



## ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo Integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz.**

**AUTORES:**

Daniel I. Ortuño  
Alexander X. Arias

**DIRECTOR:**

MSc. Eduardo J. Cueva

**TUTOR:**

MSc. Eduardo J. Cueva

REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS QUE HAN CUMPLIDO SU PRIMERA VIDA ÚTIL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual de la investigación denominada: “REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS QUE HAN CUMPLIDO SU PRIMERA VIDA ÚTIL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA” a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicada y divulgada en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.



Daniel I. Ortuño



Alexander X. Arias

**Certificación / Acuerdo de Confidencialidad**

DECLARAMOS QUE

La investigación denominada: “REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS QUE HAN CUMPLIDO SU PRIMERA VIDA ÚTIL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA” se desarrolló con base en la investigación integral y responsable de los autores, de libros e investigaciones, respetando los derechos intelectuales de terceras personas que son citados de acuerdo con las fuentes bibliográficas presentes.

De acuerdo con el proyecto de titulación presentado se afirma que el trabajo es indiscutiblemente de nuestra autoría y sistemáticos en la guía de nuestro docente tutor asignado.

Indudablemente, nos responsabilizamos del contenido completo de la investigación presentada a continuación.



Daniel I. Ortuño

CC. 1716912538



Alexander X. Arias

CC. 1722164017

**Aprobación del Tutor**

Yo, Eduardo J. Cueva, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo los responsables exclusivos tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

.....

---

DIRECTOR DE TESIS

### **Dedicatoria**

A mis padres, hermanos y pareja, con profundo y sincero amor y admiración.

**Daniel Ignacio Ortuño Cevallos**

A mi amada esposa Elizabeth Flores, quien ha sido mi compañera de vida, mi fuente constante de apoyo y mi mayor inspiración. A mis adorados hijos Danna y Keylor, ustedes son la luz de mi vida y la razón por la que siempre he buscado superarme. A mis padres Daniel Arias y Magaly Mediavilla, su comprensión y sus sacrificios han sido la base de mi formación.

**Alexander Xavier Arias**

### **Agradecimiento**

A mis padres y hermanos, quienes son mi razón de ser y a quienes me debo.

**Daniel Ignacio Ortuño Cevallos**

Agradezco sinceramente a la "Universidad Internacional del Ecuador" por brindarme la invaluable oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución. En segundo lugar, deseo expresar mi profunda gratitud a mi querida esposa y a mis padres, quienes han sido mi apoyo, pilares y guías incondicionales

**Alexander Xavier Arias**

## Índice General

<i>Certificación / Acuerdo de Confidencialidad</i> .....	2
<i>Aprobación del Tutor</i> .....	3
<i>Dedicatoria</i> .....	4
<i>Agradecimiento</i> .....	5
<i>Índice General</i> .....	6
<i>Índice De Tablas</i> .....	9
<i>Índice De Figuras</i> .....	10
<i>Índice De Ecuaciones</i> .....	11
<i>Resumen</i> .....	12
<i>Abstract</i> .....	13
<i>Capítulo I</i> .....	14
<i>Introducción</i> .....	14
<i>Antecedentes</i> .....	15
<i>Planteamiento del Problema</i> .....	15
<i>Formulación del Problema</i> .....	16
<i>Sistematización del Problema</i> .....	16
<i>Justificación del Problema</i> .....	16
<i>Justificación Teórica</i> .....	16
<i>Justificación Metodológica</i> .....	16
<i>Delimitación del Problema</i> .....	17
<i>Delimitación Temporal</i> .....	17
<i>Delimitación Geográfica</i> .....	17
<i>Delimitación de Contenido</i> .....	17
<i>Objetivos de Investigación</i> .....	17
<i>Objetivo General</i> .....	17
<i>Objetivos Específicos</i> .....	17
<i>Capítulo II</i> .....	19

<i>Marco Teórico</i> .....	19
Baterías de Iones de Litio .....	19
<i>Fundamentos</i> .....	19
<i>Degradación y Vida Útil</i> .....	21
<i>Propiedades</i> .....	25
<i>Oportunidad de reutilización</i> .....	30
Sistema de Almacenamiento de Energía fotovoltaica en Baterías PV-BESS .....	31
<i>Integración del Subsistema fotovoltaico en el BESS</i> .....	32
<i>Integración de las baterías de iones de litio en el PV-BESS</i> .....	33
<i>Integración del subsistema de conversión de energía en el PV-BESS</i> .....	36
<i>Capítulo III</i> .....	38
<i>Materiales y Métodos</i> .....	38
Materiales .....	38
<i>Baterías de Iones de Litio</i> .....	38
<i>Paneles Solares</i> .....	39
<i>Inversor</i> .....	40
<i>Sistema de Gestión de Baterías</i> .....	41
<i>Elementos Auxiliares</i> .....	43
Métodos .....	45
<i>Diseño del subsistema de Baterías</i> .....	45
<i>Diseño del Subsistema Fotovoltáico</i> .....	47
<i>Integración del sistema PV-BESS</i> .....	48
<i>Instalación y Pruebas del Sistema</i> .....	49
<i>Capítulo IV</i> .....	54
<i>Resultados y Discusión</i> .....	54
Resultados .....	54
<i>Medición del Voltaje de las Baterías Durante la Carga</i> .....	54
<i>Voltaje y Capacidad Entregada por el Sistema Fotovoltáico</i> .....	55
<i>Medición del Voltaje de las Baterías Durante la Descarga</i> .....	56
Discusión .....	56
<i>Integridad y Capacidad de las Celdas después de un Almacenamiento Prolongado</i> .....	57
<i>Desempeño del Sistema Durante la Carga</i> .....	57

<i>Desempeño del Sistema Durante la Descarga</i> .....	59
<i>Capacidad del Sistema</i> .....	61
<i>Viabilidad económica</i> .....	61
<i>Impacto ambiental y consideraciones de sostenibilidad</i> .....	63
<i>Conclusiones</i> .....	65
<i>Recomendaciones</i> .....	67
<i>Bibliografía</i> .....	68
<i>Anexos</i> .....	74
Anexo 1: Manual de Mantenimiento del Sistema PV-BESS .....	74
Anexo 2: Manual de Operación del Sistema PV-BESS .....	76
Anexo 3: Manual de Operación del Controlador MPPT .....	78
Anexo 4: Especificaciones del Inversor JARXIOKE .....	80
Anexo 5: Manual del Controlador de Temperatura STC-3008 .....	81

