



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS  
DE ENERGY HARVESTING**

---

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la  
obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones

**ÁREA:** Física y Electrónica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas electrónicos

**AUTOR:** Cristina Guadalupe Gallardo Cherez

**TUTOR:** Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar, PhD

**Ambato - Ecuador**

**agosto – 2023**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por la señorita Cristina Guadalupe Gallardo Cherez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que la estudiante ha sido tutorada durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2023.

-----  
Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar, PhD

TUTOR

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2023.



-----  
Cristina Guadalupe Gallardo Cherrez

C.C. 0503622599

AUTOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto 2023.



-----  
Cristina Guadalupe Gallardo Cherez

C.C. 0503622599

AUTOR

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita Cristina Guadalupe Gallardo Cherez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2023.

-----  
Ing. Pilar Urrutia, Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

-----  
Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez, Mg  
PROFESOR CALIFICADOR

-----  
Ing. Carlos Diego Gordon Gallegos, PhD  
PROFESOR CALIFICADOR

## **DEDICATORIA:**

*A mis padres Luis y Elizabeth que han sido un apoyo incondicional, me han impulsado a seguir adelante, a esforzarme y no rendirme ante cualquier dificultad.*

*A mis hermanos Luis, Dayana e Iker, a mis abuelitas que gracias al apoyo mutuo y amor que me han sabido entregar fueron una parte fundamental en cada paso que he dado y cada uno de mis familiares que han sabido mostrarme motivación.*

*A mis amigos que a pesar de la distancia han sabido estar en cada uno de mis triunfos y derrotas apoyándome y motivándome para seguir.*

*A mis maestros que han sido mi guía durante toda mi formación académica impartiendo sus conocimientos y preparándome para la vida profesional.*

*Cristina Guadalupe Gallardo Cherrez*

## **AGRADECIMIENTOS:**

*Agradezco a Dios por darme fortaleza y ser un guiarme en toda mi formación académica , y conocer a amigos compañeros y ser una motivación para alcázar mis meta.*

*A mi familia, que han sido la motivación de seguir y por ser el ejemplo de perseverancia y superación*

*A mi tutor Ing. Fabian Salazar, por orientarme con sus conocimientos durante todo el proceso del proyecto.*

*A mis amigos, compañeros y maestros que formaron parte de mi proceso de formación durante estos años han sido parte fundamental como un apoyo en mi vida académica.*

*Cristina Guadalupe Gallardo Cherrez*

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
Agradecimientos: .....	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
Indice de tablas.....	x
Indice de figuras.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1 .....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tema de investigación.....	1
1.2. Antecedentes investigativos .....	1
1.2.1. Contextualización del problema.....	3
1.2.2. Fundamentación teórica .....	4
1.3. Objetivos .....	21
1.3.1. Objetivo General.....	21
1.3.2. Objetivos Específicos .....	21
CAPÍTULO 2 .....	22
METODOLOGÍA .....	22
2.1. Materiales.....	22
2.2. Método.....	22
2.2.1. Modalidad de Investigación.....	22
2.2.2. Recolección de Información .....	22
2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos .....	23
2.2.4. Desarrollo del Proyecto .....	23
Capítulo 3.....	25
Resultados y Discusiones.....	25
3.1. análisis y discusiones de resultados.....	25



3.1.1. Desarrollo de propuesta de la solución.....	25
Almacenamiento de energía.....	25
Sensor de corriente y voltaje.....	31
Capítulo 4.....	58
Conclusiones y Recomendaciones .....	58
4.1. Conclusiones .....	58
4.2. Recomendaciones .....	59
Bibliografía .....	60
anexo .....	63

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PARÁMETROS ÓPTIMOS .....	8
TABLA 2. TIPOS DE BATERÍAS .....	25
TABLA 3. TABLA COMPARATIVA DE LAS BATERÍAS .....	30
TABLA 4. TIPO DE SENSORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE .....	32
TABLA 5. CUADRO COMPARATIVO ENTRE SIMULADORES .....	33
TABLA 6. CARGA Y DESCARGA DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO PILLAJO .....	52
TABLA 7. CARGA Y DESCARGA DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO VALLE .....	54
TABLA 8. CARGA Y DESCARGA DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO MERINO .....	56

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. JERARQUÍA DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ENERGY HARVESTING [13] .....	5
FIGURA 2. ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS ENERGY HARVESTING [15].....	6
FIGURA 3. TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO [23].....	9
FIGURA 4. CONEXIÓN EN PARALELO [31] .....	12
FIGURA 5. CONEXIÓN EN SERIE [31] .....	13
FIGURA 6. CONEXIÓN SERIE-PARALELO [31].....	13
FIGURA 7. ESQUEMA INTERNO DE UNA BATERÍA DE PLOMO ACIDO [32] .....	16
FIGURA 8. PARTES DE BATERÍAS DE NÍQUEL CADMIO [33].....	17
FIGURA 9. PILA DE NIQUEL CADMIO [33].....	18
FIGURA 10. MODELADO EN WOLFRAM SYSTEM MODELER [36] .....	19
FIGURA 11. BATERÍA DE PLOMO-ACIDO .....	26
FIGURA 12. BATERÍA DE NÍQUEL-CADMIO.....	27
FIGURA 13. BATERÍA IONES DE LITIO .....	28
FIGURA 14. BATERÍA DE POLÍMERO DE LITIO .....	28
FIGURA 15. SUPERCONDENSADORES.....	29
FIGURA 16. VOLTAJE RECOLECTADO POR DIFERENTES SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING EN DÍA SOLEADO.....	34
FIGURA 17. VOLTAJE RECOLECTADO POR DIFERENTES SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING EN DIA NUBLADO.....	35
FIGURA 18. VOLTAJE RECOLECTADO POR DIFERENTES SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING EN NOCHE.....	35
FIGURA 19. CIRCUITO DE MODELO DE UNA CELDA DE BATERÍA .....	36
FIGURA 20. SIMULACIÓN IMPLEMENTADA EN SIMULINK.....	39
FIGURA 21. PANEL DE PARÁMETROS DE LAS BATERÍAS .....	40
FIGURA 22. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE LITIO POLIMÉRICO EN CARGA.....	40
FIGURA 23. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE LITIO POLIMÉRICO EN DESCARGA .....	41
FIGURA 24. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE LITIO-ION EN CARGA .....	41
FIGURA 25. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE LITIO-ION EN DESCARGA.....	42
FIGURA 26. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE PLOMO EN CARGA .....	42
FIGURA 27. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE PLOMO EN DESCARGA .....	43
FIGURA 28. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE NIQUEL CADMIO EN CARGA .....	43
FIGURA 29. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE NIQUEL CADMIO EN DESCARGA.....	44

FIGURA 30. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE NIQUEL METAL HIDRURO EN CARGA FUENTE: ELABORADO POR EL INVESTIGADOR .....	44
FIGURA 31. COMPORTAMIENTO DE UNA BATERÍA DE NIQUEL METAL HIDRURO EN DESCARGA .....	45
FIGURA 32. CIRCUITO DE CARGA DE BATERÍA .....	45
FIGURA 33. CIRCUITO DE DESCARGA DE BATERÍA .....	46
FIGURA 34. CIRCUITO DE MEDICIÓN DE CARGA Y DESCARGA DE BATERÍAS .....	47
FIGURA 35. RECOLECTOR DE DATOS DE CARGA Y DESCARGA DE BATERÍAS .....	48
FIGURA 36. CARGA DE BATERIA NIMH .....	49
FIGURA 37. DESCARGA DE LA BATERIA NIMH.....	49
FIGURA 38. DESCARGA DE LA BATERIA NICD .....	50
FIGURA 39. CARGA DE LA BATERÍA NICD .....	50
FIGURA 40. REGISTRO DE DATOS.....	51
FIGURA 41. COMPARATIVA EN DIFERENTES TIEMPOS DE RECOLECCIÓN .....	53
FIGURA 42. REGISTRO DE DATOS.....	53
FIGURA 43 COMPARATIVA EN DIFERENTES TIEMPOS DE RECOLECCIÓN .....	55
FIGURA 44. REGISTRO DE DATOS.....	55
FIGURA 45. TABLA COMPARATIVA EN DIFERENTES TIEMPOS DE RECOLECCIÓN .....	57

## RESUMEN EJECUTIVO

El impacto del mercado de IoT (Internet de las cosas) ha ido en aumento y su principal objetivo es la automatización y eficiencia. Sin embargo, para el uso de los sensores y dispositivos periféricos deben funcionar con baterías o cableados hacia una fuente de energía o instalación eléctrica; gracias al Energy Harvesting se puede aprovechar la energía del medio ambiente para alimentar dichos dispositivos de bajo consumo. Energy Harvesting es considerada una de las revoluciones de la energía sustentable ya que su proceso de capturar energía es a través del entorno o ambiente cercano y convertirlo en energía eléctrica. [1].

El proyecto se realizó a partir de los resultados obtenidos en sistemas de captación de energía anteriormente elaborados por estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato donde se pretende obtener parámetros como: voltaje, tiempo de carga-descarga y la corriente que intervienen en los sistemas de almacenamiento más óptimos para los sistemas de Energy Harvesting, el objetivo es realizar pruebas en el sistema de Energy Harvesting con diferentes sistemas de almacenamiento para mejorar la recolección y almacenamiento de energía

Para el proyecto se ha tomado datos mediante la monitorización de las baterías conjuntamente con el módulo INA219 el cual permite reportar voltaje y corriente adquiriendo en tiempo real dando como resultado la carga y descarga de cada sistema de almacenamiento que fueron tomados en un periodo de tiempo entre 90min a 4 horas dando como resultado que los supercondensadores, baterías de litio ion y litio polímero pueden recolectar en 90min 0.3[mV], 0.2[mV] y 0.23[mV] respectivamente.

Luego de analizar los resultados se concluye que los supercondensadores son los óptimos para la implementación en los sistemas Energy Harvesting porque la energía esta almacena como campo eléctrico a diferencia de las baterías que lo almacenan como potencial químico, lo cual provoca una reacción química que reduce la vida útil de las baterías; el presente proyecto forma parte de la investigación: "Captación de Energía Limpia de Baja Potencia para Alimentación de Dispositivos de Quinta Generación (5G)", aprobado mediante Resolución Nro. UTA-CONIN-2022-0015-R de fecha 02 de febrero de 2022.

**Palabras clave:** Almacenamiento de energía, Carga y Descarga, Energy Harvesting

## ABSTRACT

The impact of the IoT (Internet of Things) market has been increasing and its main objective is automation and efficiency. However, for the use of the sensors and peripheral devices they must work with batteries or wired to a power source or electrical installation; Thanks to Energy Harvesting, energy from the environment can be used to power these low-consumption devices. Energy Harvesting is considered one of the revolutions of sustainable energy since its process of capturing energy is through the environment or nearby environment and converting it into electrical energy. [1].

The project will be carried out from the results obtained in energy capture systems previously developed by students of the Technical University of Ambato where it is intended to obtain parameters such as: voltage, charge-discharge time and the current that intervene in the storage systems. optimal for Energy Harvesting systems, the objective is to carry out tests on the Energy Harvesting system with different storage systems to improve the collection and storage of energy.

For the project, data has been taken by monitoring the batteries together with the INA219 module, which allows reporting voltage and current, acquiring in real time, resulting in the charging and discharging of each storage system that were taken in a period of time between 90min to 4 hours resulting in supercapacitors, lithium ion and lithium polymer batteries can collect 0.3[mV], 0.2[mV] and 0.23[mV] in 90min respectively.

After analyzing the results, it is concluded that supercapacitors are optimal for implementation in Energy Harvesting systems because energy is stored as an electric field, unlike batteries that store it as chemical potential, which causes a chemical reaction that reduces the battery life; This project is part of the research: "Capture of Clean Low Power Energy for Powering Fifth Generation Devices (5G)", approved by Resolution No. UTA-CONIN-2022-0015-R dated February 2, 2022 .

Keywords: Energy storage, Charge and Discharge, Energy Harvesting

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Tema de investigación

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGY HARVESTING

### 1.2. Antecedentes investigativos

Los antecedentes de la investigación presentada en esta sección permiten, crear una recopilación bibliográfica de trabajos previos donde el enfoque es la optimización del almacenamiento para los sistemas de captura de energía electromagnética “Energy Harvesting”

En el caso del artículo presentado en el 2010 por Romero, Hernando; Ambriz, Juan; Espinosa, Gilberto y Fernández Arturo con el tema “almacenamiento de energía”. Donde la investigación cualitativa de los sistemas de almacenamiento que intervienen los ciclos térmicos y realiza una comparativa de la densidad de almacenamiento de energía de los diversos sistemas, donde establece que el almacenamiento de energía en la economía basada en el petróleo está implícito en el uso de este energético no renovable, ya que el uso de combustibles fósiles. Sin embargo, ante la inminente disminución de este tipo de combustibles, es necesario desarrollar fuentes de energía renovable, que se permite el desarrollo de procesos de almacenamiento de energía que tome en cuenta la característica del termoquímico, lo cual permitirá asegurar el almacenamiento de grandes cantidades de energía, por ejemplo, la radiación solar, logrando así concluir que el desarrollo de muchos de estos procesos enfrenta grandes retos desde el punto de vista tecnológico para su implementación a gran escala, se han superado parcialmente. [2]

Según Grande, Lorenzo; Teja, Vishnu; Wei, Di; Bower, Chris; Andrew, Piers y Ryhänen, Tapani en el 2012 en su trabajo “Batería térmica de sorción de densidad de energía ultraalta habilitada por absorbentes compuestos a base de aerogel de grafeno para la recolección de energía térmica del aire”, muestra que las aplicaciones de grafenos en supercondensadores ayudan en la mejora de la capacidad del condensador, aumentando el doble de capa convencional para un rendimiento de filtrado de línea en CA. En cambio, el grafeno en baterías, especialmente a base de litio, puede ayudar en el desarrollo de electrodos de alta capacidad, basados en materiales como: el silicio y el estaño. Además, el control de la distancia entre láminas de grafeno aumenta la propiedad de

almacenamiento, la reducción del tiempo de carga, lo que beneficia a los dispositivos móviles y al despliegue masivo de vehículos eléctricos en el mercado del automóvil. Dando, así como resultado que los materiales a base de grafeno son desde la perspectiva de la ciencia y la tecnología fundamentales porque no son tóxicos, son química y térmicamente tolerantes y mecánicamente robustos y tiene gran avance en aplicaciones en la recolección y el almacenamiento de energía [3]

Según Casanova (2012) “Sistema de cosecha de energía para sistemas electrónicos autónomos”, implementó un prototipo capaz de captar energía mediante un sistema electromagnético que aproveche el movimiento de las vibraciones donde el diseño es basado en la captura de energía mediante radiofrecuencia. Existen varias alternativas que se aplican en los sistemas de cosecha de energía, siendo los más empleados los supercondensadores y las micro baterías, al momento de seleccionar un tipo de batería para el diseño del sistema de cosecha de energía, se tiene que tener en cuenta la potencia y la energía específica, Para la toma de datos se procedió a tres maneras diferentes como son: En el vacío, con carga de 470 [ $\Omega$ ] y 1 [ $k\Omega$ ] y con sistema de acondicionamiento, en las cuales se ha aplicado los cinco ciclos de vibración PWM (Modulación por ancho de pulso) donde se ha logrado controlar un motor de corriente continua mediante la “modulación por ancho de pulso” y mientras más rápido es el ciclo de vibración, más energía se produce ya que el sistema de captura de energía es del tipo electromagnético y genera una mayor variación del flujo magnético en el tiempo. [4]

Según Cristóbal, Juan en el 2015 “Estudios de aplicación óptima de baterías de flujo en redes de distribución eléctrica” muestra las diferentes tecnologías de almacenamiento utilizadas en las redes eléctricas como: hidráulica de bombeo, aire comprimido, energía térmica, energía cinética en volantes de inercia, supercondensadores y baterías. De Todos los sistemas de almacenamiento los que ofrecen mayor capacidad y potencia y mayor tiempo de almacenamiento son las baterías de flujo que presentan alto rendimiento y un mantenimiento mínimo. Sin embargo, estas baterías de flujo están en desarrollo tanto técnico como comercial, las propiedades que puede ofrecer las baterías de flujo son la importancia en los sistemas de gestión de la energía. [5]

En 2021 Alarcón, Erick; Andrade, José; Solís, Josué y Vega Kirma en “Vibration Energy Harvester” evalúa y discute los mecanismos para obtener energía eléctrica a través de vibraciones, que ayuda a superar las desventajas de recarga de baterías convencionales. Se busca la forma de almacenaje que mejor se acople al dispositivo donde las opciones



son: baterías de plomo y ácido, baterías de litio, super capacitores y baterías de níquel-cadmio; como resultado se obtuvo que el prototipo tiene una potencia estimada de 1.2 [mW], lo cual no abastece de manera directa el GPS pero prolongará el tiempo de uso de la batería, por ende a futuro se trabajará en desarrollar un sistema que opere en tres dimensiones y no solo en dos, como es el caso de este estudio para que se aprovechen de mejor manera cualquier tipo de vibraciones producidas por el animal(se realizaron experimentos con animales vivos). La mejora de fuentes de almacenamiento de energía como super capacitores o baterías recargables de litio, consiste en utilizar inductores con impedancia menor a fin de aumentar la potencia y eficiencia del sistema. [6]

### **1.2.1. Contextualización del problema**

En los últimos años, las fuentes de energía alternativas se han vuelto esenciales a medida que aumenta su demanda, la energía obtenida de fuentes externas como son la térmica, solar, eólica y la de Radio Frecuencia (RF), se han utilizado para diversos fines para proporcionar energía ilimitada durante la vida útil de los dispositivos de baja potencia como es en el caso de las IoT, donde el principal objetivo es eliminar cables de alimentación así como reducir el uso de baterías y mantener la vida útil de los sistemas autónomos. [7] En los sistemas de Energy Harvesting se obtiene energía en cantidades bajas, al diseñar estos dispositivos es necesario entender qué tipo de fuentes de energía hay disponibles y cuáles de ellas pueden ofrecer suficiente energía como para asegurar un funcionamiento óptimo del dispositivo. [8]

El principal desafío relacionado con la energía se centra en su necesidad de ser utilizada en el momento exacto en que se produce. Esta situación presenta dificultades, ya que la demanda de electricidad varía a lo largo del día debido a factores estacionales, condiciones climáticas y otras influencias variables. Si se quiere satisfacer esta demanda en todo momento, se tendría que dimensionar excesivamente tanto las plantas de generación como las redes de transmisión y distribución eléctrica. Esto se debe a que los puntos de consumo final suelen estar distantes entre sí, lo que requeriría la incorporación de dispositivos de elevación de voltaje. Este enfoque aumentaría los costos y la ineficiencia del sistema eléctrico. Por lo tanto, surge la necesidad de implementar sistemas de almacenamiento de energía altamente eficientes. [5]

## **1.2.2. Fundamentación teórica**

### **Energy Harvesting**

“Energy Harvesting” hace referencia a la extracción de energía que se encuentra en el entorno, esta investigación se enfoca en las características eléctricas de los diferentes sistemas de captación, con este objetivo se analiza: frecuencia, potencia de almacenamiento y bandas de operación. [10]

Energy Harvesting es el proceso por el cual la energía residual que se encuentra presente en el ambiente se pueda aprovechar para producir energía eléctrica, que puede ser almacenada o utilizada para alimentar dispositivos electrónicos de bajo consumo, como los utilizados en ordenadores y en las WSN. Por tanto, se aprovechan los distintos tipos de energía presentes en el medio ambiente para alimentar sistemas que puedan ser autosuficientes e inalámbricos. [11]

Según Jiménez, Francisco; Frutos, José y Vázquez Manuel (2015), mencionan que Energy Harvesting es un proceso mediante el cual, la energía de fuentes externas como: lumínica, térmica o mecánica, se convierten en energía eléctrica; que se almacena como fuente de energía en los sistemas electrónicos de suministro de baja potencia. Un ejemplo de estos sistemas son las redes de sensores inalámbricos. [12]

Los sistemas de Energy Harvesting son trascendentes en entornos donde no existe red de suministro eléctrico, para minimizar la sustitución de baterías o no puedan instalarse éstas por motivos de seguridad. En algunos casos, un sistema de alimentación basado en Energy Harvesting es una alternativa de solución desde un punto de vista de la fiabilidad del sistema. [12]

Las principales tecnologías de recolección de energía se pueden clasificar según la jerarquía mostrada en la figura 1. Esta clasificación es parte del estudio de un sistema experimental para la recolección de energía a través del fenómeno piezoeléctrico. [13]

