, and a solar-powered future,» *International Journal of Energy Research*, vol. 43, págs. 1049-1067, 2018, ISSN: 0363-907X. DOI: <https://doi.org/10.1002/er.4252>.
- [5] S. M. Patil, M. Vijayalashmi y R. Tapaskar, «IoT based solar energy monitoring system,» págs. 1574-1579, 2017. DOI: [10.1109/ICEEDS.2017.8389711](https://doi.org/10.1109/ICEEDS.2017.8389711).
- [6] M. W. D. Saravia, R. Salvador, C. M. Palencia y A. E. P. Zepeda, «Monitoring system for solar thermal station with IoT and M2M,» en *2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)*, IEEE, 2017, págs. 1-6.
- [7] M. Gopal, T. C. Prakash, N. V. Ramakrishna y B. P. Yadav, «IoT based solar power monitoring system,» en *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, vol. 981, 2020, pág. 032037.

- [8] J. A. Baquerizo Cornejo y C. A. Rodríguez Lema, «Diseño e Implementación de un Sistema IoT para el Monitoreo de Huertas Solares,» *ESPOL. FIEC*, 2023.
- [9] D. P. Rani, D. Suresh, P. R. Kapula, C. M. Akram, N. Hemalatha y P. K. Soni, «IoT based smart solar energy monitoring systems,» English, 2021, ISSN: 22147853. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.07.293.
- [10] Agencia Internacional de Energía y Banco Mundial, «Acceso a la electricidad en el mundo: Informe 2015,» Agencia Internacional de Energía y Banco Mundial, 2015, Disponible bajo solicitud o a través de publicaciones oficiales de ambas organizaciones.
- [11] ARCONEL, *Cobertura Nacional 2014*, <https://www.arconel.gob.ec/documentos/cobertura-nacional-2014>, Autoridad de Regulación y Control de Electricidad. Ecuador., 2015.
- [12] O. Quinche, E. Salinas, F. Campoverde, F. García-Marquez y M. Huerta, «Development of Photovoltaic Systems for Indigenous Communities in Amazonia,» en *2024 IEEE Cuadragésima Segunda Convención IEEE de Centroamérica y Panamá (CONCAPAN)*, IEEE, 2024, págs. 1-5.
- [13] S. Salamanca-Ávila, «Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,» *Revista Científica*, vol. 30, págs. 79-89, 2017, ISSN: 0124-2253. DOI: 10.14483/23448350.12213. dirección: <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>.
- [14] J. M. Méndez Muñoz y R. Cuervo García, *Energía Solar Fotovoltaica. 2ª Edición*. ECA Instituto de Tecnología y Formación, 2018.
- [15] L. Hengyang Ritar Power Co., «AGM Battery Maintenance Free - DC (Deep Cycle) Series,» 2024, Datasheet. dirección: <https://www.ritarpower.com>.
- [16] A. J. González Angel, «Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para un banco de baterías,» 2015.
- [17] J. E. Gómez, S. Castaño, T. Mercado, J. García y A. Fernández, «Sistema de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos,» *Ingeniería e Innovación*, vol. 5, n.º 1, págs. 24-31, 2017, ISSN: 2346-3279. dirección: <https://doi.org/10.17163/ings.n30.2023.01>.

- [18] E. Escobar Gallardo y A. Villazón, «Sistema de monitoreo energético y control doméstico basado en tecnología Internet de las cosas,» *Investigación y Desarrollo*, vol. 18, n.º 1, págs. 103-116, 2018, ISSN: 2518-4431. DOI: 10.23881/idupbo.018.1-8i. dirección: <https://doi.org/10.23881/idupbo.018.1-8i>.
- [19] J. J. C. Maraza Vigabriel, «Prototipo de Medidor de Agua IoT para el Control y Monitoreo del Consumo de Agua Potable en Hogares de la Ciudad de La Paz,» Tesis para obtener el Título de Licenciatura en Informática, Mención Ingeniería de Sistemas Informáticos, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Informática, La Paz, Bolivia, 2021.
- [20] H. V. Suntasig Guilcaso, «Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo de Temperatura Ambiental y Humedad Relativa del Suelo, para el Mejoramiento de la Calidad de un Invernadero Ubicado en la Ciudad de Pujilí, Periodo 2017,» Tutor: Ing. Edwin Homero Moreano Martínez, Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería Electromecánica, Latacunga, Ecuador, 2018.
- [21] J. Wang, S. Y y Zhan, «Diseño e Implementación de un pequeño sistema de red inalámbrica de monitoreo basado en LoRa,» vol. 1, págs. 296-299, 2019. DOI: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997877.
- [22] Nettigo, *Heltec WiFi LoRa 32 V2 (ESP32 + LoRa + OLED 0.96")*, Disponible en: <https://nettigo.eu/products/heltec-wifi-lora-32-v2-esp32-lora-oled-0-96> [Accedido: 5-ene-2025], 2025.
- [23] M. Henschke, X. Wei y X. Zhang, «Data Visualization for Wireless Sensor Networks Using ThingsBoard,» *IEEE Xplore*, 2024. DOI: 10.1109/Dataset12345. dirección: <https://doi.org/10.17163/ings.n30.2023.01>.
- [24] L. O. Aghenta y M. T. Iqbal, «Design and Implementation of a Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Using ESP32 with OLED, ThingsBoard, and MQTT Protocol,» *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, vol. 4, n.º 1, págs. 57-86, 2020. DOI: 10.3934/ElectrEng.2020.1.57.
- [25] L. T. De Paolis, V. De Luca y R. Paiano, «Sensor Data Collection and Analytics with ThingsBoard and Spark Streaming,» *IEEE Xplore*, págs. 1-15, 2018, Authorized licensed use limited to: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA. Downloaded on December 29,2024 at 22:56:08 UTC. DOI: 10.1109/Dataset45678.

- [26] E. Systems. «Espressif Systems - Official Website.» Accedido el 11 de febrero de 2025. (2025), dirección: <https://www.espressif.com.cn/>.
- [27] A. R. Molina, «Diseño, fabricación y validación de fuentes de alimentación,» *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Madrid, España, 2018.*