## Índice De Tablas

Tabla 1. Composición del ánodo y cátodo de las baterías.....	21
Tabla 2. Voltaje Máximo y Nominal por composición de ánodo y cátodo de las baterías de iones de litio.....	28
Tabla 3. Especificaciones de las baterías de ion litio del vehículo eléctrico Kia Soul 2016.....	39
Tabla 4. Especificaciones del panel solar I-100/12.....	40
Tabla 5. Especificaciones del Inversor de Onda Pura JARXIOKE.....	41
Tabla 6. Especificaciones del MPPT Solar.....	42
Tabla 7. Especificaciones del Controlador de Temperatura STC-3008.....	43
Tabla 8. Calibre de Cable (AWG) según intensidad.....	44
Tabla 9. Especificaciones del ventilador.....	45
Tabla 10. Especificaciones del Sistema.....	48
Tabla 11. Mediciones de voltaje durante el proceso de carga.....	55
Tabla 12. Mediciones tomadas del subsistema fotovoltaico durante la carga.....	55
Tabla 13. Desempeño de descarga de las baterías bajo una carga de 50 W y 60W.....	56
Tabla 14. Resumen de Costos.....	61

**Índice De Figuras**

Figura 1. Funcionamiento de las baterías.....	22
Figura 2. Diagrama de Bloques para PV-BESS.....	37
Figura 3. Módulo de 4 Paquetes de Batería con 96 celdas de ion litio del KIA Soul 2016.....	38
Figura 4. Panel Solar ISOFOTON I-100.....	39
Figura 5. Inversor de Onda Pura.....	40
Figura 6. MPPT.....	42
Figura 7. Controlador STC-3008.....	43
Figura 8. Esquema del arreglo mixto del módulo de batería.....	46
Figura 9. Esquema del arreglo en paralelo del módulo fotovoltaico.....	47
Figura 10. Circuito del PV-BESS.....	49
Figura 11. Ubicación del Sistema en la Escuela de Ingeniería Automotriz.....	49
Figura 12. Arreglo de los Paneles Solares.....	50
Figura 13. Serie de 3 celdas.....	51
Figura 14. Configuración de 6 Ramales Paralelos de 3 Celdas en Serie.....	52
Figura 15. PV-BESS.....	53
Figura 16. Mediciones de voltaje durante los procesos de carga.....	58
Figura 17. Voltaje de entrada y de salida del MPPT.....	59
Figura 18. Mediciones de voltaje durante los procesos de descarga.....	60

**Índice De Ecuaciones**

Ecuación 1. Capacidad.....	26
Ecuación 2. Energía Nominal.....	26
Ecuación 3. Densidad de Energía.....	27
Ecuación 4. Potencia.....	27
Ecuación 5. Densidad de Potencia.....	27
Ecuación 6. Potencia Específica.....	28
Ecuación 7. Voltaje de Carga.....	34
Ecuación 8. Tiempo de Descarga.....	35
Ecuación 9. Intensidad de Descarga.....	35
Ecuación 10. Capacidad Nominal.....	35
Ecuación 11. Estado de Carga.....	35
Ecuación 12. Profundidad de Descarga.....	35
Ecuación 13. Estado de Salud.....	35
Ecuación 14. Caída de Voltaje.....	44

## Resumen

La presente investigación aborda la implementación de las baterías de iones de litio que han cumplido con su vida útil automotriz en sistemas de almacenamiento de energía fotovoltaica en baterías (PV-BESS). Con el creciente interés global hacia la sostenibilidad, este estudio resalta la importancia de brindar una segunda vida útil a estas baterías, caracterizadas por su alta densidad energética y capacidad de ciclo profundo, lo que las hace ideales para el almacenamiento de energías renovables. El estudio analiza los parámetros necesarios para la integración efectiva de estas baterías, incluyendo la capacidad, la profundidad de descarga, la tasa de carga/descarga y la gestión térmica, resaltando la necesidad de un sistema de gestión de baterías (BMS) para optimizar su rendimiento y prolongar su vida útil. Asimismo, se discuten los desafíos técnicos y económicos, así como las oportunidades de mejorar la eficiencia. Producto de la investigación, se afirma la viabilidad técnica y ambiental de reutilizar las baterías de iones de litio de los vehículos KIA Soul (EV) del 2016 en sistemas de almacenamiento de energía fotovoltaica. Este estudio presenta una propuesta importante para la gestión de la energía y la sostenibilidad en el campo automotriz, ofreciendo una solución práctica, efectiva y viable cuyo desarrollo tiene el potencial de enfrentar los desafíos energéticos actuales y futuros.

**Palabras Clave:** Reutilización; Baterías de Iones de Litio; Vehículos Eléctricos; Sistemas de Almacenamiento de Energía Fotovoltaica en Baterías; Sostenibilidad.

### **Abstract**

This research investigates the implementation of lithium-ion batteries that have reached the end of their automotive life in photovoltaic battery energy storage systems (PV-BESS). With the growing global interest in sustainability, this study highlights the importance of giving a second life to these batteries. Due to their high energy density and deep cycle capability, they are ideal for renewable energy storage. The study analyzes the necessary parameters for the effective integration of these batteries, including capacity, depth of discharge, charge/discharge rate, and thermal management. It emphasizes the need for a battery management system (BMS) to optimize performance and extend their life cycles. Additionally, technical and economic challenges are discussed, along with opportunities to improve efficiency. The research confirms the technical and environmental feasibility of reusing lithium-ion batteries from 2016 KIA Soul (EV) vehicles in photovoltaic energy storage systems. This study presents a significant proposal for energy management and sustainability in the automotive field, offering a practical, effective, and viable solution to address current and future energy challenges.

**Keywords:** Reuse; Lithium-Ion Batteries; Electric Vehicles; Photovoltaic Battery Energy Storage Systems; Sustainability.

## **Capítulo I**

### **Introducción**

De la mano con el desarrollo, la demanda energética a nivel global se ha encontrado en continuo crecimiento a un ritmo de entre el 1% y el 2% anual, al igual que el interés por el aprovechamiento de energías alternativas sostenibles. En este contexto, el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía que implementan la reutilización de baterías de iones de litio que han cumplido con su vida útil en vehículos híbridos se planteó como una alternativa para el aprovechamiento de energías limpias (Ritchie, Rosado, & Roser, 2024).

El contexto nacional ecuatoriano se encuentra actualmente marcado por una crisis energética oficialmente reconocida por el Ministerio de Energía y Minas el 16 de abril de 2024, y ratificada el 8 de mayo del mismo año por el Poder Ejecutivo del Estado. La crisis ha derivado en racionamientos de energía que se deben a la escasez de lluvias que afectan a la generación hidroeléctrica. En este contexto, se requiere de propuestas alternativas en el ámbito energético, viables también para zonas periféricas desprovistas o con acceso eléctrico limitado (Ecuador, 2024).

La presente investigación fue desarrollada en la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) en la provincia de Pichincha - Ecuador. En ella se analizó y desarrolló la implementación de un Sistema de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS por sus siglas en inglés) implementando el uso de baterías de iones de litio que han cumplido con su primera vida útil en los vehículos KIA Soul EV del 2016, viabilizando de esta manera una alternativa práctica y efectiva que, además de alinearse con políticas públicas de desarrollo sostenible, contribuye a mitigar los efectos adversos de la contaminación debida al desecho inadecuado de estas baterías.