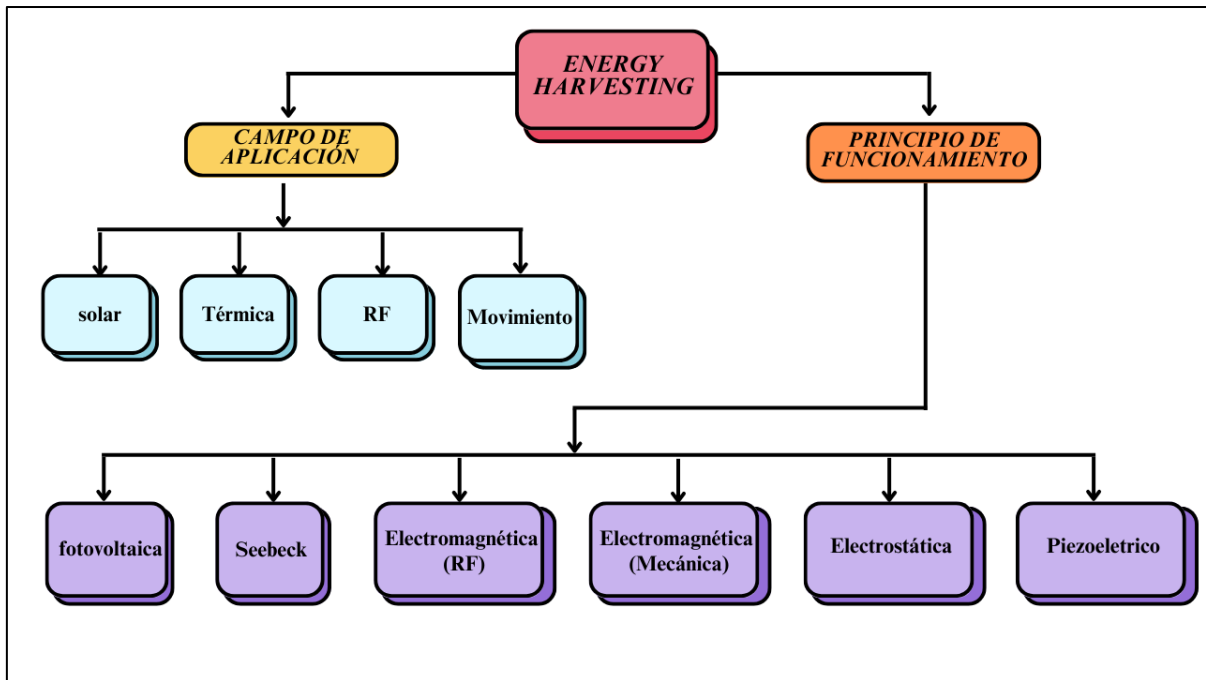


Figura 1. Jerarquía de las principales tecnologías de Energy Harvesting [13]

Fuente: Elaborado por el investigador

### Importancia

La tecnología de recolección de energía, también conocida como "Energy Harvesting", ha ganado relevancia debido al crecimiento constante en el número de transmisores de radio en los últimos años, las ondas de RF representan esencialmente "energía libre" que espera ser aprovechada para ello, se hace uso de un circuito generador de potencia en una antena receptora de radio, es posible aprovechar la energía presente en el ambiente en forma de ondas electromagnéticas para enviar nuevas señales, o bien para convertirla en un voltaje útil. [14]

### Arquitectura

En la recopilación de datos del artículo de la arquitectura de sistemas de captación de energía del 2021 por Salazar, Fabian; Núñez, Maritza; Cují Julio y Gordon Carlos resalta que la arquitectura más común y utilizada es la que consta de las etapas: antena, acoplamiento y rectificación; que tiene una gran ventaja en tamaño y costo; pero las arquitecturas que tienen un sistema de almacenamiento con batería de respaldo ayudan que la aplicación de Energy Harvesting tenga mayor duración. Los sistemas de "Energy Harvesting" contienen cuatro partes fundamentales para captar y almacenar energía. Se disponen en el siguiente orden: [15]

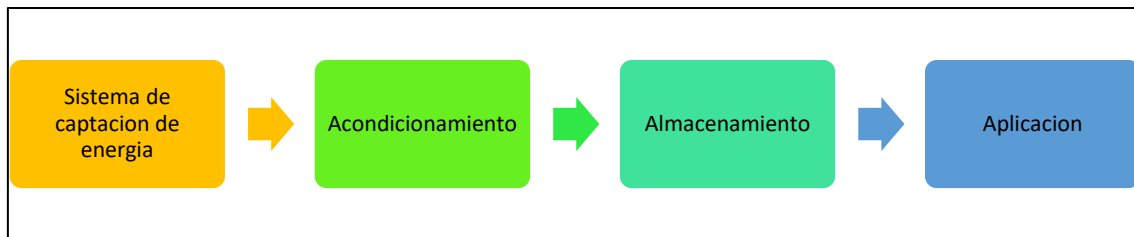


Figura 2. Arquitectura de los sistemas Energy Harvesting [15]

Fuente: Elaborado por el investigador

### **Sistema de captación**

Los sistemas de captación de energía más conocidos son: los paneles solares y aerogeneradores, que se han convertido en una fuente temporal de energía renovable; la recolección de energía debe captar milivoltios procedentes de: fuentes lumínicas, vibratorias, térmicas o biológicas, con el objetivo de reemplazar baterías en aplicaciones de tipo médicas e industrial. El diseño de las baterías es costoso y no renovable [7]

### **Acondicionamiento**

La energía que se genera mediante sistema de captación de energía tiene tres características iguales para todos los casos:

- La tensión de salida no está regulada y no puede emplearse directamente para alimentar circuitos eléctricos.
- No proporciona una potencia continua en periodos prolongados.
- Generan una potencia media muy baja.

En consecuencia, es necesario estabilizar la energía para su posterior almacenamiento en las baterías. La energía que llega de los sistemas de captación debe pasar por las siguientes etapas: rectificación, conversión y procesamiento, con el objetivo de que no exista problemas en los sistemas de almacenamiento. La corriente generada puede ser continua o alterna, por tanto, existe sistemas rectificadores de AC/DC y los convertidores DC/DC. [16]

### **Almacenamiento**

Estos son sistemas que convierten la electricidad de la red en otra forma de energía a través de un proceso de conversión para su almacenamiento y uso según sea necesario. El proceso puede almacenar electricidad que se produce ocasionalmente: cuando la

demanda es baja o de fuentes intermitentes, para usar cuando la demanda es alta, los costos de producción son altos o no se dispone de otra fuente de producción. Los muchos sistemas de almacenamiento de energía existentes proporcionan una amplia gama de soluciones para el sistema de energía. Las tecnologías de almacenamiento se basan en la acumulación de fuentes de energía primaria mecánica, magnética, química y térmica en diversas formas, que luego se convierten en la forma final de energía, energía eléctrica, en uno o más procesos. [17]

## **Parámetros**

### **Antena**

Las antenas son generalmente dispositivos conductores metálicos diseñados para transmitir y/o recibir ondas electromagnéticas en el espacio libre. La antena transmisora convierte la energía eléctrica en ondas electromagnéticas, mientras que la antena receptora realiza la función opuesta [18] El IEEE define una antena como "una parte de un sistema transmisor o receptor diseñado específicamente para emitir o recibir ondas electromagnéticas" [19]

### **Multiplicadores**

Los multiplicadores están formados por un grupo de diodos y capacitores, donde los capacitores van cargándose en cada semiciclo de entrada AC de manera alternativa, los multiplicadores son utilizados para tener altos voltajes en aplicaciones de baja corriente, la aplicación del multiplicador de tensión depende de algunos criterios como: el número de etapas, la frecuencia de alimentación y el valor del condensador. [20]

### **Rectena**

La rectena es un tipo de antena distintivo por su capacidad de convertir directamente señales de microondas en corriente continua. Se construye utilizando un componente denominado diodo Schottky, que se sitúa entre los dipolos de la antena. Las rectenas resultan especialmente adecuadas para transformar las señales de microondas en energía eléctrica utilizable. [21]

### **Baterías**

Acumulador o simplemente batería es el nombre de un dispositivo que consta de una o más celdas electroquímicas y puede convertir la energía química almacenada en

electricidad. A diferencia de las baterías, las reacciones químicas que posibilitan su funcionamiento son reversibles, por lo que las baterías pueden cargarse por medios eléctricos. Común en relación con la electricidad. [22]

Según Cují; Merino; Brito y Gordon en el 2023 con su trabajo “Etapas optimas de sistemas de captación y almacenamiento de energía de RF” muestra un análisis de diez artículos académicos donde destaca los parámetros óptimos de cada sistema analizado como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros óptimos

<b>Parámetro de Antena</b>			
Referencia	Tipo	Frecuencia	Ganancia
(Ramesh y Rajan, 2014)	Microstrip patch antena	2.4 GHz	7.69 dBi
<b>Parámetro de Multiplicador</b>			
	Numero de etapas	Tecnología	Frecuencia
(Chouhan et al., 2016)	2 etapas	CMOs	13.56MHz
<b>Parámetro de Rectena</b>			
	Frecuencia	Potencia	Eficiencia
(Chaoyun Song, 2015)	1.8GHz-2.5 GHz	-19.7-30 DBm	70%
<b>Parámetro de Almacenamiento</b>			
	Tipo		Eficiencia
(Pérez, 2016)	Supercondensadores		90%

Fuente: Elaborado por el investigador

## **Tecnología de almacenamiento**

### **Tipos**

Los numerosos sistemas de almacenamiento de energía existentes son: [23]

- Volantes de inercia larga duración
- Volantes de inercia de alta potencia
- Aire comprimido

- Bombeo hidráulico
- Supercondensadores
- Condensadores de alta potencia
- Superconductores magnéticos
- Baterías

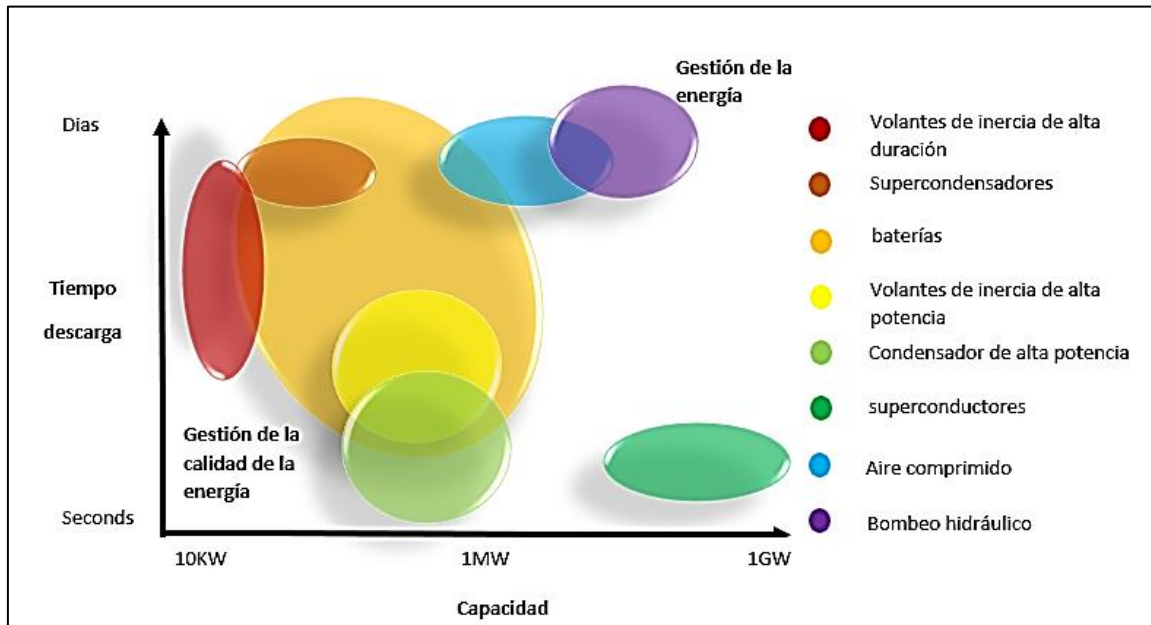


Figura 3. Tecnologías de almacenamiento [23]

Fuente: Elaborado por el investigador

Como se muestran en la Figura 3 las tecnologías de almacenamiento ofrecen un amplio conjunto de soluciones para los sistemas de energía. Estas tecnologías se fundamentan en la acumulación de diversas fuentes de energía primaria, como la mecánica, magnética, química y térmica, en variadas formas. Posteriormente, estas fuentes se transforman en la forma última de energía, es decir, energía eléctrica, a través de uno o más procesos. [17]

### Condensador de alta potencia

Los condensadores de potencia de alto voltaje KLV están especialmente diseñados para la compensación de potencia reactiva en redes eléctricas y plantas industriales. Cuando el voltaje requerido es mayor que el voltaje nominal de cada capacitor, las celdas se instalan en serie con la batería. La fusión se lleva a cabo de acuerdo con los requisitos eléctricos del país. Debido a la alta tensión inicial de descarga parcial, los condensadores KLV son adecuados para su instalación en redes con armónicos más elevados y tensiones

transitorias. La baja variación de potencia en función de la temperatura los hace adecuados para su instalación con circuitos de filtrado. [24]

### **Aire comprimido**

El aire comprimido es uno de los generadores de energía con ya varios años de funcionamiento. El mayor aprovechamiento llegó con revolución industrial que usan la energía neumática como alimentación en máquinas industriales. Hoy en día, la neumática se utiliza gracias al poder del aire a presión, y se utiliza en muchos campos de aplicación; entre todos, el almacenamiento de energía con aire comprimido se está probando con buenos resultados como método alternativo de energía renovable para la generación de energía; el uso de aire comprimido ya se utiliza desde hace varios años en el uso de almacenamiento de energía, aún existen dificultades en el desempeño ideal, la principal causa radica en su proceso termodinámico. [25]

Actualmente, las plantas CAES (Compressed Air Energy Storage) son altamente ineficientes en términos de rendimiento. Las pérdidas de energía que se producen durante la compresión y descompresión del aire son del 50-60%. Mientras que otros sistemas como las hidroeléctricas de bombeo tienen pérdidas del 15% al 30%, o las de baterías químicas del 10% al 30%. [26]

### **Bombeo hidráulico**

El almacenamiento hidráulico por bombeo (PHS) es la tecnología más desarrollada, el bombeo hidráulico se basa en la presión ejercida sobre la superficie de un fluido, se transmite con igual intensidad en todas las direcciones, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión a otra de mayor presión, con 158 GW representa el 94% de la potencia del almacenamiento de energía eléctrica a nivel mundial. [27]

### **Volante inercia**

Los sistemas de almacenamiento de energía con volantes de inercia son sistemas electromecánicos, que basan su actividad en almacenar la energía en forma de energía cinética. El conjunto se sumerge en una cámara de vacío para reducir la fricción con el aire. El volante de inercia en los trenes es una de las aplicaciones donde el gran peso de los trenes subterráneos hace que estos liberen mucha energía al frenar y también la absorban al acelerar. [28]



## **Superconductores magnéticos**

La superconductividad es un estado en el que ciertos materiales, bajo ciertas condiciones de temperatura, campo magnético e intensidad de corriente eléctrica, tienen resistencia eléctrica nula y excluyen completamente el campo magnético, es decir, son perfectamente diamagnéticos. Después de cargar la bobina superconductora, la corriente ya no disminuye y la energía magnética se puede almacenar indefinidamente, la energía almacenada se puede entregar a la red descargando el anillo, para extraer energía, la corriente que fluye a través de la bobina se interrumpe al abrir y repetir cierre de un interruptor de estado sólido del sistema electrónico de potencia [19].

Debido a su alta inductancia, la bobina se comporta como una fuente de corriente que puede usarse para cargar un capacitor que proporciona una entrada de voltaje de CC a un inversor que produce el voltaje de CA requerido. El sistema eléctrico es la fuente del 2% al 3% de las pérdidas de energía, sin embargo, los sistemas magnéticos superconductores son muy eficientes, ya que sus pérdidas son muy bajas en comparación con las de otros sistemas de almacenamiento de energía. [20]

## **Baterías**

Llamamos batería eléctrica, acumulador o simplemente batería al dispositivo que, formado por una o más celdas electroquímicas, puede convertir en electricidad la energía química que almacena. A diferencia de las baterías, la reacción química que les permite funcionar es reversible, permitiendo recargar la batería por medios eléctricos. Estos procesos son comunes en la relación entre los elementos químicos y la electricidad en el proceso denominado electrólisis. [29]

Las baterías logran el funcionamiento deseado conectando múltiples celdas en serie; cada celda suma su potencial de voltaje para alcanzar el voltaje terminal total. La conexión en paralelo permite obtener una mayor capacidad sumando los amperios-hora (Ah) totales. [30]

Algunos ensamblajes pueden consistir en una combinación de conexiones en serie y en paralelo. Las baterías de las computadoras portátiles suelen tener cuatro celdas de iones de litio de 3,6 V en serie para lograr el voltaje nominal de 14,4 V y dos en paralelo para aumentar la capacidad de 2400 mAh a 4800 mAh. Esta configuración se llama 4s2p, lo

que significa cuatro celdas en serie y dos en paralelo. Una lámina aislante entre las celdas evita que el revestimiento de metal conductor provoque un cortocircuito. [29]

La mayoría de las baterías químicas se prestan para conexiones en serie y en paralelo. Es importante utilizar el mismo tipo de batería con el mismo voltaje y capacidad (Ah) y nunca mezclar diferentes modelos y tamaños. Una celda más débil causaría un desequilibrio, la razón es que las celdas débiles no se descomponen inmediatamente, sino que se desgastan más rápido. Esto es especialmente crítico en la configuración en serie porque la batería es tan fuerte como la celda más débil de la cadena, una analogía es una cadena en la que los eslabones representan las celdas de una batería conectada en serie; [30] bajo carga, la celda baja se llena más rápido que las altas porque hay menos para llenar y permanece “sobrecargada” más tiempo que las demás. En la descarga, la celda débil se vacía primero y es superada por sus hermanas más fuertes, las celdas en paquetes múltiples deben coincidir, especialmente en condiciones de alto drenaje. [30]

## Tipos de conexión

### Paralelo

La conexión de batería en paralelo consiste en conectar dos o más baterías juntas para aumentar la capacidad de amperios por hora (Ah), pero el voltaje de la batería seguirá siendo el mismo. Cuando se conectan dos baterías en paralelo, el terminal negativo de una batería se conecta al terminal negativo de la otra batería, lo mismo ocurre con los terminales positivos. [31]

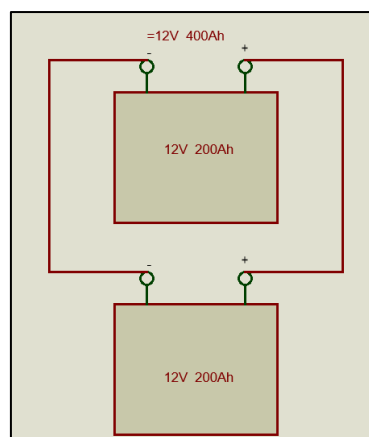


Figura 4. Conexión en paralelo [31]

Fuente: Elaborado por el investigador

La configuración de las baterías en paralelo, como se muestra en la figura 4, aumenta el tiempo que las baterías podrán soportar el equipo, pero debido a la mayor capacidad de amperios por hora resultante, el tiempo de carga también es más largo.

### Serie

La conexión en serie conecta dos o más baterías juntas para aumentar el voltaje general de las baterías de respaldo, la conexión en serie de las baterías no aumenta la capacidad del amplificador, solo el voltaje. [31]

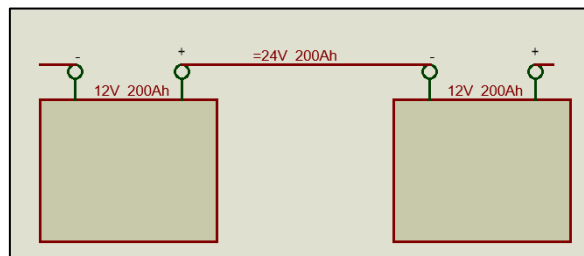


Figura 5. Conexión en serie [31]

Fuente: Elaborado por el investigador

Para conectar dos baterías en serie, como se muestra en la fig. 5 se conecta el terminal negativo de una batería al terminal positivo de otra, luego se conecta un cable al terminal negativo de la primera batería y otro cable al terminal positivo de la otra batería, para obtener la tensión resultante.