## **Antecedentes**

### ***Planteamiento del Problema***

El desarrollo de la industria automotriz se ha visto pautado en los últimos años por la sostenibilidad que, considerando las preocupaciones ambientales junto con el desarrollo económico, las Naciones Unidas la han definido como *"satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias"* (Naciones Unidas, 2024).

En la actualidad, la gestión sostenible de las baterías de vehículos eléctricos después de haber cumplido con su vida útil automotriz es un tema de interés para la industria. En este contexto, se ha observado que durante los últimos años se ha hecho énfasis en el aprovechamiento de las energías renovables, como la fotovoltaica, debido a la creciente demanda energética ligada a la dificultad de generación y acceso a las fuentes de energía tradicionales (Medina Catay, 2021, p. 28).

En efecto, con el interés sobre el aprovechamiento de las energías renovables, se ha visto impulsado el desarrollo de los Sistemas de Almacenamiento de Energía (ESS por sus siglas en inglés), en los cuales se ha adoptado a las baterías como su unidad de almacenamiento por excelencia, conociéndose hoy en día como Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías. Sin embargo, la implementación de las baterías de iones de litio en estos sistemas se ha vuelto renuente debido a su elevado costo.

La implementación de las baterías de iones de litio que han cumplido con su vida útil automotriz representa una oportunidad de gestión sostenible en el desarrollo de los sistemas de almacenamiento de energía. La viabilidad y eficiencia de esta oportunidad, implica abordar los desafíos técnicos, económicos y ambientales de su implementación.

### ***Formulación del Problema***

¿Cómo implementar de manera efectiva el uso de las baterías de iones de litio de vehículos eléctricos en Sistemas de Almacenamiento de Energía Fotovoltaica en Baterías con la capacidad de proveer 2,500 watts (W) de potencia considerando los desafíos técnicos, económicos y ambientales que presenta?

### ***Sistematización del Problema***

El presente trabajo de investigación propuso el aprovechamiento de baterías de iones de litio que han cumplido con su vida útil automotriz, en sistemas de almacenamiento de energía que permitan satisfacer una demanda máxima de 2,500 W. Para ello, se revisaron los aspectos técnicos del sistema, con énfasis en las baterías de ion litio, así como los aspectos económicos y ambientales de su implementación.

### **Justificación del Problema**

#### ***Justificación Teórica***

El desarrollo de un sistema de almacenamiento de energía que implementen el aprovechamiento de baterías de ion litio que han cumplido con su vida útil en vehículos eléctricos representa una propuesta que responde a dos problemáticas actuales: la gestión sostenible de las baterías de ion litio que han cumplido con su vida útil automotriz y las dificultades de los métodos tradicionales de almacenamiento de energía para satisfacer la creciente demanda actual.

#### ***Justificación Metodológica***

El análisis y desarrollo del sistema propuesto se fundamenta en una investigación cuantitativa que comprendió en primer lugar la revisión de bibliografía relevante, luego de lo cual se procedió con el análisis de los datos sobre el estado actual y requerido de las baterías.

Posteriormente, se dimensionó y diseñó el sistema, y finalmente se evaluó su desempeño, así como su viabilidad económica y ambiental.

## **Delimitación del Problema**

### ***Delimitación Temporal***

El estudio se desarrolló durante el periodo académico de marzo a julio de 2024, privilegiando el uso de material bibliográfico relevante publicado durante los últimos 10 años.

### ***Delimitación Geográfica***

El estudio fue desarrollado en el Laboratorio de Baterías de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz, Facultad de Ciencias Técnicas del campus matriz de la UIDE en Quito.

### ***Delimitación de Contenido***

El trabajo de investigación se enfocó en la elaboración de un Sistema de Almacenamiento de Energía en Baterías que implemente el uso de las baterías de iones de litio que han cumplido con su vida útil en los vehículos KIA Soul EV del 2016 con capacidad para suministrar hasta 2,500 W de potencia.

## **Objetivos de Investigación**

### ***Objetivo General***

Desarrollar un BESS capaz de suministrar 2,500 W de potencia máxima con la implementación de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos que han cumplido con su vida útil automotriz.

### ***Objetivos Específicos***

- Establecer y analizar las propiedades de las Baterías de Ion Litio que han cumplido con su vida útil automotriz.

- Evaluar el desempeño de las baterías de iones de litio para su implementación en una segunda vida en aplicaciones de almacenamiento energético estacionario.
- Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación del sistema.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Baterías de Iones de Litio

##### *Fundamentos*

Las baterías son dispositivos que almacenan energía química y entregan energía eléctrica, y son catalogadas generalmente entre primarias y secundarias. Las primarias, son baterías de una sola vida que se descartan una vez que se han descargado, debido a la irreversibilidad de las reacciones químicas que producen el flujo de electrones cuando se conecta una carga. Por otro lado, las secundarias corresponden a las baterías que pueden ser recargadas de manera mecánica o a partir del paso de corriente eléctrica por los terminales de la batería en sentido opuesto al de la descarga; estas son ampliamente usadas en la industria automotriz, como las baterías de iones de litio debido a su alta capacidad y densidad energética, alta profundidad de descarga, y buen rendimiento a bajas temperaturas (Cueva, 2014, pp. 18-20).

Las celdas son las unidades fundamentales de almacenamiento de energía compuestas por un ánodo, un cátodo, un electrolito líquido o sólido que facilita el desplazamiento de iones entre el cátodo y el ánodo durante los ciclos de carga y descarga como mecanismo de funcionamiento, y una membrana no conductiva que, como separador, aísla eléctricamente al ánodo y al cátodo a una distancia adecuada para evitar cortocircuitos que puedan afectar a las celdas. Aunque comúnmente se concibe a las celdas como baterías, es la unión de varias celdas la que forma una batería, donde la agrupación de celdas conectadas en serie o paralelo para determinar su capacidad y voltaje conforman los paquetes cuya agrupación conforman a su vez módulos y la agrupación de estos conforman los sistemas de baterías (Fajardo, 2018; Chamba, S., Vargas, W., Echeverría, D., & Riofrio, J., 2022; Medina Catay, 2021, pp. 17-19).

En la industria automotriz, la integración de baterías se ha dado con base en los requerimientos de los avances tecnológicos, desde las baterías de plomo ácido para los sistemas automotrices convencionales, baterías de níquel metal hidruro para sistemas de propulsión de vehículos híbridos, hasta las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos cuya demanda de energía y potencia es mayor (Ortega & Peralta, 2020, pp. 2-4).