### Serie-paralelo

La combinación de la conexión en paralelo con la conexión en serie será una duplicación de la tensión nominal y de la capacidad. [31]

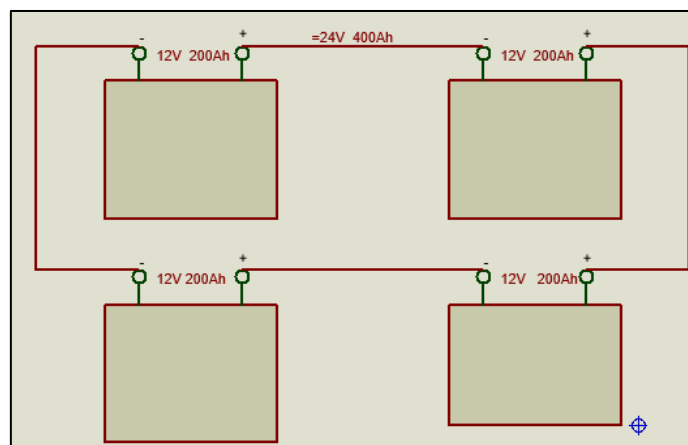


Figura 6. Conexión serie-paralelo [31]

Fuente: Elaborado por el investigador

## **Tipos de baterías**

Existen muchos tipos de baterías en el mercado, con diferentes elementos utilizados en su fabricación y características electroquímicas tales como: [29]

- Batería de plomo ácido (Pb).
- Batería níquel-hidruro metálico (Ni-MH).
- Baterías de níquel-cadmio (NiCd).
- Baterías de Li-ion
- Batería de LiPo

## **Funcionamiento**

- **Batería de plomo ácido (Pb).**

La batería de plomo tiene su funcionamiento a través de los fenómenos químicos de electrólisis donde las placas de una batería de plomo están formadas por rejillas metálicas en cuyos orificios se presiona el óxido de plomo. Si se aplica una corriente eléctrica a las placas con óxido de plomo sumergido en el electrolito, formado por ácido sulfúrico y agua destilada, debido a la ionización del electrolito, fluye una corriente de una placa a la otra. Al final del proceso, solo habrá plomo poroso sólido en una placa y dióxido de plomo en la otra. Dado que estos materiales tienen diferentes voltajes de disolución, existe una diferencia de potencial entre ellos, siendo la placa de dióxido de plomo la que tiene el mayor potencial eléctrico. Por lo tanto, después de fabricar una batería de plomo-ácido, debe cargarse eléctricamente para alcanzar la composición de trabajo original. [27]

- **Batería níquel-hidruro metálico (Ni-MH).**

Tienen una larga vida, es la batería más utilizada en los coches híbridos. Son similares a los de Níquel-Cadmio, pero ofrecen una capacidad de acumulación superior. Su densidad energética ronda los 100Wh/Kg. Es importante señalar que son nocivos para el medio ambiente por la composición química de los materiales que componen su interior (pero menos que los del níquel-cadmio). Requieren un mantenimiento constante y ofrecen menos rendimiento a bajas temperaturas. En funcionamiento, generan mucho calor y se

descargan muy rápidamente. No se utiliza en vehículos eléctricos por las razones explicadas y su bajo rendimiento, entre un 60 y un 70%. [32]

Las pilas de NiMH son pilas recargables que irán sustituyendo paulatinamente a las de NiCD por la ausencia de metales tóxicos y su potencia un 40% superior. Esta tecnología también tiene dos ventajas sobre las de iones de litio: precio y seguridad. NiMH es una buena alternativa a la tecnología alcalina en formatos AA y AAA porque tiene un menor impacto ambiental y se puede recargar. [32]

- **Baterías de níquel-cadmio (NiCd).**

Se trata de baterías de uso frecuente en la industria del automóvil y que ofrecen un buen rendimiento a bajas temperaturas. Su desventaja es el alto coste de adquisición de los materiales, por lo que no suele ser la solución elegida por los fabricantes. Tenga en cuenta que tienen un efecto memoria, esto significa que la capacidad de almacenamiento de energía se reduce con cada carga/descarga. [32]

Las baterías de níquel-cadmio a veces tienen una disminución de capacidad debido al uso normal, esto es irreversible pero no catastrófico como el crecimiento de sulfatación de la placa positiva en las baterías de plomo-ácido. [33]

## **Arquitectura y composición**

- **Batería de plomo ácido (Pb).**

Las baterías eléctricas de plomo-ácido se componen principalmente de los siguientes elementos: [32]

- Depósito: contenedor que contiene todos los elementos internos de la batería.
- Placas: el propósito de las placas es atrapar los innumerables agujeros en la placa de plomo del material activo liberado por la conversión de energía eléctrica en energía química. El número de agujeros de las placas es diferente en las positivas que, en las negativas, debido a la distinta naturaleza del material que se adhiere a cada una de ellas. Cuantas más placas tiene una batería, mayor es su capacidad.
- Separadores: elementos aislantes interpuestos entre dos placas para evitar que tengan el más mínimo contacto entre ellas, lo que provocaría un mal funcionamiento de la batería.
- Electrodo: extremo de un conductor en contacto con un medio, hacia el que conduce o del que recibe una corriente eléctrica. Los electrodos positivo y

negativo a menudo se denominan ánodo y cátodo, a menos que la batería sea recargable. En este caso, al cargar la celda, el ánodo se convierte en el electrodo positivo y el cátodo en el negativo; cuando la celda se descarga, el ánodo es negativo y el cátodo es positivo.

- Electrolito: material que se encuentra en los dos electrodos, y que permite la transferencia de electrones entre el ánodo y el cátodo.

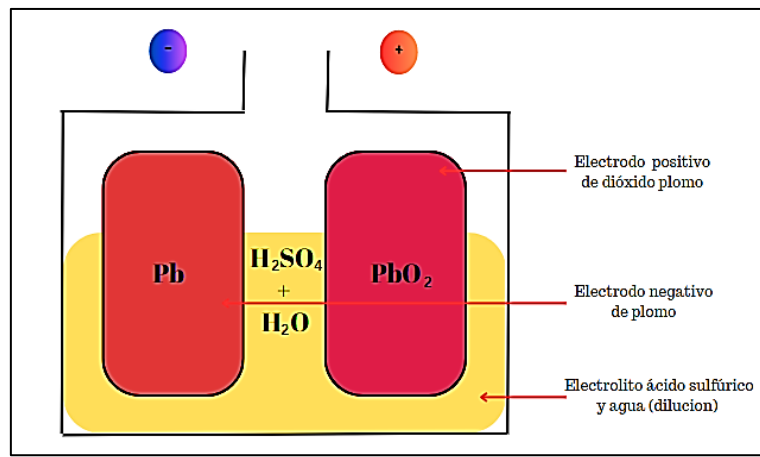


Figura 7. Esquema interno de una batería de plomo ácido [32]

Fuente: Elaborado por el investigador

- **Baterías de níquel-cadmio (NiCd).**

Placas: los componentes de las placas no se desgastan debido a los ciclos repetitivos de carga y descarga, lo que brinda a las baterías una vida útil más prolongada y eficiente. En comparación con las baterías con electrolito alcalino, los componentes de la batería no reaccionan con el acero, por lo que no es necesario cambiar la estructura de las placas a lo largo de su vida. [34]

Espaciadores: Los espaciadores son de material plástico, los cuales separan las placas y aíslan los cuadrados de las placas entre ellas. Esto le da al electrolito una mayor circulación dentro de las celdas y una mejor disipación de los gases. [34]

Electrolito: El electrolito utilizado en las baterías tipo Ni-Cd es una solución de potasa cáustica, que proporciona alto rendimiento y larga vida. La concentración de electrolito permite que la batería funcione en un rango de temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$ ~ $70^{\circ}\text{C}$  incluso con

eficiencia reducida, los valores recomendados para el funcionamiento de la batería son 20°C~40°C [34]

Terminales: Los terminales están hechos de barras de acero niquelado de alta conductividad y alto rendimiento. La tapa de la celda y los terminales están sellados con un sello de presión, lo que asegura un buen sellado durante toda la vida útil de la batería. [34] Las baterías de níquel-cadmio, como se ve en la fig. 8, tienen un ventilador ignífugo que evita explosiones y la contaminación de los electrodos, la disposición de los terminales proporciona una buena conductividad eléctrica, las rejillas divisorias de polipropileno ayudan a separar las placas. conducen a marcos que dejan mejores electrodos que fluyen. [34]

La carbonatación es otro proceso gradual pero reversible producido por la absorción de carbono del aire por el electrolito de hidróxido de potasio. Sin el mantenimiento adecuado, la carbonatación puede hacer que la carga falle, lo que puede ser catastrófico para el equipo. Se puede hacer reversible cambiando el electrolito. [35]

Como se muestra en la Fig. 9, se ven las celdas y la batería de níquel-cadmio es una celda o batería recargable para uso doméstico e industrial. Cada vez se utilizan menos por su efecto memoria y el cadmio, que es muy contaminante [33]

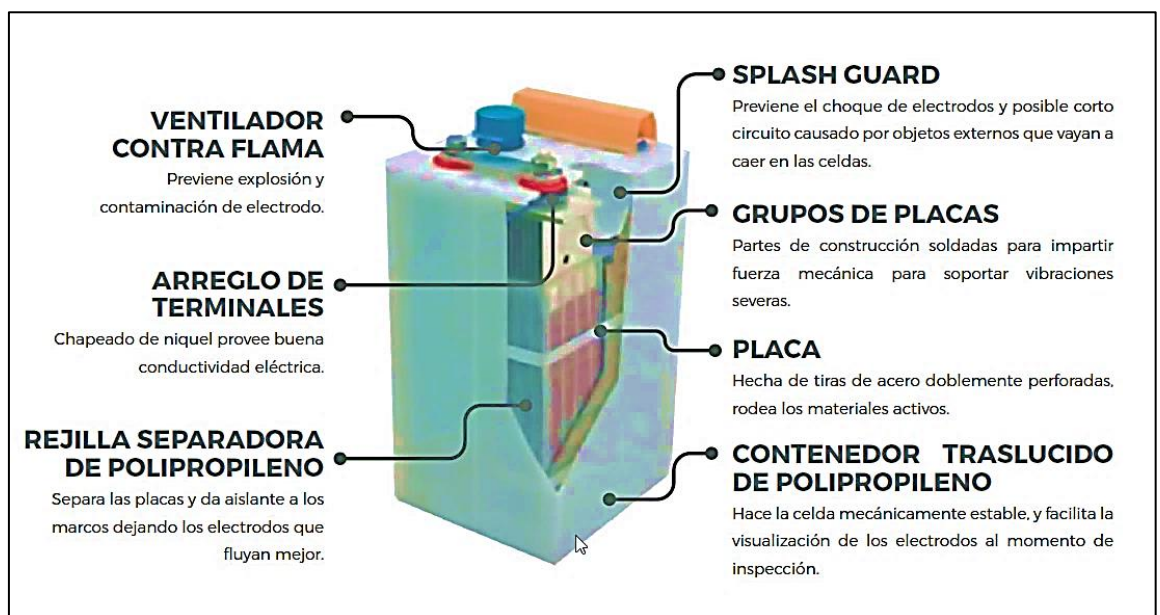


Figura 8. Partes de baterías de níquel cadmio [33]



Figura 9. Pila de níquel cadmio [33]

## Simuladores

### Wolfram SystemModeler

Es un entorno de modelado y simulación de próxima generación fácil de usar para sistemas ciberfísicos, también considerado como una plataforma para modelado y simulación en ingeniería y ciencias de la vida basada en el lenguaje Modélica. Proporciona un conjunto de biblioteca de componentes además de ser un entorno interactivo tanto en la simulación como en el modelo gráfico. [36]

Las características de Wolfram System Modeler incluyen:

- Basado en el lenguaje Modélica, orientado a objetos y basado en ecuaciones.
- Interfaz gráfica de usuario para modelado de arrastrar y soltar.
- Interfaz de usuario basada en texto para modelado, simulación, documentación y análisis basados en ecuaciones de Modélica.
- Modelado multidominio, que incluye:
  - Mecánica 1D y 3D
  - Sistema eléctrico
  - Sistema hidráulico
  - Termodinámica
  - Biología de sistemas



- Integrado con Mathematica para el análisis y documentación de modelos y simulaciones. [36]

### Modelado en baterías

Wolfram System Modeler le permite analizar cómo reacciona la batería a las condiciones térmicas, así como los ciclos de carga y descarga en el sistema más grande, combina el modelado de componentes y bloques; explora el impacto de la temperatura en la vida útil de una celda de batería (carga-descarga), como se muestra en la Figura 10. [36]

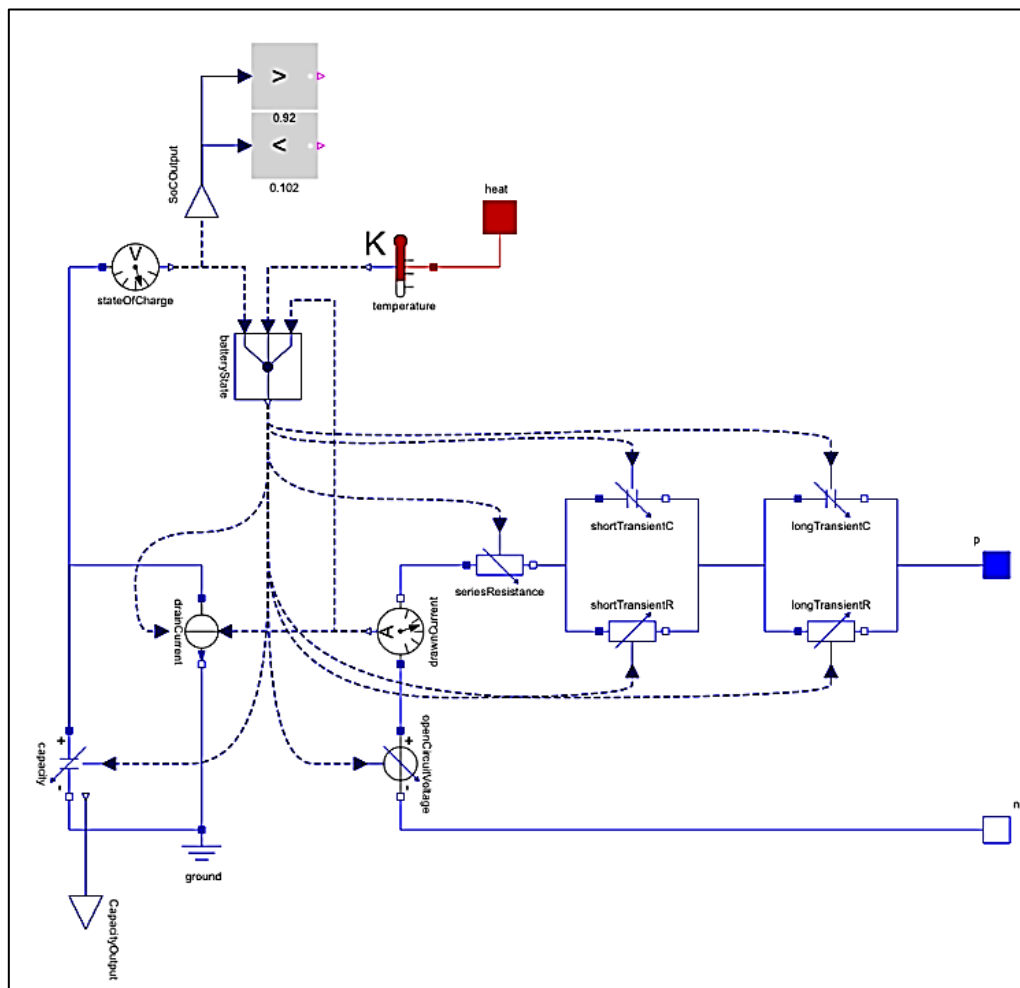


Figura 10. Modelado en Wolfram System Modeler [36]

### EA Battery Simulator

El EA Battery Simulator (EABS) es un software basado en Windows con una interfaz gráfica de usuario, creado para controlar todos los equipos bidireccionales de las series EA-PSB 9000 y EA-PSB 10000. La naturaleza bidireccional de estos equipos, que les permite actuar como fuente o sumidero, es la base de la simulación. [37]

Características principales de la simulación: [37]

- La fuente de alimentación puede reemplazar una amplia gama de tamaños de batería debido a su amplio rango de voltaje y corriente
- Simula baterías de iones de litio y plomo-ácido. Se agregarán más tipos de batería en actualizaciones posteriores.
- Simula o calcula valores específicos de la batería, como el voltaje de la batería, la corriente de carga/descarga, la resistencia interna y la temperatura corporal, así como el estado de carga
- La simulación de baterías tiene grandes ventajas en el desarrollo y prueba del producto final
- Adecuado para baterías de iones de litio de 20-80 Ah y baterías de plomo ácido de 35-140 Ah.

### **MapleSim**

Es una poderosa herramienta de modelado y simulación multidominio; Los sistemas se describen en un diagrama de componentes compacto e intuitivo utilizando técnicas de modelado físico, lo que facilita su construcción y comprensión. Las ecuaciones del modelo se generan y simplifican automáticamente, lo que lleva a modelos concisos y simulaciones de alta velocidad. Un modelo corresponde directamente a cada componente físico, mostrando cómo estos componentes se conectan entre sí y se generan las ecuaciones de movimiento. [38]

### **Características**

- MapleSim le permite mezclar componentes físicos con bloques de flujo de señal tradicionales
- Los modelos multidominio se ensamblan fácilmente a partir de componentes predefinidos
- Los sistemas mecánicos multicuerpo se simulan con un motor potente único en su tipo.
- La gestión de unidades elimina posibles errores de conversión y consistencia
- Documentación de diseño en vivo que captura el análisis subyacente al modelo
- Las ecuaciones del sistema se generan automáticamente para usted
- Los modelos complejos se simplifican automáticamente utilizando técnicas simbólicas.

- Soluciones que son fáciles de compartir

### **Modelado en baterías**

MapleSim ofrece una biblioteca en la que puede incorporar modelos predictivos basados en la física de celdas de batería en sus modelos de nivel de sistema multidominio; los modelos de circuito equivalente incluyen baterías de iones de litio, NiMH y plomo-ácido. [38]

### **MatLab Simulink**

Simulink es un entorno de programación visual que se ejecuta sobre el entorno de programación Matlab. Es un entorno de programación con un nivel de abstracción superior al lenguaje interpretado de Matlab (archivos con extensión .m). Simulink genera archivos con la extensión .mdl (de "modelo"). Simulink incluye muchas características para el análisis detallado del sistema. Las características clave incluyen: linealización, determinación del punto de equilibrio, animación, optimización de parámetros y análisis paramétrico. [39]

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Evaluar el desempeño de los sistemas de almacenamiento para la aplicación en sistemas de Energy Harvesting

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar el estado actual del uso de sistemas de almacenamiento para la aplicación en sistemas de Energy Harvesting
- Seleccionar los sistemas de almacenamiento óptimos para los sistemas Energy Harvesting
- Simular el comportamiento de los sistemas de almacenamiento seleccionados
- Evaluar la eficiencia de los sistemas de almacenamiento seleccionados en prototipos de Energy Harvesting para la determinación de su desempeño

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Materiales**

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se utilizaron los materiales como: tesis, artículos científicos, libros; además se utilizó recursos tecnológicos como batería de diferentes materiales y voltajes, sensor de corriente, temperatura y voltaje.

#### **2.2. Método**

##### **2.2.1. Modalidad de Investigación**

El proyecto se define como una investigación aplicada, por el motivo de utilizar los conocimientos adquiridos durante la formación académica y hacer uso de ellos para la aplicación en el desarrollo del trabajo de investigación.

La investigación bibliográfica para el desarrollo del trabajo de titulación será necesario una revisión bibliográfica en libros, revistas, artículos y bases de datos científicas de diversos repositorios de las Universidades nacionales e internacionales. Debido a que son de gran ayuda en el desarrollo del trabajo como antecedentes investigativos y para buscar mejoras en los trabajos realizados previamente.

Se utilizo la investigación experimental para la realización de diversas actividades con el objetivo de adquirir datos para el monitoreo y supervisión de las variables que se manejan en el presente trabajo de titulación, la información se recolectara en periodos de tiempo previamente establecido por el investigador.

##### **2.2.2. Recolección de Información**

La recolección de información para el presente trabajo de titulación se obtendrá de libros, artículos académicos, proyectos de investigación con el aval de la comunidad científica, que se encuentran grabados en repositorios digitales de las distintas Universidades, revistas de renombre tanto nacionales como internacionales.

### **2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos**

Una vez recolectada la información necesaria para el trabajo de investigación, se procede a realizar los siguientes pasos:

- Revisión de la información recolectada
- Análisis crítico de la información recopilada para resaltar y refutar información que no es relevante para la investigación
- Estudio de los dispositivos de almacenamiento para sistemas de captación de energía
- Identificación características importantes para la optimización de almacenamiento
- Identificación tecnologías de almacenamiento para la adaptación a los captadores de energía
- Valoración de tiempo de vida de cada batería
- Modelamiento de las diferentes baterías analizadas y descritas en la tabla 2
- Simulación de carga y descarga de las baterías mencionadas en la tabla 2
- Selección del almacenamiento óptimo para el sistema de Energy Harvesting
- Tabulación de las pruebas del desempeño de almacenamiento
- Elección la información relevante que contribuya al desarrollo de la propuesta de solución.

### **2.2.4. Desarrollo del Proyecto**

La presente investigación se desarrollo con base en las siguientes actividades:

- a. Adquisición de información de las diferentes fuentes bibliográficas de las tecnologías de almacenamiento para los sistemas de captación de energía
- b. Definición de las principales características y aplicaciones de las tecnologías de almacenamiento.
- c. Identificación de las características físicas de los sistemas de almacenamiento
- d. Análisis de la información de los problemas actuales del almacenamiento para los sistemas de captación de energía.
- e. Comparativa de los sistemas de almacenamiento que mejor se acoplen a los sistemas Energy Harvesting
- f. Análisis de los sistemas de almacenamiento seleccionados
- g. Selección del software para la simulación de los sistemas de almacenamiento escogidos.

- h. Modelamiento del funcionamiento de los sistemas de almacenamiento
- i. Implementación de los sistemas de almacenamiento que mejor se adapte al sistema de captación de energía empleado
- j. Realización de pruebas del sistema almacenamiento seleccionados e interpretar resultados.
- k. Análisis de las condiciones óptimas para el almacenamiento de los sistemas de captación de energía.
- l. Informe preliminar
- m. Informe final.

## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. análisis y discusiones de resultados

##### 3.1.1. Desarrollo de propuesta de la solución

###### Almacenamiento de energía.

Son dispositivos que emplean procesos electroquímicos, también conocidos como reacciones redox u oxidación-reducción, para acumular energía que puede ser utilizada en momentos posteriores. Dependiendo del material del que estén contruidos, estos dispositivos pueden repetir un ciclo específico de carga y descarga de energía. En el mercado, existen baterías fabricadas con una variedad de materiales, como baterías de plomo-ácido, baterías de níquel-cadmio, baterías de hidruro metálico, iones de litio (Li-ion) y polímeros de litio (LiPo). Cada una de estas tecnologías presenta sus propias características y aplicaciones.