En el caso de las baterías de iones de litio, cuyo rol está presente en la propulsión del vehículo a partir de su soporte al funcionamiento del motor eléctrico (ME), se requiere de ellas una alta capacidad para soportar estrés debido a los ciclos de carga y descarga a las que están expuestas. Para ello, estas baterías, compuestas por al menos 80 celdas, se integran en un denominado sistema de baterías, controlado por un Módulo de Gestión de Baterías (BMS por sus siglas en inglés), y compuesto por un subsistema de refrigeración, por sensores y actuadores orientados hacia un óptimo funcionamiento y prevención de daños del sistema, permitiendo a las baterías cumplir con determinada vida útil hasta que la capacidad de la batería deje de brindar un rango de conducción aceptable, lo que se estima en una capacidad reducida al 80% (Cueva, Lucero, Guzmán, Rocha, & Espinoza, 2018).

Sin embargo, a pesar de que estas baterías hayan cumplido con su ciclo de vida automotriz, mantienen un potencial de reutilización que las hace una alternativa viable para el almacenamiento estacionario de energía en BESS, lo que contribuye además a mitigar el impacto ambiental negativo de su no aprovechamiento (Cueva, 2014, pp. 16, 18-20).

Para estas baterías, compuestas normalmente de grafito en su ánodo y de óxido de metal litado en su cátodo, la combinación de estos compuestos determina su rendimiento, voltaje nominal, la cantidad de ciclos de carga, vida útil, entre otros aspectos (Xu, 2014).

Considerando al grafito como el componente más común del ánodo, se observa en la tabla 1 su combinación con las diferentes composiciones del cátodo.

**Tabla 1.**

*Composición de ánodo y cátodo de las baterías*

	<b>Cátodo</b>	<b>Ánodo</b>
NCM	$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}\text{O}_2$	Grafito
LFP	$\text{LiFePO}_4$	Grafito
LMO	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	Grafito
NCA	$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$	Grafito

*Nota:* NCM = Óxido de Níquel, Cobalto y Manganeso; LFP = Fosfato de Hierro Líquido; LMO = Espinela de Manganeso de Litio; NCA = Óxido de Níquel, Cobalto y Aluminio. Tomado de *Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices*, por (Cueva, et al., 2018).

### ***Degradación y Vida Útil***

El proceso de degradación de las baterías se ve afectada por factores como los ciclos de carga y descarga, la formación de la capa Interfaz de Electrolito Sólido SEI, el crecimiento de dendritas, la degradación del electrolito, la degradación del cátodo y la temperatura de las baterías. El proceso de degradación afecta la capacidad y resistencia interna de las baterías, disminuyendo su eficacia y vida útil (Chamba, et al., 2022).

#### **Factores de degradación.**

##### ***Ciclos de Carga y Descarga.***

Entendiendo al voltaje nominal como el voltaje medio que la batería entrega durante la descarga, el proceso de carga se desarrolla cuando el voltaje de carga es más alto que el voltaje nominal, hasta llegar a su voltaje máximo permitido. Cuando se aplica un voltaje de carga externo a los terminales positivo y negativo de la batería, se induce el movimiento de los iones de litio a través del electrolito desde el cátodo hacia el ánodo. Los iones de litio se intercalan en

la estructura del ánodo, dónde se produce una reacción de reducción, y en el cátodo una reacción de oxidación. Esta acumulación de iones de litio en el ánodo es la energía química almacenada (Yuping, Xiangyun, Shiyong, & Teunis, 2015).

Al requerirse un consumo eléctrico de la energía química almacenada en la batería, se presenta la descarga como el proceso inverso a la carga, donde los iones de litio se desplazan a través del electrolito del ánodo al cátodo, en cuyo material se intercalan debido a los electrones ganados del circuito externo generando la liberación de energía eléctrica y una reacción de oxidación en el ánodo y de reducción en el cátodo (Goodenough & Park, 2013, pp. 1167-1168).

Como efecto de los ciclos de carga y descarga, el material activo del ánodo y del cátodo sufren cambios que lo degradan, disminuyendo su capacidad para almacenar y liberar energía de manera eficiente.

## Figura 1

### *Funcionamiento de las baterías*

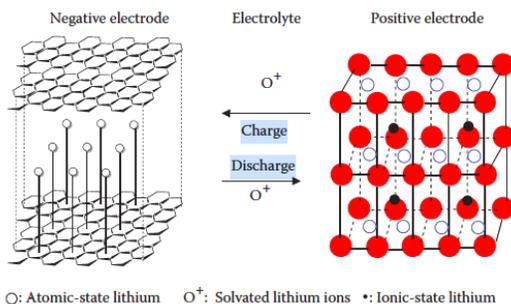


FIGURE 1.1  
Schematic illustration of the principle of operation of the lithium-ion battery: In the positive electrode, ●, oxygen; ○, Co (or other transitional metals); •, lithium.

*Leyenda: Se observa el principio de operación detallado de las baterías de ion litio*

*Nota: Imagen tomada de Lithium-Ion Batteries: Fundamentals and Applications (p. 9), Por (Yuping, et al., 2015).*

### ***Formación de la Capa SEI (Interfaz de Electrolito Sólido).***

Durante los primeros ciclos de carga de la batería, en la interfase entre el ánodo y el electrolito, se forma la capa pasivadora SEI, que estabiliza la interfaz entre los terminales de la

batería. Esta capa, que separa al ánodo del electrolito, se caracteriza por ser conductora de los iones de litio y aislante eléctrico, lo que previene cortocircuitos y contribuye a una estabilidad electroquímica, además de mitigar la degradación del ánodo y la descomposición del electrolito debido al aislamiento entre estos (Goodenough & Park, 2013, pp. 1167-1176; Xu, 2014, pp. 11504-11592).

Con su degradación, esta capa se torna inestable y cambia de forma de manera continua durante los ciclos, tornándose más gruesa y consumiendo los iones de litio disponibles en la batería, lo que aumenta la resistencia y disminuye su capacidad (Yuping, et al., 2015, pp. 11-13).

#### ***Crecimiento de dendritas.***

Durante los ciclos de carga, en condiciones de altas tasas de carga y bajas temperaturas, se pueden comenzar a depositar iones de litio en el ánodo de grafito, formando lo que se conoce como plaqueo de litio, una formación irregular de estructuras de litio metálico denominadas dendritas en su superficie del ánodo. Estas dendritas son capaces de penetrar el separador y llegar hasta el cátodo, provocando cortocircuitos internos que pueden producir desde sobrecalentamientos hasta incendios (Shuai, et al., 2018, p. 664; Cueva, 2014, p. 42).

En el caso de las altas tasas de carga, la formación de dendritas se debe a que los iones de litio no tienen el tiempo suficiente para intercalarse de manera uniforme en el material del ánodo, provocando su acumulación en otros puntos. Por otro lado, cuando se presentan bajas temperaturas, la movilidad de los iones de litio se ve reducida al igual que su velocidad de intercalación, aumentando la probabilidad de formación de dendritas (Yuping, et al., 2015, p. 7; Shuai, et al., 2018, p. 664; Cueva, 2014, p. 42).