**Tabla 2.** Tipos de Baterías

Baterías	Ciclos de carga y descargas	Voltajes	Densidad energía
Plomo acido	1500-2000	4V	30 Wh/kg
Níquel Cadmio	1000-1500	3.7V	50Wh/kg
Níquel hidruro metálico	500-2000	9V	60-120 Wh/kg
Iones de litio	400-1200	3.7V	100 Wh/kg
Polímero de litio	>1000	7.4V	130 -200 Wh/kg
Supercondensador	1000	7.5V	10 – 15 Wh/kg

###### Plomo acido

La batería de plomo-ácido contiene placas de plomo sumergidas en una solución de ácido sulfúrico. Cada celda de la batería está compuesta por una serie de placas de plomo y dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>), que son los materiales activos de las reacciones químicas, las baterías de plomo también se utilizan en aplicaciones de captación de energía para almacenar la energía recolectada de fuentes como paneles solares, turbinas eólicas pequeñas o sistemas de vibración; algunas características esenciales que las hacen adecuadas para ciertos sistemas de captación de energía es su costo. Las baterías de plomo-ácido son generalmente más económicas en comparación con otras tecnologías de baterías, lo que las hace atractivas para aplicaciones de recolección de energía donde el presupuesto es un factor importante, Capacidad de almacenamiento las baterías de plomo-ácido están disponibles en una variedad de tamaños y capacidades, lo que permite elegir una batería que coincida con las necesidades específicas del sistema de captación de energía. . Pueden ser dimensionadas para proporcionar la cantidad de almacenamiento requerida para cubrir los picos de demanda y variaciones en la energía recolectada.



Figura 11. Batería de plomo-ácido

Fuente: Elaborado por el investigador

### **Batería de níquel - cadmio**

Las baterías de níquel cadmio es un tipo de batería recargable que utiliza una reacción química entre el níquel y el cadmio para almacenar y liberar energía eléctrica; debido a preocupaciones ambientales y a la aparición de baterías con mejor rendimiento ha sido reemplazada en muchas aplicaciones por tecnologías más modernas; la batería níquel cadmio tiene Efecto de Memoria que puede limitar la capacidad real de la batería, en



sistemas de recolección de energía, donde la energía generada puede variar ampliamente, este efecto podría ser menos pronunciado, Las baterías de NiCd tienen una autodescarga relativamente baja en comparación con algunas otras tecnologías de baterías, lo que permite que la energía almacenada se conserve durante períodos de inactividad, son reciclables y pueden recuperar parte de los materiales, aunque es importante tener en cuenta que el cadmio es un material tóxico y su reciclaje debe realizarse de manera adecuada y pueden soportar un número considerable de ciclos de carga y descarga antes de degradarse significativamente. Esto permite que la batería sea utilizada repetidamente para almacenar y liberar energía en sistemas de recolección de energía.



Figura 12. Batería de níquel-cadmio

Fuente: Elaborado por el investigador

### **Iones de litio**

Las baterías de iones de litio tienen una alta densidad de energía lo que permite un almacenamiento eficiente de energía en aplicaciones de recolección de energía, lo que significa que pueden liberar energía de una manera rápida siendo beneficioso en situaciones donde se requiere una liberación rápida de energía, pueden soportar un gran número de ciclos de carga y descarga, presentan una baja tasa de autodescarga en comparación con las baterías recargables que se encuentra en el mercado, lo que permite que la energía almacenada se conserve durante períodos de inactividad. Las baterías de litio ion se convierte en una opción conveniente para los equipos de recolección de energía que requieren un almacenamiento de energía eficiente y confiable.



Figura 13. Batería Iones de litio

Fuente: Elaborado por el investigador

### **Polímero de litio**

Las baterías de iones de litio poliméricas (LiPo) son una variante de las baterías de iones. Estas baterías son ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones, las baterías de LiPo tienen una alta densidad de energía, lo que permite un almacenamiento eficiente de energía en aplicaciones de recolección de energía, al igual que las baterías de iones de litio convencionales, las LiPo también ofrecen una alta densidad de potencia, lo que es beneficioso en situaciones donde se requiere una liberación rápida de energía, tienen una vida útil comparable a las baterías de iones de litio convencionales y pueden soportar numerosos ciclos de carga y descarga; las baterías de iones de litio poliméricas son una opción atractiva para los equipos de recolección de energía que requieren una alta densidad de energía y potencia, así como una flexibilidad de diseño. Sin embargo, al igual que con cualquier tecnología de batería, es importante considerar factores de seguridad, gestión térmica y durabilidad al seleccionar y utilizar baterías de LiPo en aplicaciones de recolección de energía.



Figura 14. Batería de Polímero de litio

Fuente: Elaborado por el investigador

### **Supercondensador**

Los supercondensadores son ideales para aplicaciones que requieren una liberación rápida y eficiente de energía, como equipos de recolección de energía. Su alta densidad de potencia, ciclos de vida prolongados y capacidad de respuesta rápida los hacen una opción valiosa en situaciones donde la eficiencia energética y la velocidad son esenciales. Sin embargo, su densidad de energía limitada puede requerir una combinación con otros sistemas de almacenamiento para aplicaciones que también necesitan almacenar energía a largo plazo.

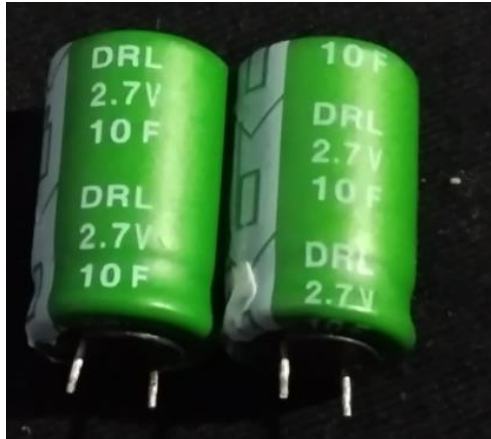


Figura 15. Supercondensadores

Fuente: Elaborado por el investigador

Fuente: Elaborado por el investigador

**Tabla 3. Tabla comparativa de las baterías**

<b>Características</b>	<b>Plomo acido</b>	<b>Níquel Cadmio</b>	<b>Níquel hidruro metálico</b>	<b>Iones de litio</b>	<b>Polímero de litio</b>	<b>Supercondensador</b>
Densidad de Energía (Wh/kg)	Baja	Moderada	Moderada	alta	alta	Baja
ciclos	Moderada	Moderada	Moderada	alta	alta	alta
Autodescarga	Moderada	Moderada	baja	baja	baja	alta
Eficiencia Carga/Desc	Moderada	Moderada	alta	alta	alta	alta
Efecto memoria	Si	Si	No	No	No	No
Tolerancia a temperaturas extremas	Moderada	Bueno	Moderada	buena	buena	Moderada
Toxicidad y Sostenibilidad	plomo	cadmio	-	-	-	-
Aplicación	Automóvil	Eléctrico	electrónica	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico


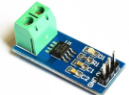
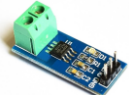


Fuente: Elaborado por investigador

De las baterías y supercondensador mostradas en la Tabla 2 y Tabla 3, destaca la batería de litio polimérico como la más óptima porque posee mayor ciclo de carga y descarga, así como una densidad de energía más elevada a comparación con la demás batería, los supercondensadores si bien no tiene una densidad de energía alta ofrece mucha más potencia por ser acumuladores de carga por medio físico, la selección de estos sistemas de almacenamiento se realizó en base a la disponibilidad en el mercado.

### **Sensor de corriente y voltaje**

Los sensores son herramientas que reportan y responden a algún tipo de información en el caso de un sensor de corriente son dispositivos utilizados para medir el flujo de corriente en un circuito eléctrico, algunos sensores pueden medir corriente continua y alterna; los sensores de voltaje ayudan a calcular y controlar la cantidad de voltaje. A continuación, en la Tabla 3 se muestra algunos sensores que se encuentra en el mercado con sus respectivas características.

**Tabla 4.** Tipo de sensores de corriente y voltaje.

	<b>Tipo</b>	<b>Reporta</b>	<b>Detecta voltaje</b>	<b>temperatura</b>	<b>Detecta Amperio</b>	<b>Fuente de alimentación</b>	<b>Costo</b>
	ACS712-05A	corriente	-	-	-30A-+30A	5V	\$4.9
	ACS712-20A	corriente	-	-	-30A-+30A	5V	\$5.5
	ACS712-30A	corriente	-	-	-30A-+30A	5V	\$5.5
	INA 219	Voltaje, corriente y potencia	0-26	-40°C-+85°C	3.2A	3V-5.5V	\$7
	INA 266	Voltaje, Corriente y potencia	0V- 36V	-	3.2A	2.7V-5.5V	\$18.9

Fuente: Elaborado por el investigador

De las opciones presentadas los sensores INA permite reportar el voltaje y corriente simultáneamente donde puede detectar un rango de corriente más bajo; monitoriza a tiempo real y por periodos más largos de tiempo, este módulo es utilizado para saber el ciclo de descarga y carga de una batería, El INA219 se caracteriza por medir la corriente en el lado positivo de la carga para no generar una falsa tierra en el circuito.

### Simulador

Los simuladores son un procedimiento tanto para la formación de conceptos y la construcción del conocimiento, en general, como para la aplicación de estos a nuevos contextos.

**Tabla 5.** Cuadro comparativo entre simuladores

<b>Características</b>	<b>Wolfram SystemModel</b>	<b>EA Battery Simulator</b>	<b>Matlab Simulink</b>	<b>MapleSim</b>
versión	13.0		R2021b	2022
Requerimiento adicional	Mathematica opcional	ninguna	Matlab	Maple
Modelado	Jerárquico, sigue topología de la vida real		Jerárquico, sigue topología de la vida real	Jerárquico, sigue topología de la vida real
Tipo de modelado	Multidominio	No posee	Multidominio	Multidominio
Trabajo con modelo de modélica	Si	No	No	Si
Diseño de componente a partir de ecuaciones simbólicas	si	No	Si	si

Solucionador				
hidrido continuo-	si	no	si	si
discreto				
Solucionador en tiempo real				
	si	no	Si	no
Solucionador de análisis de sensibilidad				
	si	si	si	si
Visualización				
mecánica 3D	si	no	Si	si
automática				
Entorno de visualización personalizada				
	Mathematica	Battery simulator- graph	Matlab	Maple

Fuente: elaborado por el investigador

En el desarrollo de la propuesta se ha analizado los sistemas Energy Harvesting realizados por Pillajo, Darío con su proyecto “Sistema de captación de energía de RF basado en matriz de rectennas dipolos logarítmicas espirales”; Valle, Milton con su proyecto “Sistema de cosecha y almacenamiento de energía con sistemas de rectennas y celdas fotovoltaicas para dispositivos inalámbricos IoT de baja potencia” y Danny, Merino con su proyecto “Sistema hibrido solar-radiofrecuencia de recolección de energía para terminales de quinta generación 5G”.

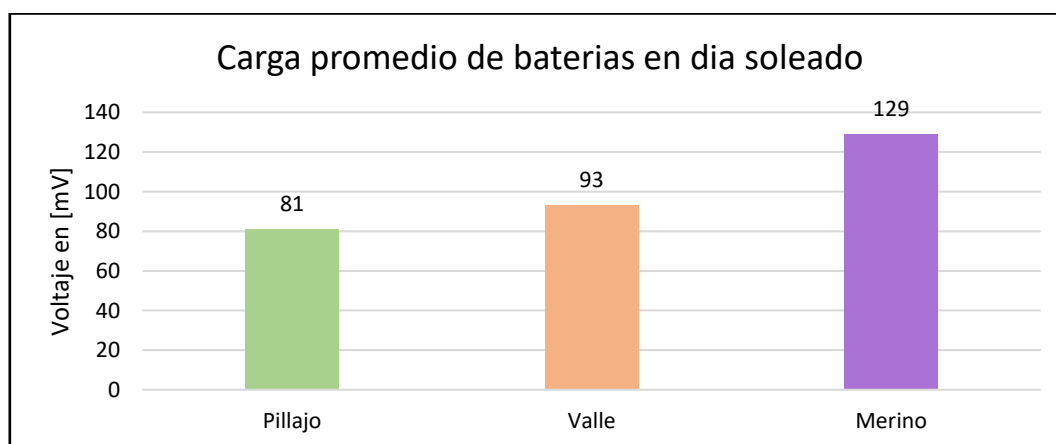


Figura 16. Voltaje recolectado por diferentes sistemas de Energy Harvesting en día soleado



Fuente: Elaborado por el investigador

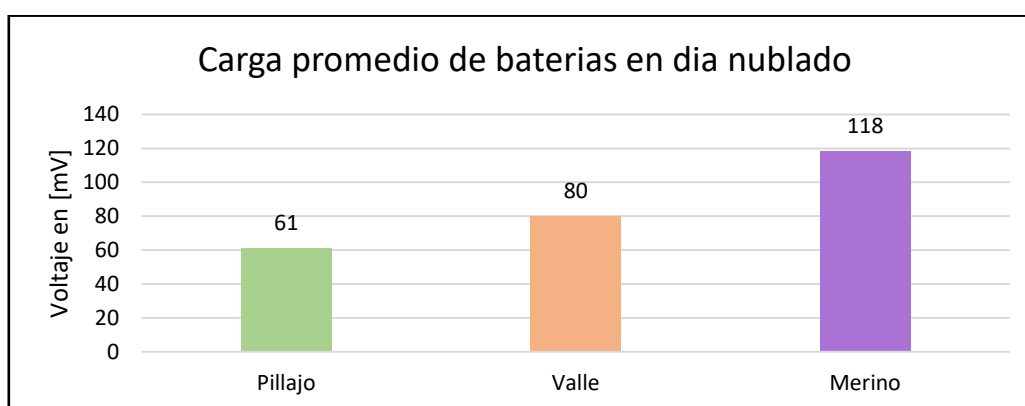


Figura 17. Voltaje recolectado por diferentes sistemas de Energy Harvesting en dia nublado

Fuente: Elaborado por el investigador

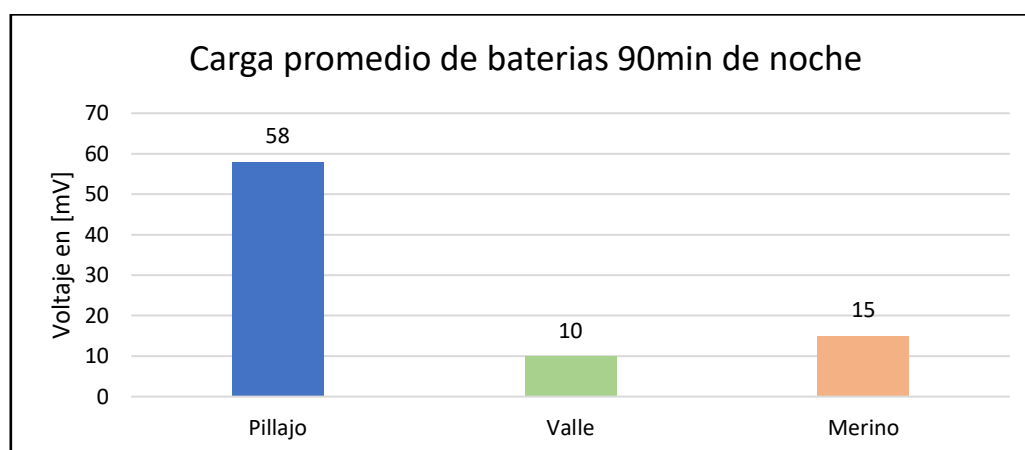


Figura 18. Voltaje recolectado por diferentes sistemas de Energy Harvesting en noche

Fuente: Elaborado por el investigador

A partir de los datos recolectados de los diferentes sistemas Energy Harvesting como se muestra en las figuras 16, 17 y 18, se ha escogido Sistema de cosecha y almacenamiento de energía con sistemas de rectennas y celdas fotovoltaicas para dispositivos inalámbricos IoT de baja potencia ya que presenta mayor estabilidad para la recolección de energía.

Los tipos de tecnologías más destacable son las baterías, ya que pueden almacenar energía durante periodos casi indefinidos y agruparse para contener más de 1MW a comparación de las demás tecnologías de almacenamiento; los supercondensadores pueden ser diseñados para una alta duración y baja capacidad o alta capacidad y baja duración, pero no son capaces de almacenar a gran escala.

Hay varios modelos de batería, el modelo de circuito seleccionado, como se muestra en la Figura 19, proporciona suficiente precisión para el análisis de rendimiento y es fácil de conectar a otros sistemas.

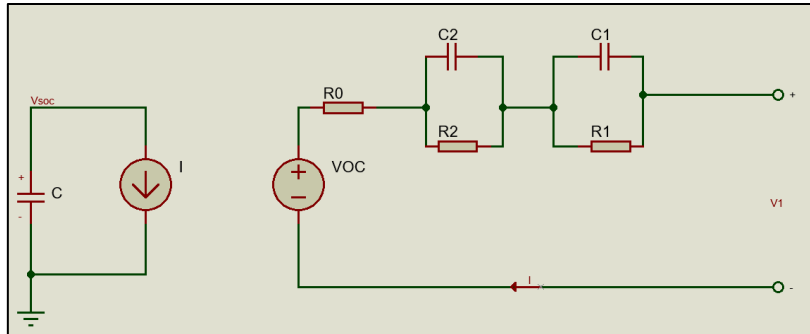


Figura 19. Circuito de modelo de una celda de batería

Fuente: Elaborado por el investigador

Para este modelo, el lado izquierdo ayuda con el balance de potencia que determina el balance y la cantidad de energía que queda en la celda, mientras que el lado derecho es el que determina la respuesta de voltaje de la celda a una corriente dada, tanto resistencias como capacitores. son variables y dependen del SOC (estado de carga).

A través de la relación del estado de la carga (SOC) y el voltaje terminal ( $V_t$ )

Para el ciclo de descarga

$$V_T = OCV_d(SOC) - 1 * R_d(T, SOC)$$

Para el ciclo de carga

$$V_T = OCV_c(SOC) + 1 * R_c(T, SOC)$$

El voltaje de circuito abierto es función de SOC, cada batería tiene cierta resistencia interna que se opone a la corriente en el momento de carga y descarga de la batería, el comportamiento de la resistencia en el momento de la carga es diferente al momento de la descarga, las resistencias internas también son la causa del calentamiento de la batería; SOC se puede calcular la cantidad de corriente que pasa dentro de la batería el cual se puede representar:

En el ciclo de la descarga

$$\text{SOC} = \text{SOC}(t = 0) - \frac{1}{C_n} * \int_0^t I(t)dt$$

En el ciclo de la carga

$$\text{SOC} = \text{SOC}(t = 0) + \frac{1}{C_n} * \int_0^t I(t)dt$$

La batería de litio polimérico de 500 mAh cargado con una corriente constante de 0.11 mA en 4h

$$\text{SOC} = \text{SOC}(t = 0) + \frac{1}{C_n} * \int_0^t I(t)dt$$

$$\text{SOC}(t = 4h) = \text{SOC}(t = 0h) + \frac{1}{500\text{mAh}} * \int_0^{4h} 0.11\text{mA} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4h) = 0 + \frac{0.11 \text{ mA}}{500\text{mAh}} * \int_0^{4h} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4h) = 4.0022$$

La batería de ion litio de 6800 mAh cargado con una corriente constante de 0.11 mA en 4h

$$\text{SOC} = \text{SOC}(t = 0) + \frac{1}{C_n} * \int_0^t I(t)dt$$

$$\text{SOC}(t = 4h) = \text{SOC}(t = 0h) + \frac{1}{6800\text{mAh}} * \int_0^{4h} 0.11\text{mA} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4h) = 0 + \frac{0.11 \text{ mA}}{6800\text{mAh}} * \int_0^{4h} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4h) = 0.00001617$$

La batería de plomo de 4500 mAh cargado con una corriente constante de 0.12 mA en 4h

$$\text{SOC} = \text{SOC}(t = 0) + \frac{1}{C_n} * \int_0^t I(t)dt$$

$$\text{SOC}(t = 4\text{h}) = \text{SOC}(t = 0\text{h}) + \frac{1}{4500\text{mAh}} * \int_0^{4\text{h}} 0.12\text{mA} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4\text{h}) = 0 + \frac{0.12 \text{ mA}}{4500\text{mAh}} * \int_0^{4\text{h}} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4\text{h}) = 0.0001066668$$

La batería de níquel-metal hidruro de 300 mAh cargado con una corriente constante de 0.12 mA en 4h

$$\text{SOC} = \text{SOC}(t = 0) + \frac{1}{C_n} * \int_0^t I(t)dt$$

$$\text{SOC}(t = 4\text{h}) = \text{SOC}(t = 0\text{h}) + \frac{1}{300\text{mAh}} * \int_0^{4\text{h}} 0.12\text{mA} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4\text{h}) = 0 + \frac{0.12 \text{ mA}}{300\text{mAh}} * \int_0^{4\text{h}} dt$$

$$\text{SOC}(t = 4\text{h}) = 0.0016$$

### Simulación

Cuando la fuente de voltaje está desconectada, la batería suministra energía, y cuando la fuente de voltaje está activada, la energía se suministra desde dicha fuente. En otras palabras, este cambio ocurre cuando el estado cambia, ya sea de 1 a 0 o viceversa, como se representa en la figura 20. La corriente alcanza su nivel máximo cuando la batería está completamente cargada. En la simulación, la batería inicia con un voltaje nominal y va aumentando hasta llegar a su voltaje máximo. Es esencial notar que el estado de carga (SOC) de la batería llega al 100% cuando la batería está completamente cargada.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**