### ***Degradación del electrolito.***

El electrolito, como la solución de sal de litio disuelta en determinado solvente orgánico, está expuesto a una descomposición química durante los ciclos de carga y descarga. Esta descomposición puede generar gases que provocan la hinchazón de las baterías y la pérdida de su capacidad para facilitar el movimiento de los iones de litio (Xu, 2014, pp. 11561 - 11564).

Factores como altos voltajes, temperaturas elevadas y presencia de humedad afectan la degradación del electrolito. Los altos voltajes y temperaturas elevadas causan que los solventes orgánicos del electrolito se oxiden, provocando la hinchazón de la batería por la formación de gases y aumento de la presión interna; asimismo, la presencia de humedad puede alterar las reacciones de la solución del electrolito, provocando la formación de ácido fluorhídrico (HF) que es altamente corrosivo y perjudicial para los elementos internos de las celdas (Cueva, 2014, p. 85).

### ***Degradación del cátodo.***

Con los ciclos de carga y descarga, la estructura cristalina de los materiales del cátodo sufre cambios durante los que se pierde su material activo, disminuyendo la capacidad de la batería.

Las baterías cuyos cátodos de las celdas se componen por cobalto y manganeso, como las de NCM y LMO, son más propensas a sufrir una degradación adicional debido a reacciones de oxidación y disolución del electrolito. Por un lado, a voltajes elevados, los iones de cobalto y manganeso pueden sufrir un proceso de oxidación que produce oxígeno libre, cuya reacción con el electrolito produce gases y descomposición acelerada. Asimismo, estos componentes son propensos a disolverse en el electrolito y migrar al ánodo, generando una mayor degradación de la batería (Xu, 2014, pp. 11563-11564).

Adicionalmente, parecido a la SEI, en la interfaz entre el cátodo y el electrolito se forma una capa resistiva denominada CEI que reduce la eficiencia y capacidad de la batería para entregar energía; conforme los ciclos de carga y descarga aumentan, la CEI crece, aumentando la resistencia interna de la batería y disminuyendo su eficiencia (Xu, 2014, pp. 11504-11592).

### ***Temperatura.***

Como se ha explicado en los literales previos, la temperatura es un factor crítico para la degradación y vida útil de las baterías. Por un lado, las altas temperaturas aceleran reacciones químicas que descomponen el electrolito y oxidan los materiales que conforman al ánodo y al cátodo. Asimismo, aceleran la degradación de la capa SEI, y puede provocar fisuras en los materiales internos de las celdas debido a las reacciones de expansión y contracción de sus componentes internos (Shuai, et al., 2018, p. 654).

Por otro lado, las bajas temperaturas implican un aumento en la viscosidad del electrolito, reduciendo la movilidad de los iones de litio, lo que representa una mayor resistencia interna de la batería que reduce su eficiencia. Asimismo, durante los procesos de carga a bajas temperaturas se da lugar a la formación de dendritas, a partir de su intercalación no uniforme en el ánodo, lo que altera también la forma de la capa SEI (Yuping, et al., 2015, p. 7).

### ***Propiedades***

Las baterías de iones de litio se caracterizan por una alta densidad de energía, bajo peso, una rápida capacidad sobre ciclos de carga-descarga y una larga vida útil. Medina C. (2021) considera a las baterías de iones de litio dentro de su estudio acerca de la influencia del BESS sobre la demanda eléctrica como la mejor alternativa tecnológica debido a los requisitos técnicos y económicos por sobre otras alternativas como las de plomo-ácido, níquel-cadmio, azufre de sodio, cloruro de sodio y níquel. En lo que respecta al presente estudio, las propiedades

expuestas a continuación fundamentan la implementación de este tipo de baterías como adecuada para aplicaciones de almacenamiento de energía estacionario (Medina Catay, 2021, pp. 8-9; Chamba, et al., 2022).

### **Volumen.**

Es la cantidad de espacio físico que un objeto ocupa, medio en unidades cúbicas. Para calcular la densidad de energía y potencia, se requiere que esta medida se encuentre el litro (L) (Cueva, 2014, pp. 49-51).

### **Masa.**

Es la cantidad de materia que un objeto contiene, medida en unidades de peso como gramos (g) para baterías pequeñas o medianas, y kilogramos (kg) para sistemas más grandes (Cueva, 2014, pp. 49-51).

### **Capacidad.**

Es la cantidad de energía que puede ser liberada por una batería completamente cargada, hasta llegar a su estado de descarga. Puede ser medida de acuerdo con el sistema internacional, en Amperios hora (Ah) o en miliamperios hora (mAh). La capacidad de una batería se calcula mediante la ecuación 1 (Cueva, 2014, p. 49).

$$\text{Capacidad (Ah)} = \text{Intensidad de Descarga (A)} \times \text{Tiempo hasta su descarga (h)} \quad \mathbf{(1)}$$

### **Energía Nominal.**

Es el total de energía que una batería puede suministrar a partir de su capacidad y voltaje nominales, medida en unidades de watts por hora (Wh) de acuerdo con el sistema internacional. La energía nominal se calcula mediante la ecuación 2 (Cueva, 2014, pp. 49-51):

$$\text{Energía Nominal (Wh)} = \text{Capacidad Nominal (Ah)} \times \text{Voltaje Nominal (V)} \quad \mathbf{(2)}$$

### **Densidad de energía.**

La densidad de energía, denominada también como densidad de energía volumétrica, se entiende como la cantidad de energía por unidad de volumen o masa que una batería es capaz de almacenar. Esta se determina por la combinación de los materiales del ánodo y el cátodo. Los electrodos de las baterías de iones de litio se componen por grafito, en el caso del ánodo (+), y por óxido de metal litado en el caso del cátodo (-). Estos materiales son altamente capaces de almacenar iones de litio, es decir, una alta cantidad de energía, lo que se traduce en una alta densidad de energía en un tamaño y peso más pequeños que las de sus alternativas. La densidad de energía se calcula mediante la ecuación 3 (Yuping, et al., 2015, pp. 8-9; Cueva, 2014, pp. 49-51; Cueva, et al., 2018, p. 50).

$$\text{Densidad de energía} \left( \frac{Wh}{L} \right) = \frac{\text{Energía Nominal (Wh)}}{\text{Volumen de la batería (L)}} \quad (3)$$

### **Potencia.**

Es la cantidad de energía que una batería puede liberar en determinado periodo de tiempo a partir de su voltaje e intensidad. La potencia se calcula mediante la ecuación 4 (Cueva, 2014, pp. 49-51):

$$\text{Potencia (W)} = \text{Intensidad (A)} \times \text{Voltaje (V)} \quad (4)$$