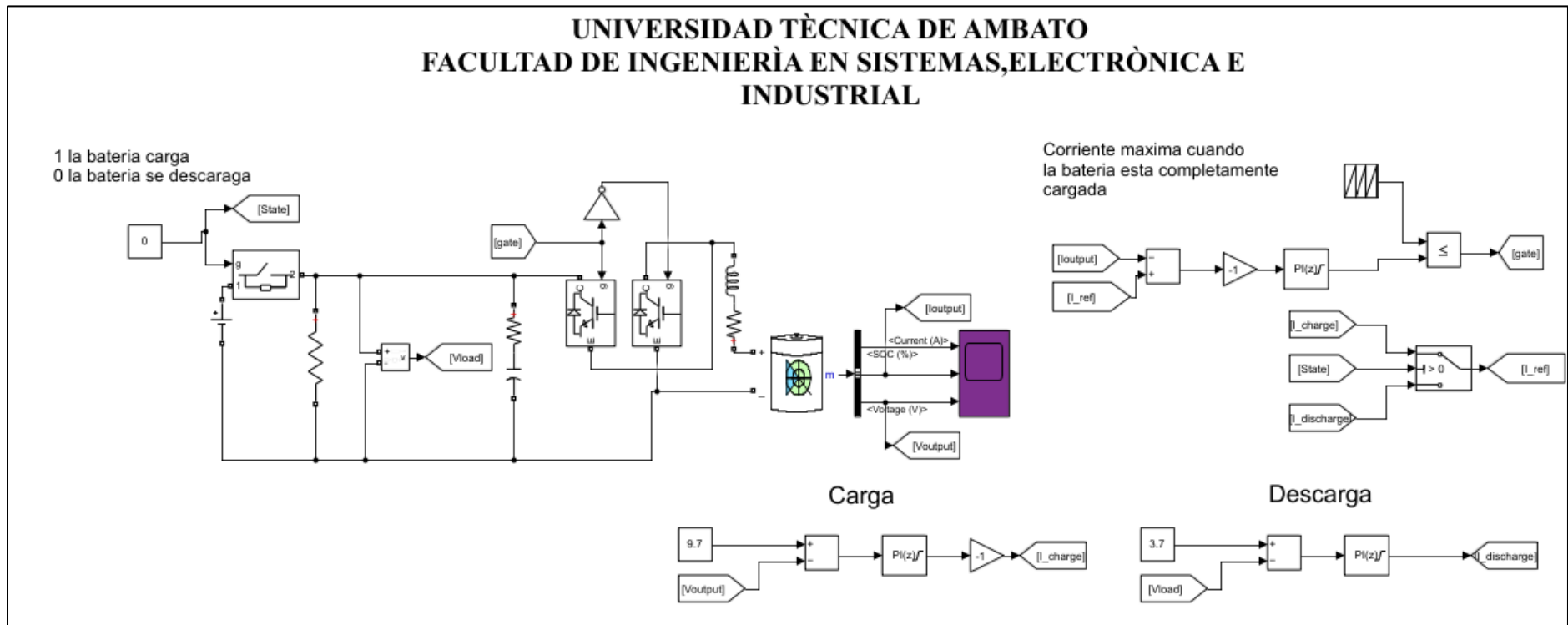


Figura 20. Simulación implementada en simulink

Fuente: Elaborado por el investigador

Los parámetros de cada una de las baterías se establecen como se muestra en la figura 21 en función del voltaje, corriente y SOC que se ha sacado anteriormente, la batería se somete durante un tiempo a un ciclo de carga si su estado está en 1 y a un ciclo de descarga cuando su estado está en 0.

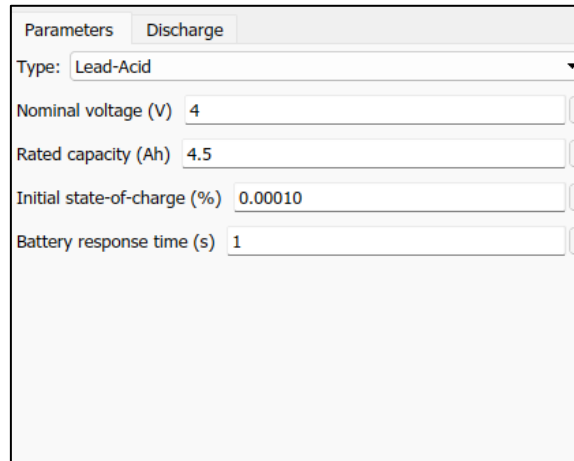


Figura 21. Panel de parámetros de las baterías

Fuente: Elaborado por el investigador

La batería Litio polimérico tiene un voltaje de 7.4 [V], se encuentra en plena carga cuando el voltaje llegue a 9[v] con una corrinete de 500 [mAh] como se muestra en la figura 22; la batería se encuentra descargada cuando su voltaje baja de 7.2[v] como muestra la figura 23.

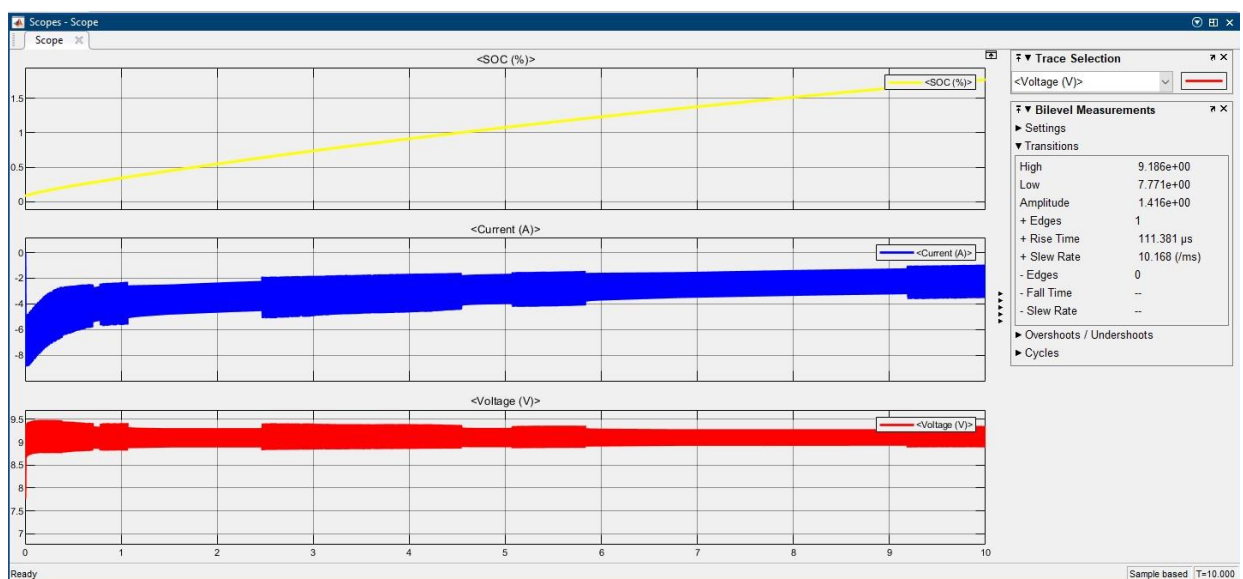


Figura 22. Comportamiento de una batería de Litio polimérico en carga

Fuente: Elaborado por el investigador

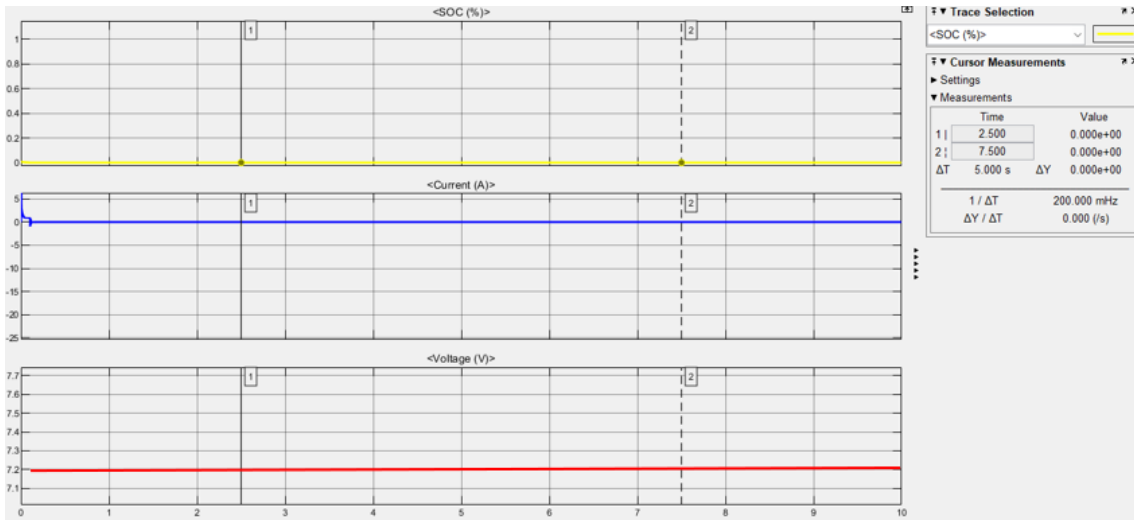


Figura 23. Comportamiento de una batería de Litio polimérico en descarga

Fuente: Elaborado por el investigador

La batería Litio-Ion tiene un voltaje de 3.7 [V], se encuentra en plena carga cuando el voltaje llegue a 4.5[v] con una corrinete de 6800 [mAh] como se muestra en la figura 24; la batería se encuentra descargada cuando su voltaje baja de 3.6[v] como muestra la figura 25.

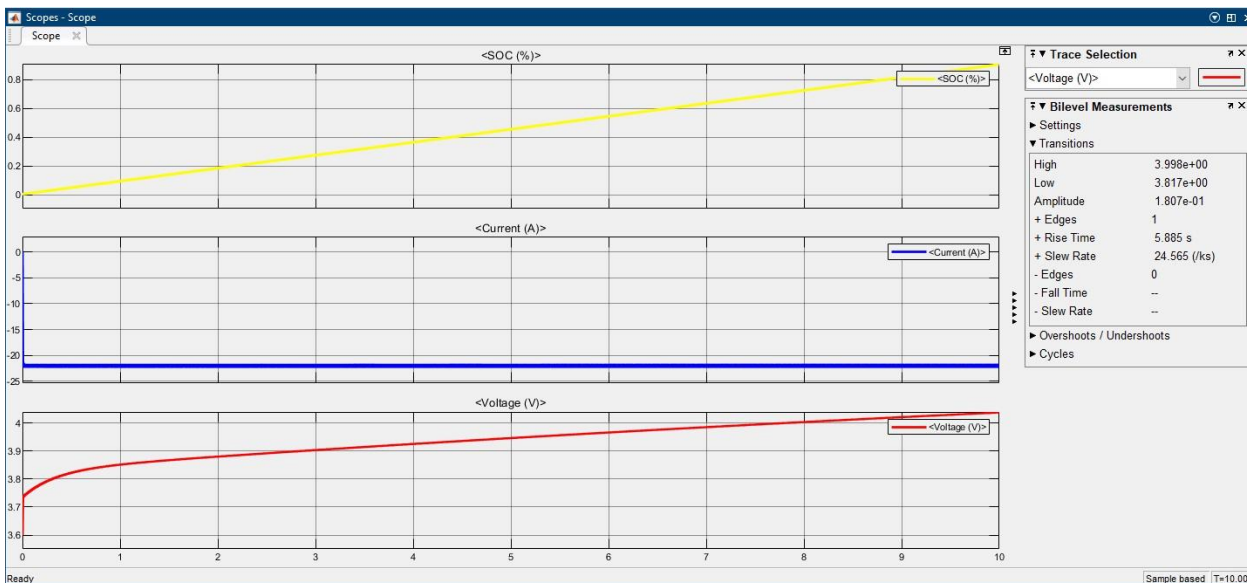


Figura 24. Comportamiento de una batería de Litio-Ion en carga

Fuente: Elaborado por el investigador

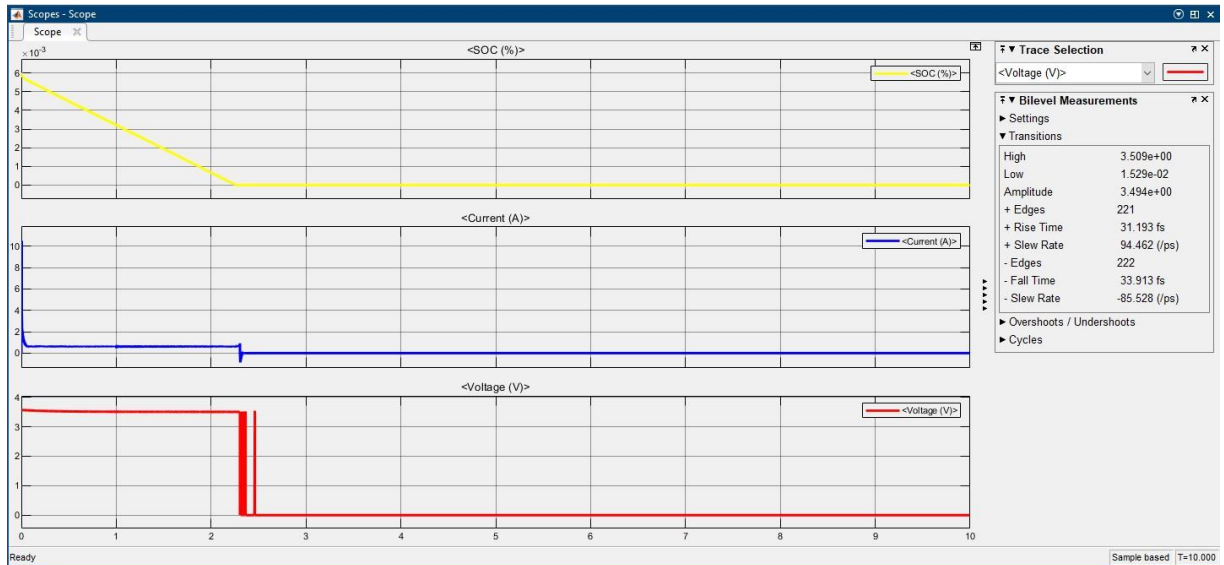


Figura 25. Comportamiento de una batería de Litio-Ion en descarga

Fuente: Elaborado por el investigador

La batería de Plomo tiene un voltaje de 4 [V], se encuentra en plena carga cuando el voltaje llegue a 4.5[v] con una corrinete de 4500 [mAh] como se muestra en la figura 26; la batería se encuentra descargada cuando su voltaje baja de 3.6[v] como muestra la figura 27.

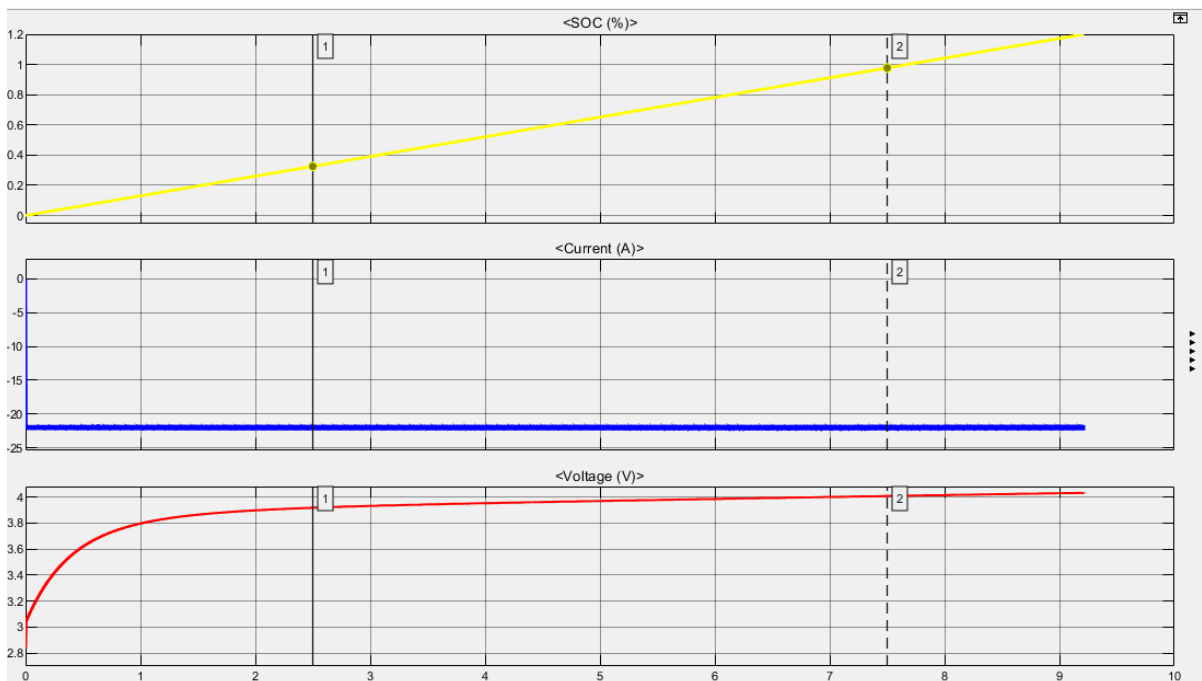


Figura 26. Comportamiento de una batería de plomo en carga



Fuente: elaborado por el investigador

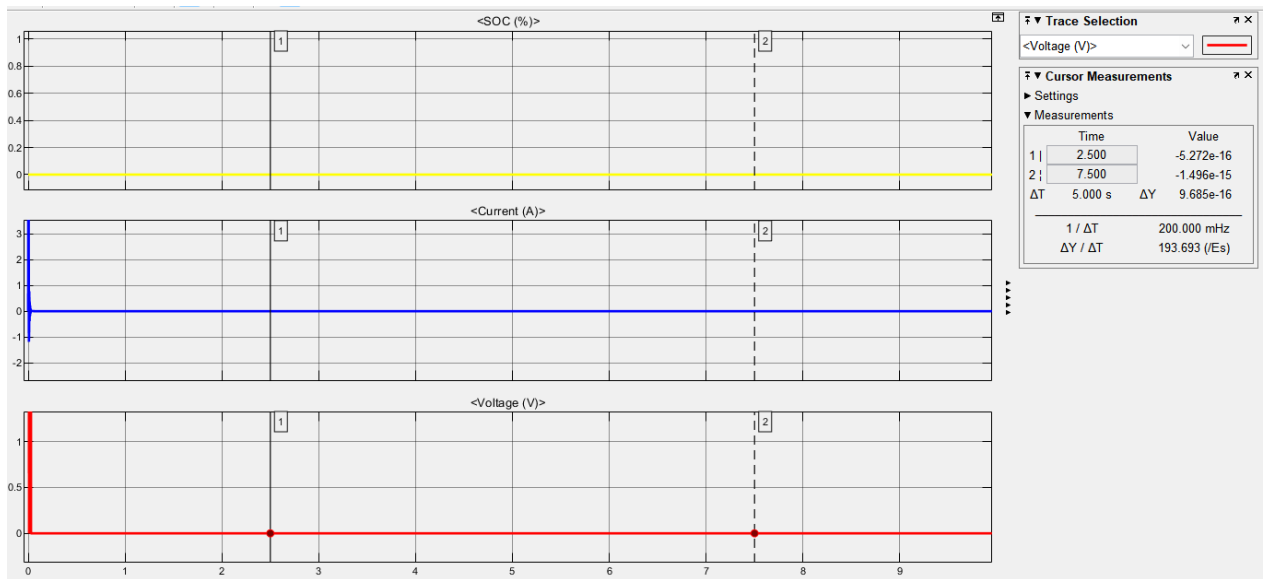


Figura 27. Comportamiento de una batería de plomo en descarga

Fuente: elaborado por el investigador

La batería de Niquel Cadmio tiene un voltaje de 1.2 [V], se encuentra en plena carga cuando el voltaje llegue a 1.5[v] con una corrinete de 600 [mAh] como se muestra en la figura 28; la batería se encuentra descargada cuando su voltaje baja de 1.194 [v] como muestra la figura 29.

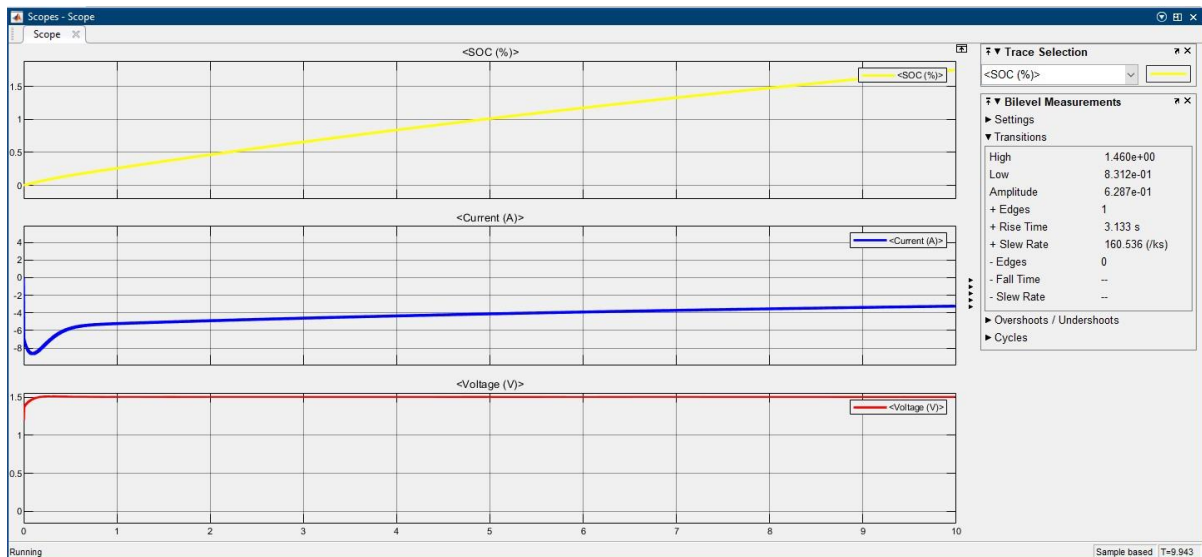


Figura 28. Comportamiento de una batería de Niquel cadmio en carga

Fuente: elaborado por el investigador

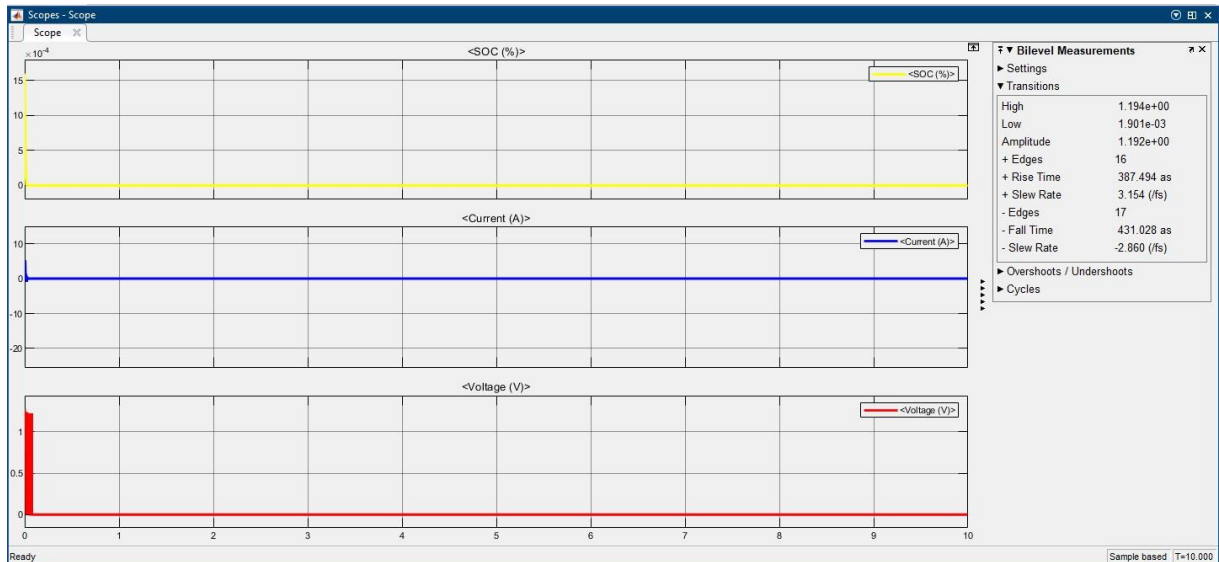


Figura 29. Comportamiento de una batería de Niquel cadmio en descarga

Fuente: elaborado por el investigador

La batería de Niquel Metal hidruro tiene un voltaje de 8.4 [V], se encuentra en plena carga cuando el voltaje llegue a 10.5 [v] con una corrinete de 300 [mAh] como se muestra en la figura 30; la batería se encuentra descargada cuando su voltaje baja de 7.6 [v] como muestra la figura 31.

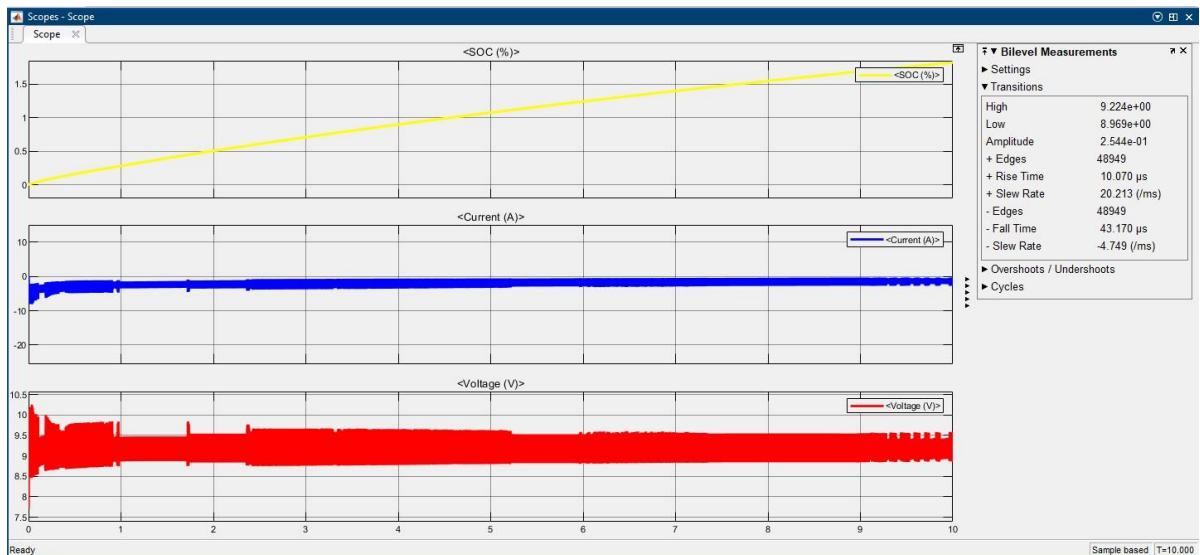


Figura 30. Comportamiento de una batería de Niquel Metal Hidruro en carga

Fuente: elaborado por el investigador



Fuente elaborado por el investigador

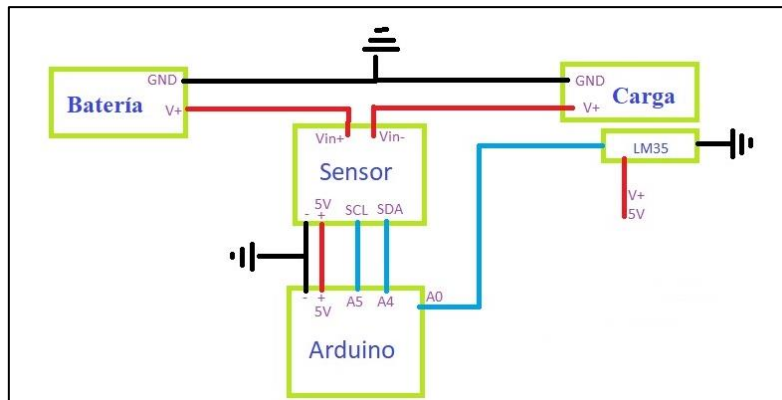


Figura 33. Circuito de descarga de batería

Fuente: Elaborado por el investigador

En el proceso de medición y recolección de datos de carga y descarga de baterías, se ha optado por utilizar la plataforma Arduino debido a sus características y funcionalidades que se alinean de manera eficaz con los objetivos y requisitos del proyecto, Arduino para la medición y recolección de datos de carga y descarga de baterías debido a su capacidad para proporcionar un control preciso, su flexibilidad en la integración de sensores y su capacidad para diseñar interfaces de usuario efectivas. Además, su facilidad de uso, disponibilidad y apoyo comunitario hacen que sea una elección sólida para el proyecto en términos de eficiencia y resultados efectivos.





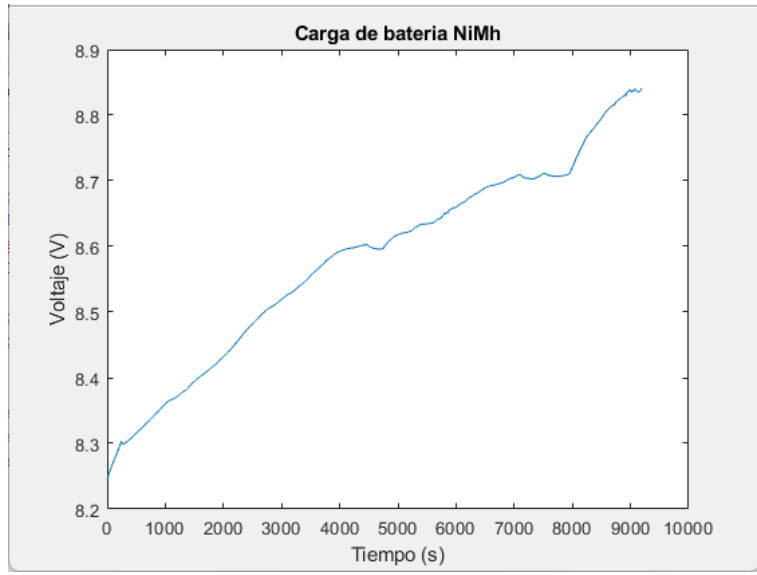


Figura 36. Carga de batería NiMh

Fuente: Elaborado por el investigador

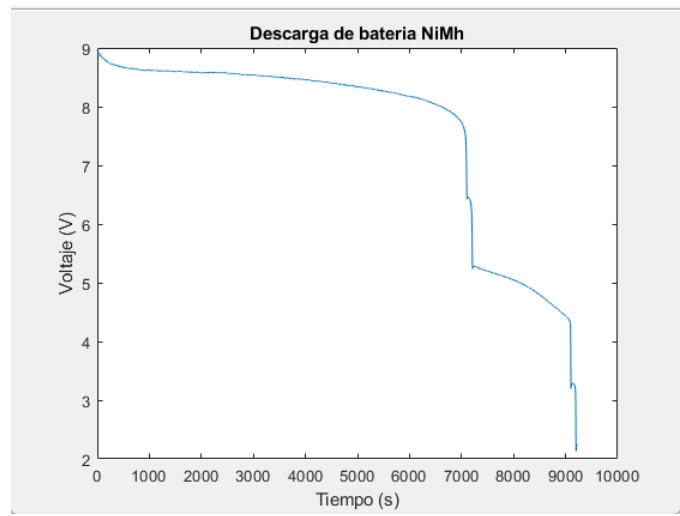


Figura 37. Descarga de la batería NiMh

Fuente: Elaborado por el investigador

Tal como se ilustra en la Figura 38, durante la fase de carga de la batería de NiMh, se registra un voltaje de 0.19 [mV] al llegar a los 5400 segundos. Sin embargo, en la fase de descarga, que se presenta en la Figura 39, se observa una caída del voltaje a 0.09 [mV].

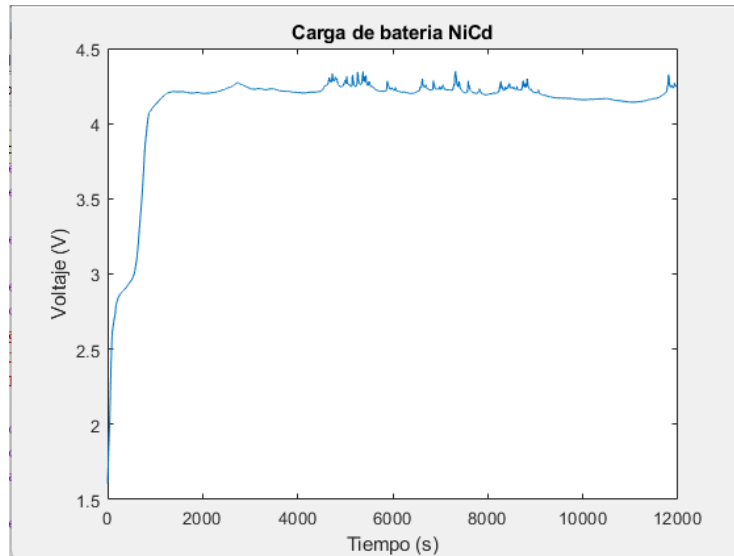


Figura 38. Carga de la batería NiCd

Fuente: Elaborado por el investigador

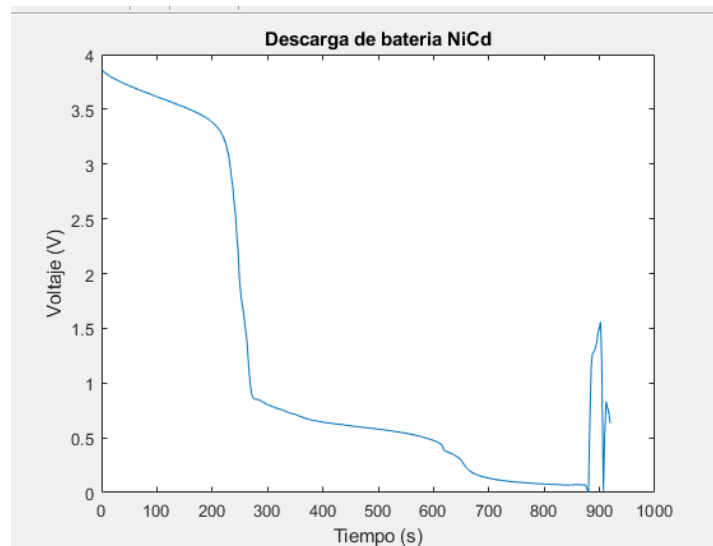


Figura 39. Descarga de la batería NiCd

Fuente: Elaborado por el investigador



En la tabla 5, 6 y 7 se puede observar la carga y descarga en determinado tiempo entre 90min y 4 horas.

Para la recolección de datos se utilizó el módulo INA219 y aunque es sencillo poder medir el consumo de una placa, un componente o un proyecto completo utilizando un multímetro o tester, el sensor INA219 que permite monitorizar dicho consumo en tiempo real por un largo periodo de tiempo. Puede ser muy útil para saber el ciclo de descarga de una batería y estimar cuánto van a durar las baterías en el proyecto.

Para llevar a cabo este proyecto, se realizaron múltiples pruebas en distintas franjas horarias durante un período de un mes. Esto permitió capturar datos en diferentes momentos del día y de la noche, así como en diversas condiciones climáticas. Los datos presentados en el estudio son el resultado de promediar los valores obtenidos en estas pruebas variadas.

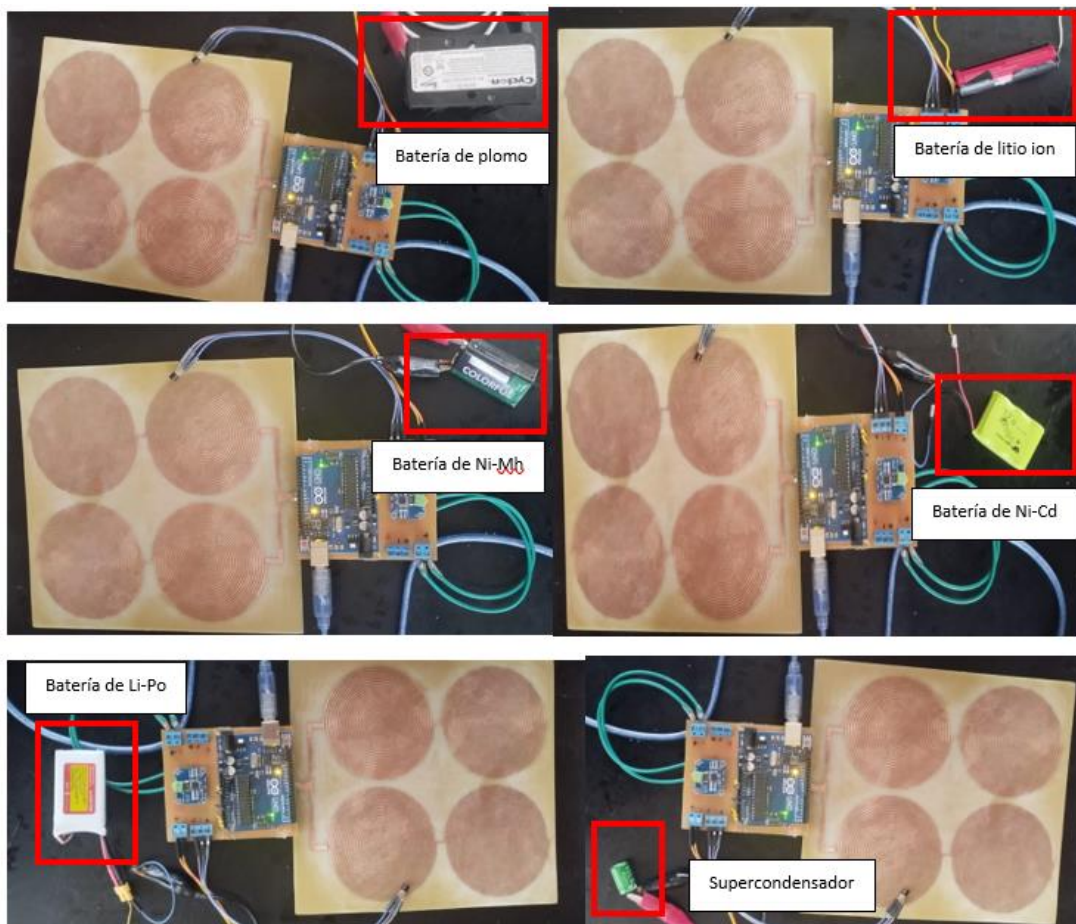


Figura 40. Registro de datos de la matriz rectennas dipolos logarítmicas espirales

Fuente: Elaborado por el investigador

Como se muestra en la Figura 40 se realizo las diferentes mediciones con cada uno de las baterías escogidas, donde se tomo los datos a través de una comunicación serial entre el sensor INA219 y el Arduino.

Tabla 6. Carga y descarga de los sistemas de almacenamiento Pillajo

<b>Baterías</b>	<b>Carga en 90min</b>	<b>Carga en 4H</b>	<b>Descarga en 90min</b>	<b>Descarga en 4H</b>
Plomo acido	0.08mV	0.23mV	0.3mV	1.3mV
Níquel Cadmio	0.08mV	0.2mV	0.02mV	0.09mV
Níquel hidruro metálico	0.01mV	0.035 mV	0.07mV	0.1mV
Iones de litio	0.1mV	0.32 mV	0.043mV	0.08mV
Polímero de litio	0.15mV	0.3 mV	0.0013mV	0.4mV
Supercondensador	0.15mV	0.2mV	0.0087mV	0.01mV

Fuente: Elaborado por el investigador

La batería de plomo requiere relativamente poca energía para cargar en comparación con otros tipos, pero tiene una alta resistencia interna, lo que resulta en una mayor caída de voltaje durante la descarga, en cambio la batería de litio tiene una alta densidad de energía y requiere una cantidad moderada de energía para cargar. Presenta una baja caída de voltaje tanto en la carga como en la descarga, un punto intermedio de los valores es la batería de Níquel hidruro metálico. Cada uno de estos datos son recopilados en el tiempo de 90min a 4horas

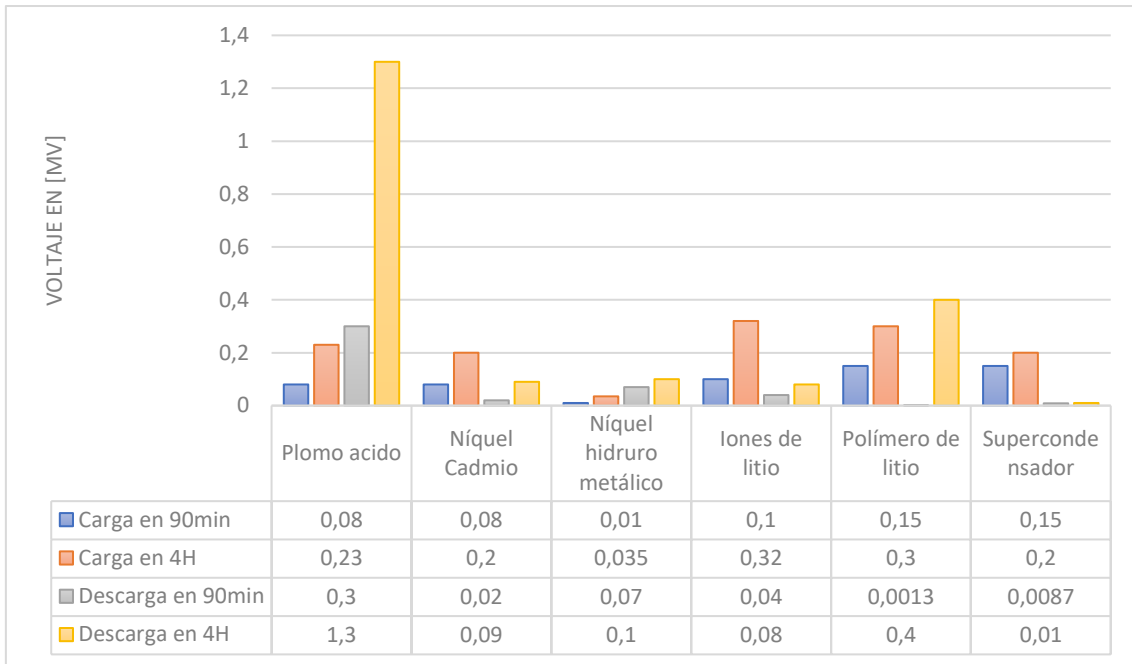


Figura 41. comparativa en diferentes tiempos de recolección

Fuente: Elaborado por el investigador

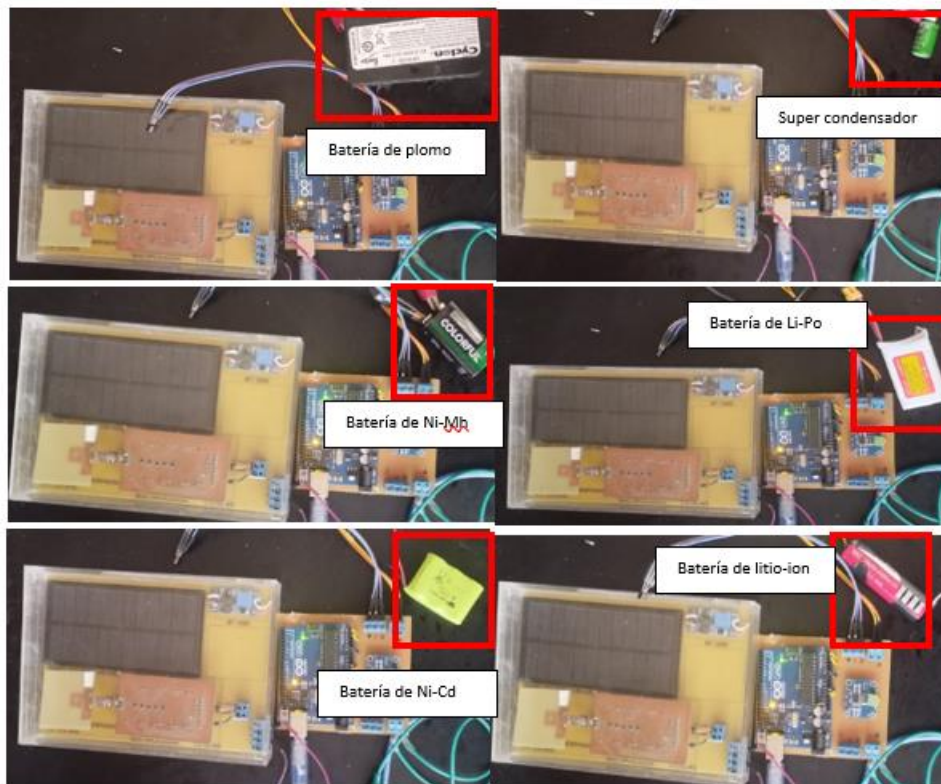


Figura 42. Registro de datos sistemas de rectennas y celdas fotovoltaicas

Fuente elaborado por el investigador

Como se muestra en la Figura 42 se realizo las diferentes mediciones con cada uno de las baterías escogidas, donde se tomo los datos a través de una comunicación serial entre el sensor INA219 y el Arduino.