### **Densidad de potencia.**

Es la capacidad que una batería tiene para entregar energía rápidamente, es decir potencia, por unidad de volumen. En aplicaciones dinámicas que requieren una rápida respuesta, las baterías de iones de litio poseen una alta densidad de potencia, lo que las hace capaces de cubrir altos requerimientos de potencia en cortos periodos de tiempo. La densidad de potencia se calcula mediante la ecuación 5 (Cueva, 2014, pp. 49-51):

$$\text{Densidad de Potencia} \left( \frac{W}{L} \right) = \frac{\text{Potencia de la Batería (W)}}{\text{Volúmen de la Batería (L)}} \quad (5)$$

### Potencia Específica.

Denominada también como densidad de potencia gravimétrica, es la potencia que puede ser entregada por unidad de masa. La potencia específica se calcula mediante la ecuación 6 (Cueva, 2014, pp. 49-51):

$$\text{Potencia Específica} \left( \frac{W}{kg} \right) = \frac{\text{Potencia de la batería (W)}}{\text{Masa de la Batería (kg)}} \quad (6)$$

### Voltaje Nominal.

El voltaje nominal es el voltaje medio que la batería entrega durante la descarga, es decir, es el voltaje de operación, mismo que varía según la combinación de los materiales del ánodo y del cátodo como se observa a continuación (Cueva, 2014, p. 49).

**Tabla 2.**

*Voltaje Máximo y Nominal por composición de ánodo y cátodo de las baterías de iones de litio*

Cátodo	Ánodo	Voltaje Máximo (V)	Voltaje Nominal (V)
NCM	Grafito	(4.2)	(3.7)
LFP	Grafito	(3.7)	(3.3)
LMO	Grafito	(4.2)	(3.7)
NCA	Grafito	(4.2)	(3.7)

*Nota:* NCM = Óxido de Níquel, Cobalto y Manganeso; LFP = Fosfato de Hierro Líquido; LMO = Espinela de Manganeso de Litio; NCA = Óxido de Níquel, Cobalto y Aluminio. Tomado de (Cueva, et al., 2018; Masaki, Ralph J., & Akiya, 2009).

### Ciclo de vida.

El ciclo de vida, con respecto a la vida útil de una batería de iones de litio, es la cantidad de ciclos de carga y descarga completa y/o parcial que pueden experimentar hasta que su capacidad se vea reducida a un 80% por lo general. Las baterías de iones de litio pueden experimentar entre 1,000 y 10,000 ciclos (Cueva, 2014, p. 89; Medina Catay, 2021, p. 19).

**Tasas de carga y descarga – C-Rate.**

Es la rapidez a la que se carga o descarga una batería en relación con su capacidad total. Las baterías de iones de litio pueden soportar altas tasas de carga/descarga sin que sus componentes se degraden significativamente, lo que las hace atractivas para aplicaciones automotrices que requieren altas demandas de potencia.

En condiciones de carga o descarga, la expresión de C-Rate representa la capacidad por hora de las baterías. Es decir, si se tiene una celda con capacidad de 10 Amperios hora Ah, se puede representar una intensidad de 10 Amperios con 1C, 20 Amperios con 2C, 1 Amperio con 0,1C, etc. (Cueva, 2014, p. 52).

En este contexto, Cueva, et al., (2018), establece que las baterías en cuestión se descargan a altas intensidades de manera continua en 26C, y en un rango de entre 20 a 45C con electrolito de polímero. En descargas en picos, estas baterías pueden soportar descargas de 52C, y en un rango de entre 30C y 90C con electrolito de polímero. Mientras que, en el proceso de carga, estas baterías soportan cargas de entre 1C y 2C.

**Resistencia Interna.**

Es la resistencia general del circuito al flujo de corriente que depende por un lado de los materiales de los terminales en términos de resistencia óhmica y por otro lado de las reacciones químicas durante los procesos de carga y descarga en términos de resistencia electroquímica.

La resistencia varía de acuerdo con las condiciones de operación, como con la temperatura. La resistencia interna de la batería determina su autodescarga sin necesidad de que se encuentre sometida a un consumidor externo (Cueva, 2014, p. 52).

### **Temperatura óptima de operación.**

Si bien el rango de temperatura aceptable para el funcionamiento de las baterías de iones de litio se establece entre -20 y 60 °C, Pesaran, et al., (Referenciado en (Shuai, et al., 2018, p. 654)), determinaron que el rango de temperatura óptima de funcionamiento de las baterías de iones litio se encuentra entre los 15 y 35 °C. En este contexto, Cueva et al. (2018) resaltan la importancia de controlar la temperatura durante los procesos de carga y descarga, evitando temperaturas superiores a los 80 °C debido a que se puede producir la evaporación del electrolito, originándose el hinchamiento de la batería.

### ***Oportunidad de reutilización***

Conceptualizando la reutilización como la segunda vida útil de las baterías de ion litio en Sistemas de Almacenamiento de Energía Fotovoltaica en Baterías (desde este punto denominados PV-BESS<sup>1</sup>), se puede plantear una contribución a la economía circular a partir de la extensión de la vida útil de las baterías de iones de litio con impactos positivos para el medio ambiente, la sostenibilidad energética, empleabilidad, entre otros (Chamba, et al., 2022).

En este sentido, las baterías que ya no cumplen con los parámetros requeridos por lo sistemas híbridos automotrices pueden ser aptas para otras aplicaciones estacionarias que aprovechen su máximo potencial, mitigando su impacto ambiental negativo, lo cual se determina a partir de la evaluación de su estado de salud (SoH por sus siglas en inglés), y su capacidad residual. Es allí donde un BMS actúa para gestionar la vida útil de las baterías y maximizar su eficiencia, controlando que el funcionamiento de las baterías se mantenga dentro de rangos establecidos de niveles de voltaje, intensidad y temperatura (Guerrero, 2023; Chamba, et al., 2022; Fajardo, 2018).

---

<sup>1</sup> PV-BESS = Photo-Voltaic – Battery Energy Storage System

### **Sistema de Almacenamiento de Energía fotovoltaica en Baterías PV-BESS**

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía (ESS) comenzaron su desarrollo a inicios del siglo XX. Sin embargo, como Medina C. (2021) sostiene, los elevados costos de su implementación limitaron su expansión hasta que se integraron las energías renovables a dichos sistemas. Durante su desarrollo, las baterías se han tornado la unidad de almacenamiento de energía por excelencia en estos sistemas que hoy en día son denominados como BESS y que, debido a la integración de la energía fotovoltaica en este sistema, lo denominamos PV-BESS por sus siglas en inglés (Medina Catay, 2021, p. 28).

El desarrollo del PV-BESS viene acompañado de dos factores que exigen su versatilidad de operación en rangos variables de densidad de energía y potencia. Por un lado, se tiene a la energía solar como una energía renovable que por su naturaleza es intermitente y variable, lo que representa un problema para la estabilidad de los sistemas eléctricos. Por otro lado, se presenta un desfase entre el tiempo de mayor generación de energía solar, y el tiempo de mayor demanda energética, lo que representa un reto para garantizar un suministro continuo durante un tiempo determinado (Barreto, 2023, pp. 9-12).

El aprovechamiento de la energía solar como energía renovable en los BESS significa una contribución a la estabilidad de la red eléctrica, así como un camino a la disminución de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Mediante la implementación de los sistemas PV-BESS, la energía solar se presenta como una alternativa eficiente y fiable. El PV-BESS representa la oportunidad de brindar un suministro constante durante periodos de tiempo determinados, a partir de un adecuado almacenamiento y gestión de la energía solar. El almacenamiento se desarrolla durante los periodos en que la producción supera la demanda, para posteriormente brindar un suministro constante.

En lo que respecta al presente estudio, se concibió al BESS como la integración de 3 subsistemas: 1. Subsistema fotovoltaico; 2. Subsistema de Gestión de Baterías; y 3. Subsistema de conversión de energía.

### ***Integración del Subsistema fotovoltaico en el BESS***

Un sistema fotovoltaico es aquel que transforma la energía solar en energía eléctrica. Las unidades fundamentales de un sistema fotovoltaico son las células solares, elementos semiconductores que generan pequeñas cantidades de intensidad y voltaje. El conjunto de varias células solares conforma un panel solar (Salazar, 2024, pp. 16-17).

Con base en su evolución, los paneles solares se clasifican en:

- **Primera Generación:** formados por celdas de silicio cristalino, con un rango de eficiencia entre el 15% y el 22%.
- **Segunda Generación:** formados por celdas de silicio amorfo, con un rango de eficiencia entre el 5% y el 12%.
- **Tercera Generación:** Según el tipo de célula, se encuentran:
  - De silicio monocristalino, con una eficiencia entre el 10% y el 20%.
  - De polímeros fotovoltaicos, con una eficiencia entre el 3% y el 10%.
  - Fotovoltaicos concentrados, con una eficiencia entre el 20% y el 40%.
  - Sensibilizados por colorantes, con una eficiencia entre el 1% y el 5%.
- **Generación actual:** Actualmente se encuentran en desarrollo paneles solares transparentes, con un rango de eficiencia entre el 1% y el 6%.

Con base en los requerimientos del sistema, los paneles solares se conectan en un arreglo en serie, paralelo o mixto, formando Módulos Solares que se conectan a un regulador de energía fotovoltaica denominado "Maximum Power Point Tracking" MPPT, o Seguidor de Máxima Potencia por su traducción al español, cuyo rol se encuentra en estabilizar y maximizar la

cantidad de energía que se puede captar de los paneles solares para su uso o almacenamiento (Salazar, 2024, pp. 18-19).

### **Ángulo de inclinación.**

Un factor que incide en la eficiencia del subsistema fotovoltaico es el ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal, mismo que determina el rendimiento de los módulos solares debido a que de este depende la captación de energía solar.

En ubicaciones cercanas a la línea ecuatorial, se considera que una inclinación adecuada es igual a la latitud del lugar. Sin embargo, para maximizar la captación de la energía solar durante las horas pico de radiación solar, determinadas entre las 10:00 y las 15:00 horas, se considera óptima una inclinación de entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$  de cara a la salida del sol. Salazar P. et al (2024, p. 41; 46; 100), determinaron al respecto que una inclinación ideal se garantiza mediante un análisis completo de factores como las características y condiciones del terreno y viento, localización geográfica y estacionalidad solar, producto de lo cual determina que la inclinación ideal, en el caso de las Islas Balta y Santa Cruz, es de  $6^\circ$ .

### ***Integración de las baterías de iones de litio en el PV-BESS.***

La integración de las baterías de iones de litio en los sistemas PV-BESS se desarrolla con el objeto de maximizar su eficiencia y vida útil observando aspectos como la Gestión de Carga/Descarga; la Interfaz con Inversores y su optimización basada en el Monitoreo de sus Condiciones de Operación.

### **Subsistema de Gestión de Baterías.**

La vida útil de las baterías depende directamente de una adecuada gestión de los ciclos de carga y descarga, ya que durante estos se genera la degradación de sus componentes. El control de estos ciclos se desarrolla mediante el uso de un Sistema de Gestión de Baterías (BMS por sus

siglas en inglés) que, a partir de su software interno programado, tiene el rol de gestionar el proceso de carga y descarga bajo la supervisión y control del estado individual de cada batería de iones de litio que conforman el módulo de baterías.

En el sistema desarrollado, el BMS se constituye por el MPPT que gestiona los procesos de carga y descarga a partir de la supervisión y control de la intensidad y voltaje, y por un controlador de temperatura que gestiona estos procesos a partir de la supervisión y control de la temperatura de operación.

El rol de estos módulos en el BMS consiste en mantener dentro de determinados rangos de estabilidad a la intensidad, voltaje y temperatura, lo que determina el SoH de la batería y su Nivel de Carga SoC de manera individual (Guerrero, 2023, pp. 7-8).

En este contexto, los parámetros supervisados por el BMS, mediante el MPPT y el Controlador de Temperatura, son los siguientes:

***Voltaje de Carga.***

Aumenta con la carga, y puede ser expresada de acuerdo con la ecuación 7:

$$VC = VoltajeNominal^2 + Voltaje\ de\ compensación\ de\ la\ resistencia\ interna\ de\ cada\ celda \quad (7)$$

***Voltaje de descarga.***

Disminuye con la descarga, y es menor que el voltaje nominal debido a la resistencia interna de cada celda.

***Tiempo de Carga/Descarga.***

La C-Rate permite calcular el tiempo de descarga  $D_t$ , así como la capacidad nominal de la batería o la intensidad de descarga  $C$  según sea necesario, tal como se presenta en las ecuaciones 8, 9 y 10 respectivamente (Cueva, 2014, p. 52; Cueva, et al., 2018).

---

<sup>2</sup> El voltaje nominal es el promedio de los voltajes entregados por las celdas.

$$\text{Tiempo de descarga (h)} = \frac{\text{Capacidad Nominal (Ah)}}{\text{Intensidad de Descarga (A)}} \quad (8)$$

$$\text{Intensidad de Descarga (A)} = \frac{\text{Capacidad Nominal (Ah)}}{\text{Tiempo de descarga (h)}} \quad (9)$$

$$\text{Capacidad Nominal (Ah)} = \text{Intensidad de Descarga (A)} \times \text{Tiempo de descarga (h)} \quad (10)$$

### ***Estado de Carga SoC.***

Como la cantidad de energía almacenada en un momento dado, el 100% del SoC representa una batería totalmente cargada, mientras que un 0% representa una batería totalmente descargada, y cuyo valor se determina mediante la ecuación 11 (Cueva, 2014, p. 52):

$$\text{SoC \%} = \frac{\text{Capacidad remanente } Q_0 \text{ (Ah)}}{\text{Capacidad nominal } Q_O \text{ (Ah)}} \quad (11)$$

### ***Profundidad de Descarga DoD.***

La profundidad de descarga es la cantidad de capacidad utilizada de una batería durante un ciclo. Mientras menos profundos son los ciclos de descarga, los ciclos de vida de la batería aumentan; Al contrario, mientras más profundos son los ciclos de descarga, los ciclos de vida de la batería disminuyen. El DoD se determina mediante la ecuación 12 (Cueva, 2014, p. 53):

$$\text{DoD (\%)} = 1 - \text{SoC} \quad (12)$$

En este sentido, la vida útil de la batería se maximiza mediante rangos de carga medios, evitando llegar a cargas y descargas completas.