Tabla 7. Carga y descarga de los sistemas de almacenamiento Valle

<b>Baterías</b>	<b>Carga en 90min</b>	<b>Carga en 4H</b>	<b>Descarga en 90min</b>	<b>Descarga en 4H</b>
Plomo acido	0.1mV	0.3mV	0.6mV	2.3mV
Níquel Cadmio	0.1mV	0.2mV	0.05mV	0.8mV
Níquel hidruro metálico	0.013mV	0.03 mV	0.09mV	1.2mV
Iones de litio	0.1mV	0.42 mV	0.068mV	0.5mV
Polímero de litio	0.2mV	0.48 mV	0.0103mV	0.4mV
Supercondensador	0.2mV	0.36mV	0.01mV	0.2mV

Fuente: Elaborado por el investigador

En el caso de los datos recopilados en este sistema la bateria de plomo aunque requiere más energía para cargar y tiene una caída de voltaje relativamente alta durante la descarga, esta tecnología todavía muestra un rendimiento inferior en comparación con otras en términos de eficiencia y densidad de energía, la bateria níquel-cadmio tiene requisitos de carga moderados y una caída de voltaje moderada durante la descarga. Aún ofrece una buena capacidad de descarga en 4 horas; la bateria de litio continúa siendo eficiente en términos de energía de carga y descarga. Tiene una buena capacidad de descarga en 4 horas y un bajo voltaje caído y el supercondensador requiere relativamente más energía para cargar, pero tiene una excelente capacidad de descarga en 4 horas con una caída de voltaje mínima.

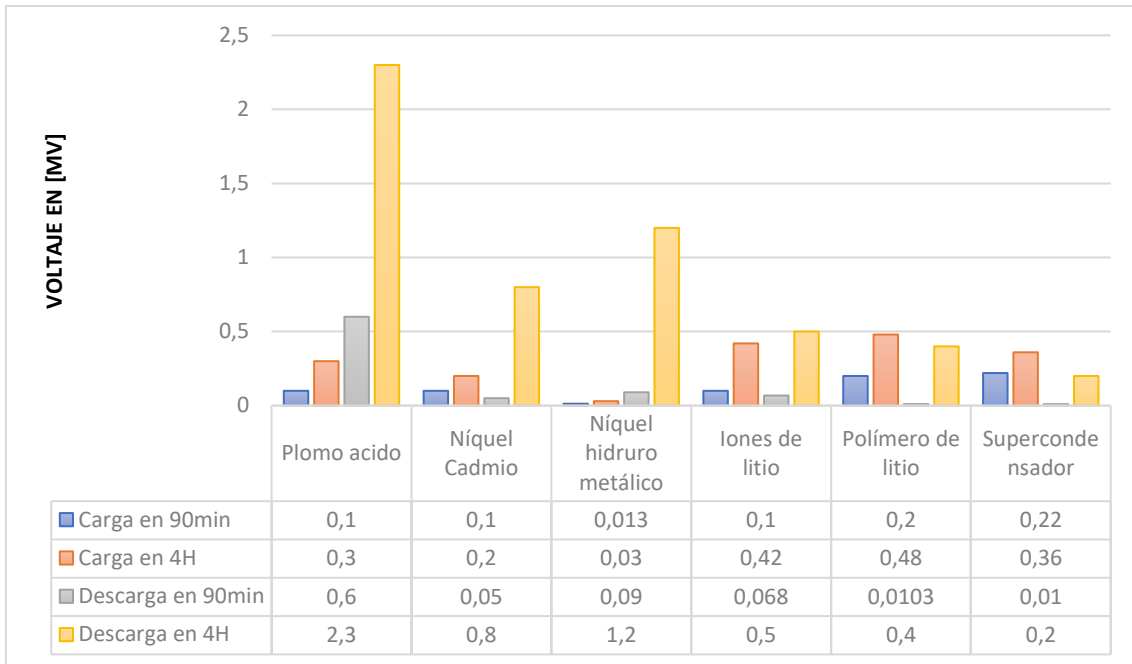


Figura 43 comparativa en diferentes tiempos de recolección

Fuente: Elaborado por el investigador

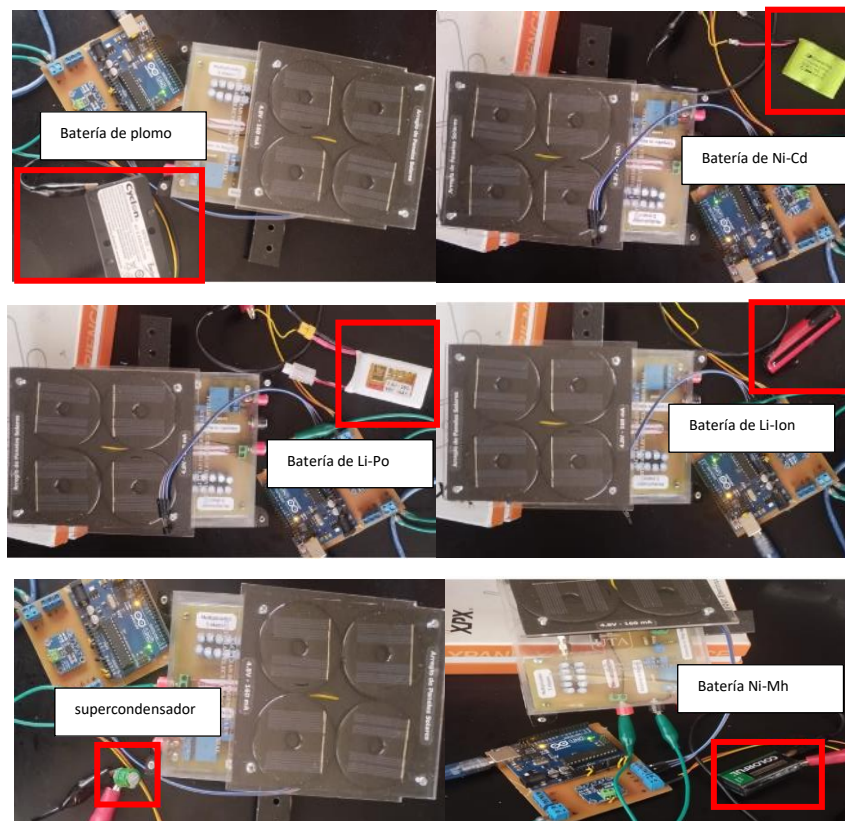


Figura 44. Registro de datos Sistema híbrido solar-radiofrecuencia

Fuente elaborado por el investigador

Como se muestra en la Figura 44 se realizo las diferentes mediciones con cada uno de las baterías escogidas, donde se tomo los datos a través de una comunicación serial entre el sensor INA219 y el Arduino.

Tabla 8. Carga y descarga de los sistemas de almacenamiento Merino

<b>Baterías</b>	<b>Carga en 90min</b>	<b>Carga en 4H</b>	<b>Descarga en 90min</b>	<b>Descarga en 4H</b>
Plomo acido	0.19mV	0.51mV	0.84mV	2.24mV
Níquel Cadmio	0.19mV	0.4mV	0.09mV	0.5mV
Níquel hidruro metálico	0.023mV	0.05 mV	0.10mV	1.5mV
Iones de litio	0.2mV	0.53 mV	0.078mV	0.5mV
Polímero de litio	0.23mV	0.62 mV	0.013mV	0.34mV
Supercondensador	0.3mV	0.4mV	0.011mV	0.25mV

Fuente: Elaborado por el investigador

La bateria de plomo sigue teniendo requisitos de carga relativamente altos y una caída de voltaje considerable durante la descarga, su capacidad de almacenamiento parece haber aumentado en comparación con los conjuntos de datos anteriores. La bateria de niquel cadmio los valores de carga y descarga siguen siendo bastante equilibrados, y esta tecnología parece haber mejorado en términos de eficiencia de carga y capacidad de descarga en comparación con los datos anteriores. La bateria Iones de litio continúa demostrando una buena eficiencia tanto en la carga como en la descarga, con una capacidad de descarga sólida en 4 horas. Níquel hidruro metálico y Polímero de litio sus valores también han aumentado en general, pero todavía están en un rango intermedio en comparación con otras tecnologías. Supercondensador sigue teniendo una alta capacidad de descarga en 4 horas con una caída de voltaje mínima, aunque sus valores de carga han aumentado un poco

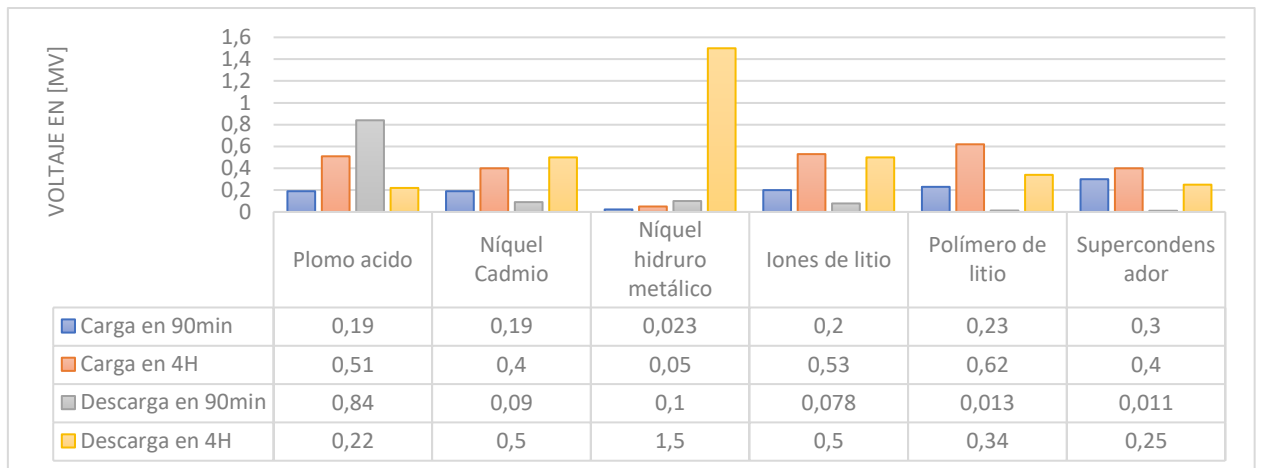


Figura 45. tabla comparativa en diferentes tiempos de recolección

Fuente: Elaborado por el investigador

Las baterías que dan un resultado favorecedor es las de litio como la de litio ion y litio polimérico también ofrece resultados óptimos los supercondensadores donde se puede observar que tiene una carga rápida y una descarga más lenta, en el caso de la batería de cadmio llega a cargarse de una manera rápida pero una vez llegado a su límite sigue cargando, pero no almacenando

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

El análisis del estado actual de los sistemas de almacenamiento se ha realizado mediante las investigaciones donde se ha identificado y examinado diversos sistemas de almacenamiento de energía que son utilizados en aplicaciones de Energy Harvesting. Entre las tecnologías más comunes, se encuentran las baterías de plomo-ácido, las baterías de iones de litio, los supercondensadores y otros tipos de baterías recargables. Cada tecnología presenta ventajas y desventajas específicas en términos de densidad de energía, densidad de potencia, ciclos de vida, costo y factores ambientales. Además, se ha constatado que la elección de la tecnología de almacenamiento de energía depende en gran medida de la aplicación específica de Energy Harvesting, también se ha considerado la importancia de la eficiencia energética, la gestión térmica y la vida útil de los sistemas de almacenamiento en las aplicaciones de Energy Harvesting.

La selección del sistema de almacenamiento óptimo para los sistemas de Energy Harvesting se basa en un análisis detallado de las características de cada tecnología en relación con las necesidades específicas del proyecto. La elección final debe considerar la eficiencia energética, el rendimiento a largo plazo y las restricciones financieras para garantizar la implementación exitosa de sistemas de Energy Harvesting en diversas aplicaciones. Para aplicaciones que requieren liberación rápida de energía y alta densidad de potencia, los supercondensadores pueden ser una elección óptima. Su capacidad para proporcionar rápidos picos de energía y su larga vida útil los hacen adecuados para situaciones donde se necesita una respuesta inmediata y frecuente. por otro lado, si la capacidad de almacenamiento a largo plazo y la autonomía son esenciales, las baterías de iones de litio serian la más óptima su alta densidad de energía y la capacidad de retener la carga durante períodos prolongados hacen que sean ideales para sistemas que requieren una recolección constante de energía y una entrega intermitente.

Las simulaciones del comportamiento de los sistemas de almacenamiento seleccionados en el programa Matlab se obtuvo información valiosa sobre el rendimiento energético, la eficiencia de los sistemas de almacenamiento escogidos, se ha podido identificar posibles desafíos y optimizaciones potenciales para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los



sistemas, el resultado de estas simulaciones proporciona una visión más clara y precisa del comportamiento de los sistemas de almacenamiento en condiciones prácticas y ayuda a tomar decisiones informadas sobre la configuración óptima, la gestión de la energía.

La simulación en Matlab muestra la parametrización del comportamiento de carga y descarga de unas baterías. En los sistemas de almacenamiento interviene la implementación de instrumentación y sensores adecuados para evaluar se ha recopilado datos detallados sobre el rendimiento de los sistemas de almacenamiento en términos de eficiencia, tiempo de carga, tiempo de descarga, autonomía y otros parámetros relevantes. Estos datos han sido analizados y comparados con las expectativas teóricas y los modelos previamente simulados.

#### **4.2. Recomendaciones**

Los sistemas de almacenamiento son fundamentales para la captación de energía, pero es esencial considerar tanto su viabilidad técnica como económica para optimizar su utilización. Por lo tanto, resulta recomendable llevar a cabo un estudio que involucre diversos sistemas de almacenamiento con distintas características operativas.

Los investigadores que deseen realizar investigaciones futuras deben prestar atención a los valores de carga mínima, máxima, así como de descarga mínima y máxima de cada sistema de almacenamiento. Esto es crucial para prevenir daños y garantizar la vida útil de baterías y supercondensadores.

En los sistemas de captación de energía (Energy Harvesting), es fundamental regular el voltaje para lograr un almacenamiento eficiente y asegurar la protección de los sistemas de almacenamiento, prolongando así su durabilidad. La incorporación de supercondensadores de grafeno se presenta como una alternativa para reemplazar las baterías, especialmente en lo que respecta a la movilidad. Estos supercondensadores ofrecen una carga y almacenamiento veloz, lo que podría revolucionar los sistemas convencionales de uso cotidiano.

Los sistemas de almacenamiento actualmente disponibles en el mercado se basan en la tecnología existente. Sin embargo, se está implementando una gama creciente de tecnologías para el almacenamiento, permitiendo operar en diversos regímenes de energía. La adopción de distintas tecnologías puede solucionar problemas que actualmente existen en este campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Rojas y J. Gómez, «Energy harvesting para sensores inalámbricos.,» Pontifica Universidad Javeriana, Bogota, 2014.
- [2] H. Romero, J. Ambriz, G. Espinosa y A. Fernández, «Almacenamiento de la energia,» Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico, 2010.
- [3] L. Grande, V. Teja, D. Wei, C. Bower, P. Andrew y T. Ryhänen, «Graphene for energy harvesting/storage devices and printed electronics,» Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, UK, UK, 2012.
- [4] M. Casanova, «Sistema de cosecha de energia para sistemas electronicos autonomos,» Escuela superior de Ciencias Experimentales y Tecnologia, Madrid, España, 2012.
- [5] J. Cristobal, «Estudios de aplicacion optima de baterias de flujo en redes de distribucion electrica,» Universidad Carlos III de Madrid escuela politécnica superior, MAdrid, España, 2015.
- [6] E. Alarcón, J. Andrade, J. Solís y V. Kirma, «Vibration energy harvester,» Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Quito, Ecuador, 2021.
- [7] E. Freire, «Antenas logaritmicas para aplicacion de captacion de energia eletromagnetica,» Universidad tecnica de Ambato, AMBATO, 2021.
- [8] L. Caller y C. Mallma, «"Diseño de un sistema de energy harvesting para la recuperación de energía en la industria",» Universidad Tecnologica del Peru, Lima, 2019.
- [9] T. Yan, T. Li, J. Xu, J. Chao, R. Wang, Aristov y Y. Murthy, «Ultrahigh-energy-density sorption thermal battery enabled by graphene aerogel-based composite sorbents for thermal energy harvesting from air.,» ACS Energy Letters, vol. 6, nº 5, pp. 1795-1802, 2021.
- [10] M. Casanova Gómez, «Sistemas de cosecha de energía para sistemas electrónicos autónomos,» Universidad Rey Juan Carlos, España, 2014.
- [11] A. Fernandez Ramos, «Energy Harvesting: Una técnica para generar energía,» Universida Autonoma de Madrid Escuela Politecnica Superior, Madrid, 2017.
- [12] J. Jiménez, J. Fruto, D. Alonso y M. Vázquez, «Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting = Piezoelectric business optimization for use in energy systems harvesting,» Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, vol. 54, nº 6, pp. 247-253, 2015.
- [13] R. Calio, U. Bhaskar Rongala, D. Camboni, M. Milazzo, C. Stefanini, G. De Petris y M. O. Calogero, «Piezoelectric Energy Harvesting Solutions,» Sensors, pp. 4755-4790, 2014.
- [14] F. A. Rubio Jiménez, «Análisis del estado actual de la tecnología Energy Harvesting (Recolectores de energía) basados en piezoelectricidad,» 2018.

- [15] F. Salazar, M. Nuñez, J. Cuji y C. Gordon, «Arquitectura de sistemas de captacion de energia,» Universidad Tecnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [16] D. Pillajo y C. Gordon, «Sistemas de captacion de energia de RF basado en matriz de rectennas dipolos logaritmicas espirales,» Universidad Tecnicas de Ambato, Ambato, 2022.
- [17] M. Valle y C. Gordon, «Sistema de cosecha y alamacenamiento de energia con sistemas de rectennas y celdas fotovoltaicas para dispositivos inalambricos IoT de baja potencia,» Universidad Tecnica de Ambato, Amabto, 2022.
- [18] J. Anguera y A. Perez, Teoria de Antena, Barcelona: Universidad Ramon Llull, 2008.
- [19] «Superseded by 145-1993. Definitions of terms in the field of antennas are provided.,» IEEE, pp. 1-31, 1983.
- [20] N. Waghmare y R. Argelwar, «High Voltage Generation by using Cockcroft,» International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), pp. 256-259, 2015.
- [21] B. J. Cerquera Zambrano y D. S. Blanco Ibañez, «Diseño y simulacion de uan rectenna para cosecha de energia electromagnetica a 2.4 GHZ.,» UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, Bogota, 2020.
- [22] «Revisión del estado del arte de las baterías en aplicaciones de automoción,» Enfoque UTE, pp. 166-176, 2018.
- [23] A. Ahmad y A. Mohammad, «Graphene-based phase change composites for energy harvesting and storage: State of the art and future prospects,» Department of Materials and Polymer Engineering, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, Canada, 2019.
- [24] Técnica Salgar, «Capacitores de Potencia de alta tencion,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://salgar.com/tienda/capacitores-de-potencia-alta-tension/>.
- [25] <https://www.serviaire.com/>, «Almacenamiento de energía por aire comprimido,» 25 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.serviaire.com/almacenamiento-de-energia-por-aire-comprimido/>.
- [26] R. Estévez, «Almacenar energía comprimiendo aire,» ecointeligencia , 2013.
- [27] J. Enseñat, «El almacenamiento hidraulico centrales reversibles,» Comité Técnico de Presas y Energía. SPANCOLD, Madrid, 2021.
- [28] C. Orellana, L. González y N. Abreu Sousa, «Control de un sistema de energía basado en volantes de inercia para mitigar los huecos de tensión en el punto de conexión común.,» Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, vol. 24, pp. 49-58, 2020.
- [29] E. Cueva, J. Lucero, A. Guzmán, J. Rocha y L. Espinoza, «Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices.,» vol. 9, nº 1, pp. 166-176, 2018.

- [30] M. A. Kazimierski, «Almacenamiento energético frente al inminente paradigma renovable: el rol de las baterías ion-litio y las perspectivas sudamericanas.,» *Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, vol. 23, pp. 108-132, 2018.
- [31] I. Buchmann, «batteryuniversity,» 2022. [En línea]. Available: <https://batteryuniversity.com/article/bu-302-configuraciones-de-bater%C3%ADas-en-serie-y-paralelo>.
- [32] J. de Kuyper, «Principios y Aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías,» 2018.
- [33] D. Gutiérrez, H. Guillén, T. López y J. Huerta, «Comportamiento energético de los parámetros presentes en baterías de níquel-cadmio utilizando instrumentación virtual.,» *Miscelánea Científica en México*, p. 61, 2020.
- [34] M. Cordova, «Comportamiento de Baterías de NiCd,» *Miselaña de Mexico*, 2018.
- [35] C. Júnior, «Modelo para simulación de descargas de baterías de Níquel-Cadmio,» Instituto Tecnológico de Aeronáutica., 2010.
- [36] Wolfram, «WolframComputation Meets Knowledge,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.wolfram.com/system-modeler/>.
- [37] EA ELEKTRO-AUTOMATIK GMBH & CO. KG, «<https://elektroautomatik.com/>,» 2022. [En línea]. Available: <https://elektroautomatik.com/shop/en/service/downloads/ea-battery-simulator/>.
- [38] Addlink Software Científico, S.L., «<https://www.addlink.es/>,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.addlink.es/x/productos/maplesim#descripcion>.
- [39] E. Cuevas, D. Zaldivar y M. Perez Cisneros, *Procesamiento digital de imágenes con MatLAB y SIMULINK*, Mexico: Alfaomega & RA-MA, 2010.
- [40] F. Jiménez y J. y. V. M. Frutos, «Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting,» Departamento de Telemática y Electrónica - ETSIST-UPM,, Madrid, España, 2015.
- [41] M. A. Andersson, A. Özçelikkale, M. Johansson, U. Engström, A. Vorobiev y J. Stake, «Feasibility of ambient RF energy harvesting for self-sustainable M2M communications using transparent and flexible graphene antennas.,» *IEEE*, vol. 4, pp. 5850-5857, 2016.
- [42] J. Chunchi y M. Espinoza, «Diseño y construcción del sistema de regeneración de energía y acumulación por supercondensadores para una bicicleta,» Universidad Del Azuay, Cuenca, 2015.

## ANEXO

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;

float Sensibilidad=-0.787; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor

float offset=0.00; // Equivale a la amplitud del ruido

float v1; //Voltaje

float v2; //Corriente

float v3; //Temperatura

float va1; //Voltaje

float va2; //Corriente

float va3; //Temperatura

int i; // para linealizar datos

int muestras;

void setup() {

  v1 = 0;  v2 = 0; v3 = 0;

  muestras = 1000 ; i=0;

  //-----inicializar comunicación serial e I2C--

  Serial.begin(9600);

  while (!Serial) {
```

```

// will pause Zero, Leonardo, etc until serial console opens

delay(1);

}

// Initialize the INA219.

// By default the initialization will use the largest range (32V, 2A). However
// you can call a setCalibration function to change this range (see comments).
if (! ina219.begin()) {

  Serial.println("Failed to find INA219 chip");

  while (1) { delay(10); }

}

Serial.println("LABEL,Hora,Voltaje,Corriente,Temperatura");

}

// the loop routine runs over and over again forever:

void loop() {

  //-----Variables para el sensor de corriente-----

  float shuntvoltage = 0;

  float busvoltage = 0;

  float current_mA = 0;

  float loadvoltage = 0;

  //-----Sensor de voltaje y corriente-----

  shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();

  busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();

  current_mA = ina219.getCurrent_mA();

```

```

//power_mW = ina219.getPower_mW();

loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);

v1= loadvoltage;

v2 = current_mA;

//-----Obtener temperatura-----

//v1 = (analogRead(A0)*5.0)/1023.0;           // Voltaje

float millivolts = (analogRead(A0)*5000.0)/1023.0; // Temperatura

float celsius = millivolts / 10;           // Temperatura

v3 = celsius;                             // Temperatura

//-----Linealización-----

//-----

if ( i == muestras){

    v1 = va1/muestras;

    v2 = va2/muestras;

    v3 = va3/muestras;

    Enviar ();

}else{

    va1 += v1;

    va2 += v2;

    va3 += v3;

    i ++;

}

```

```
}  
  
void Enviar(){ //CODIGO PARA ENVIAR LOS 3 VALORES  
  
Serial.print("DATA,TIME,");  
  
Serial.print(v1,3);Serial.print(",");  
  
Serial.print(v2);Serial.print(",");  
  
Serial.println(v3);  
  
i =0;  
  
va1=0;  
  
va2=0;  
  
va3=0;  
  
}
```



## Zero-Drift, Bi-Directional CURRENT/POWER MONITOR with I<sup>2</sup>C Interface

Check for Samples: INA219

### FEATURES

- SENSES BUS VOLTAGES FROM 0V TO +26V
- REPORTS CURRENT, VOLTAGE, AND POWER
- 16 PROGRAMMABLE ADDRESSES
- HIGH ACCURACY: 0.5% (Max) OVER TEMPERATURE (INA219B)
- FILTERING OPTIONS
- CALIBRATION REGISTERS
- SOT23-8 AND SO-8 PACKAGES

### APPLICATIONS

- SERVERS
- TELECOM EQUIPMENT
- NOTEBOOK COMPUTERS
- POWER MANAGEMENT
- BATTERY CHARGERS
- WELDING EQUIPMENT
- POWER SUPPLIES
- TEST EQUIPMENT

### DESCRIPTION

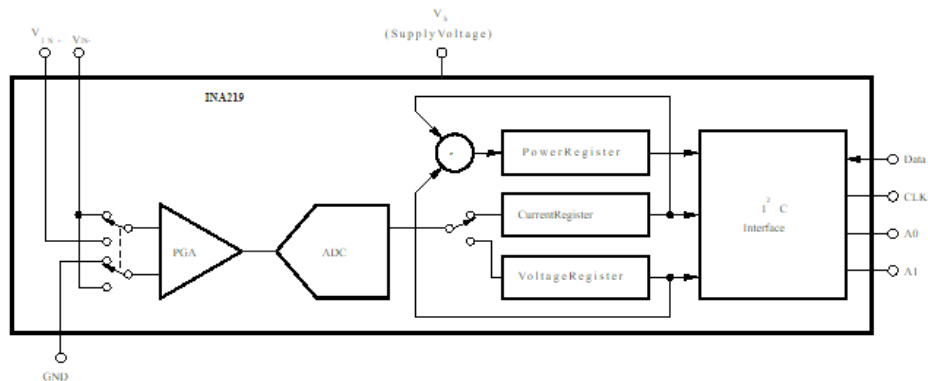
The INA219 is a high-side current shunt and power monitor with an I<sup>2</sup>C interface. The INA219 monitors both shunt drop and supply voltage, with programmable conversion times and filtering. A programmable calibration value, combined with an internal multiplier, enables direct readouts in amperes. An additional multiplying register calculates power in watts. The I<sup>2</sup>C interface features 16 programmable addresses.

The INA219 is available in two grades: A and B. The B grade version has higher accuracy and higher precision specifications.

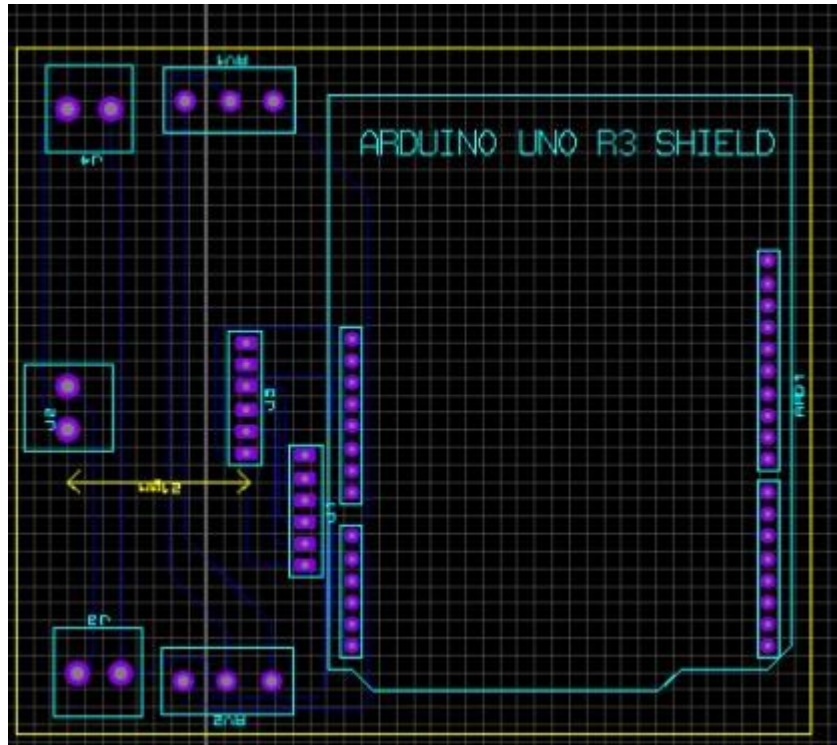
The INA219 senses across shunts on buses that can vary from 0V to 26V. The device uses a single +3V to +5.5V supply, drawing a maximum of 1mA of supply current. The INA219 operates from -40°C to +125°C.

### RELATED PRODUCTS

DESCRIPTION	DEVICE
Current/Power Monitor with Watchdog, Peak-Hold, and Fast Comparator Functions	INA209
Zero-Drift, Low-Cost, Analog Current Shunt Monitor Series in Small Package	INA210, INA211, INA212, INA213, INA214



Anexo 1 Datasheet INA219



Anexo 2. Pistas del medidor de carga y descarga de baterías

Hora	Voltaje	Corriente	Temperatura
13:00:54	7.65	0.14	27.6
13:00:57	7.65	0.14	27.6
13:00:59	7.65	0.14	27.6
13:01:02	7.65	0.15	27.61
13:01:04	7.65	0.14	27.6
13:01:07	7.65	0.14	27.6
13:01:09	7.65	0.15	27.61
13:01:11	7.65	0.15	27.59
13:01:14	7.65	0.15	27.58
13:01:16	7.65	0.15	27.57
13:01:19	7.65	0.14	27.59
13:01:21	7.65	0.14	27.59
13:01:24	7.65	0.13	27.6
13:01:26	7.65	0.14	27.62
13:01:29	7.65	0.14	27.64
13:01:31	7.65	0.14	27.65
13:01:34	7.65	0.14	27.65
13:01:36	7.65	0.15	27.65

Anexo 3. Registro de datos

Hora	Voltaje	Corriente	Temperatura
12:43:04	8.84	0.16	29.58
12:43:06	8.84	0.15	29.58
12:43:09	8.84	0.15	29.6
12:43:11	8.84	0.15	29.57
12:43:14	8.84	0.14	29.58
12:43:16	8.84	0.15	29.59
12:43:19	8.84	0.16	29.59
12:43:21	8.84	0.15	29.6
12:43:24	8.84	0.15	29.6
12:43:26	8.84	0.15	29.59
12:43:29	8.84	0.15	29.62
12:43:31	8.84	0.16	29.61
12:43:33	8.84	0.15	29.58
12:43:36	8.84	0.15	29.6
12:43:38	8.84	0.15	29.6
12:43:41	8.84	0.15	29.61
12:43:43	8.84	0.14	29.59
12:43:46	8.84	0.15	29.62
12:43:48	8.84	0.14	29.62
12:43:51	8.84	0.15	29.63
12:43:53	8.84	0.15	29.62
12:43:56	8.84	0.14	29.62

Anexo 4 Registro de datos

Hora	Voltaje	Corriente	Temperatura
10:10:45	8.25	0.14	24.35
10:10:47	8.25	0.14	24.37
10:10:50	8.25	0.14	24.37
10:10:52	8.25	0.13	24.39
10:10:55	8.25	0.14	24.33
10:10:57	8.25	0.14	23.92
10:11:00	8.25	0.13	26.39
10:11:02	8.25	0.14	24.39
10:11:04	8.25	0.14	24.21
10:11:07	8.25	0.14	24.25
10:11:09	8.25	0.14	24.2
10:11:12	8.25	0.15	24.18
10:11:14	8.25	0.15	24.17
10:11:17	8.25	0.14	24.18
10:11:19	8.25	0.15	24.18
10:11:22	8.26	0.14	24.19
10:11:24	8.26	0.15	24.17
10:11:27	8.26	0.14	24.18
10:11:29	8.26	0.15	24.17
10:11:32	8.26	0.15	24.15
10:11:34	8.26	0.14	24.13
10:11:36	8.26	0.15	24.14
10:11:39	8.26	0.15	24.15

Anexo 5. Registro de datos

Hora	Voltaje	Corriente	Temperatura
9:35:21	1.63	0.07	19.64
9:35:23	1.65	0.08	19.63
9:35:26	1.67	0.08	19.64
9:35:28	1.70	0.08	19.61
9:35:31	1.72	0.08	19.62
9:35:33	1.75	0.08	19.62
9:35:35	1.77	0.08	19.61
9:35:38	1.80	0.08	19.61
9:35:40	1.83	0.08	19.62
9:35:43	1.85	0.08	19.63
9:35:45	1.87	0.09	19.62
9:35:48	1.89	0.09	19.64
9:35:50	1.91	0.09	19.63
9:35:53	1.93	0.08	19.62
9:35:55	1.95	0.09	19.64
9:35:58	1.98	0.09	19.64
9:36:00	2.00	0.09	19.64
9:36:02	2.02	0.08	19.66
9:36:05	2.05	0.09	19.66
9:36:07	2.08	0.09	19.65
9:36:10	2.11	0.09	19.65
9:36:12	2.14	0.07	19.66
9:36:15	2.17	0.06	19.65

Anexo 6. Registro de datos

Hora	Voltaje	Corriente	Temperatura
16:55:55	3.37	0.07	20.96
16:55:57	3.36	0.07	20.96
16:56:00	3.36	0.07	20.95
16:56:02	3.36	0.07	20.94
16:56:05	3.36	0.07	20.94
16:56:07	3.36	0.07	20.94
16:56:09	3.36	0.07	20.94
16:56:12	3.36	0.07	20.92
16:56:14	3.35	0.06	20.92
16:56:17	3.35	0.06	20.93
16:56:19	3.35	0.07	20.96
16:56:22	3.35	0.07	20.92
16:56:24	3.35	0.07	20.91
16:56:27	3.35	0.08	20.92
16:56:29	3.35	0.08	20.92
16:56:32	3.34	0.08	20.94
16:56:34	3.34	0.07	20.93
16:56:36	3.34	0.07	20.91
16:56:39	3.34	0.08	20.91
16:56:41	3.34	0.07	20.93
16:56:44	3.34	0.07	20.93
16:56:46	3.34	0.07	20.92
16:56:49	3.33	0.07	20.94

Anexo 7. Registro de datos

Hora	Voltaje	Corriente	Temperatura
21:25:15	3.90	0.09	18.30
21:25:18	3.90	0.09	18.32
21:25:20	3.90	0.09	18.33
21:25:23	3.90	0.09	18.30
21:25:25	3.89	0.09	18.30
21:25:28	3.89	0.10	18.31
21:25:30	3.89	0.09	18.32
21:25:33	3.88	0.09	18.30
21:25:35	3.88	0.09	18.36
21:25:38	3.88	0.09	18.30
21:25:40	3.88	0.09	18.32
21:25:42	3.87	0.09	18.30
21:25:45	3.87	0.10	18.31
21:25:47	3.87	0.09	18.31
21:25:50	3.86	0.09	18.30
21:25:52	3.86	0.09	18.30

Anexo 8. Registro de datos

**5. BASIC CHARACTERISTICS**

5.1 Capacity (25±5℃)	Nominal Capacity: 2600mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Typical Capacity: 2550mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Minimum Capacity: 2500mAh (0.52A Discharge, 2.75V)
5.2 Nominal Voltage	3.7V
5.3 Internal Impedance	≤ 70mΩ
5.4 Discharge Cut-off Voltage	3.0V
5.5 Max Charge Voltage	4.20±0.05V
5.6 Standard Charge Current	0.52A
5.7 Rapid Charge Current	1.3A
5.8 Standard Discharge Current	0.52A
5.9 Rapid Discharge Current	1.3A
5.10 Max Pulse Discharge Current	2.6A
5.11 Weight	46.5±1g
5.12 Max. Dimension	Diameter(Ø): 18.4mm Height (H): 65.2mm
5.13 Operating Temperature	Charge: 0 ~ 45℃ Discharge: -20 ~ 60℃
5.14 Storage Temperature	During 1 month: -5 ~ 35℃ During 6 months: 0 ~ 35℃

**6. Standard conditions for test**

All the tests need to be done within one month after the delivery date under the following conditions :  
 Ambient Temperature: 25±5℃; Relative Humidity: 65±20%

Standard Charge	Constant Current and Constant Voltage (CC/CV) Current = 0.52A Final charge voltage = 4.2V Final charge Current = 0.052A
Standard Discharge	Constant Current (CC) Current = 0.52A End Voltage = 3.0V

Anexo 9 Datasheet de Bateria de litio

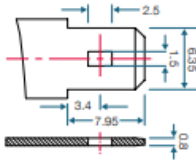
# PS-445

4V 4.5 AH @ 20-hr.  
4V 4.2 AH @ 10-hr.

Rechargeable Sealed Lead Acid Battery  
PS – General Purpose Series

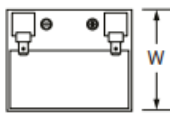
## TERMINALS: (mm)

F2: Quick disconnect tabs,  
0.250" x 0.032" – Mate with  
AMP. INC FASTON "250" series



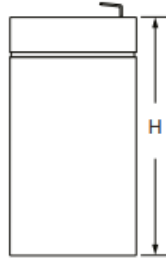
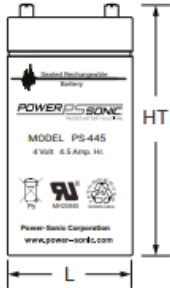
Torque – Not Applicable

## DIMENSIONS: inch (mm)



L: 1.89 (48)  
W: 2.09 (53)  
H: 3.70 (94)  
HT: 3.86 (98)

Tolerances are +/- 0.04 in. (+/- 1mm) and +/- 0.08 in. (+/- 2mm) for height dimensions. All data subject to change without notice.



## CORPORATE HEADQUARTERS (USA AND INTERNATIONAL EXCLUDING EMEA)

**Power-Sonic Corporation**  
7550 Panasonic Way, San Diego,  
California 92154  
T: +1 (619) 661 2020  
F: +1 (619) 661 3650  
E: customer-service@power-sonic.com

## POWER-SONIC EUROPE LIMITED (EMEA – EUROPE, MIDDLE EAST AND AFRICA)

3 Buckingham Square,  
Hurricane Way, Wickford,  
Essex SS11 8YQ  
T: +44 (0)1268 560686  
F: +44 (0)1268 560902  
E: salesEMEA@power-sonic.com

To ensure safe and efficient operation always refer to the latest edition of our Technical Manual, as published on our website.  
© 2018, Power-Sonic Corporation. All rights reserved. All trademarks are the property of their respective owners.  
All data subject to change without notice. E&O E

## FEATURES

- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for superior performance
- Valve regulated, maintenance free spill proof construction
- Power/volume ratio yielding excellent energy density
- Rugged vibration and impact resistant ABS case and cover
- Gas recombination technology
- 5 year design life

## APPROVALS

- Approved for transport by air. D.O.T., I.A.T.A., F.A.A. and C.A.B. certified
- U.L. recognized
- ISO9001:2015 – Quality management systems

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS

<b>Nominal Voltage</b>	4 volts (2 cells)
<b>Nominal Capacity</b>	
20-hr. (225mA to 3.50 volts)	4.5 AH
10-hr. (420mA to 3.50 volts)	4.2 AH
5-hr. (765mA to 3.40 volts)	3.8 AH
1-hr. (2.7A to 3.00 volts)	2.7 AH
<b>Approximate Weight</b>	1.30 lbs. (0.59 kg)
<b>Internal Resistance (approx.)</b>	15.0 milliohms
<b>Max Short-Duration Discharge Current (10 Sec.)</b>	45.0 amperes
<b>Shelf Life</b> (% of nominal capacity at 68°F (20°C))	
1 Month	97%
3 Month	91%
6 Month	83%
<b>Operating Temperature Range</b>	
Charge	5°F (-15°C) to 122°F (50°C)
Discharge	-4°F (-20°C) to 140°F (60°C)
<b>Case</b>	ABS Plastic
<b>Power Sonic Chargers</b>	3 batteries in series with PSC-12500A-C PSC-12500-PC

power-sonic.com

Anexo 10. Datasheet de Bateria de plomo