### ***Estado de Salud SoH.***

Es la relación entre la capacidad de carga máxima de una batería usada y la capacidad de carga máxima de la misma batería cuando es nueva. El SoH se determina mediante la ecuación 13 (Cueva, 2014, p. 53):

$$\text{SoH (\%)} = \frac{\text{Capacidad de energía actual (Wh)}}{\text{Capacidad de energía nominal (Wh)}} \times 100 \quad (13)$$

Con la supervisión y control de estos parámetros, el sistema gestiona una carga uniforme de las celdas del sistema, lo que se conoce como Balanceo de Carga, evitando comportamientos anormales como sobredescargas, sobrecargas, cortocircuitos, etc. (Guerrero, 2023, pp. 7-8).

### ***Integración del subsistema de conversión de energía en el PV-BESS***

El sistema de conversión de energía (PCS por sus siglas en inglés), también conocido como inversor bidireccional, es el encargado de gestionar la conversión de la energía almacenada, de voltios de corriente directa (VDC) a voltios de corriente alterna (VAC)<sup>3</sup> que es la forma en que la electricidad es utilizada por la mayoría de los consumidores domésticos e industriales (Guerrero, 2023, p. 8).

El inversor implementa el uso de transistores y transformadores para generar pulsos de AC al conmutar la DC, formando una onda sinusoidal que, mediante el Pulse Width Modulación (PWM por sus siglas en inglés), refina estos pulsos generando una onda pura sin distorsiones que pasa por un filtro de salida que ajusta su frecuencia y voltaje para entregar una CA lista para consumir. (Guerrero, 2023, p. 8).

Su compatibilidad y comunicación con el BMS determinan la capacidad del sistema para responder a las variaciones de la demanda de carga/descarga, pudiendo incluso gestionar la variabilidad de la energía solar disponible, asegurando una operación sin intermitencias.

La capacidad de los inversores determina la capacidad energética que el sistema puede entregar en kilowatts. En este contexto, se entiende que el subsistema fotovoltaico entrega una potencia "x" en watts o kilowatts. Esta energía es gestionada por el BMS, que controla la entrega en DC para la carga de las baterías, mismas que tienen una capacidad de almacenamiento "y" en kilowatts hora. La energía almacenada en las baterías representa el total de energía que el

---

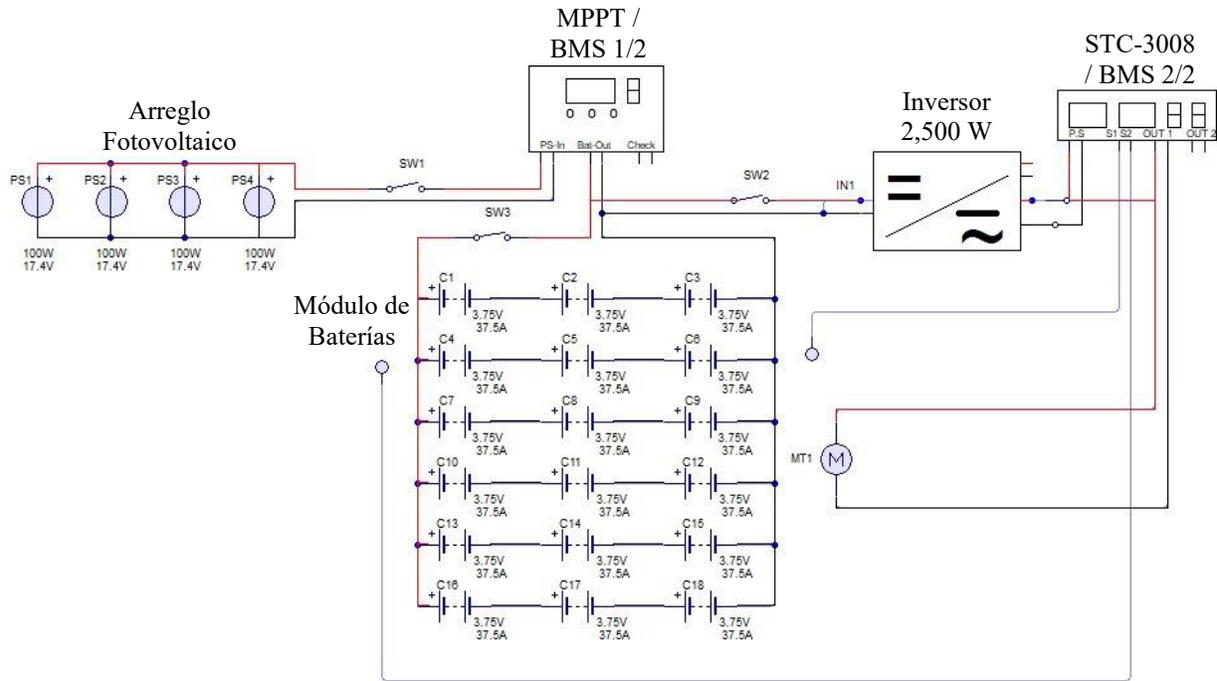
<sup>3</sup> Como inversor bidireccional, también es capaz de convertir la corriente alterna a corriente continua. Sin embargo, para la aplicación del sistema en desarrollo es una capacidad que no será utilizada.

inversor, con "z" capacidad de potencia en kilowatts hora, dispone para transformarla a CA y suministrarla a los consumidores que requieran.

En la Figura 2 se observa el diagrama de bloques correspondiente al PV-BESS.

**Figura 2.**

*Diagrama de Bloques para PV-BESS*



*Nota:* Imagen desarrollada por los autores.

## Capítulo III

### Materiales y Métodos

El presente estudio fue desarrollado con una metodología de enfoque cuantitativo que respalda un análisis y desarrollo seguro para la implementación de las baterías de iones de litio en un PV-BESS. En este contexto, se ha realizado un estudio de la literatura y conceptos fundamentales de relevancia, a partir de los cuales se procede con los cálculos y análisis técnicos para proceder con el ensamble y las pruebas del sistema.

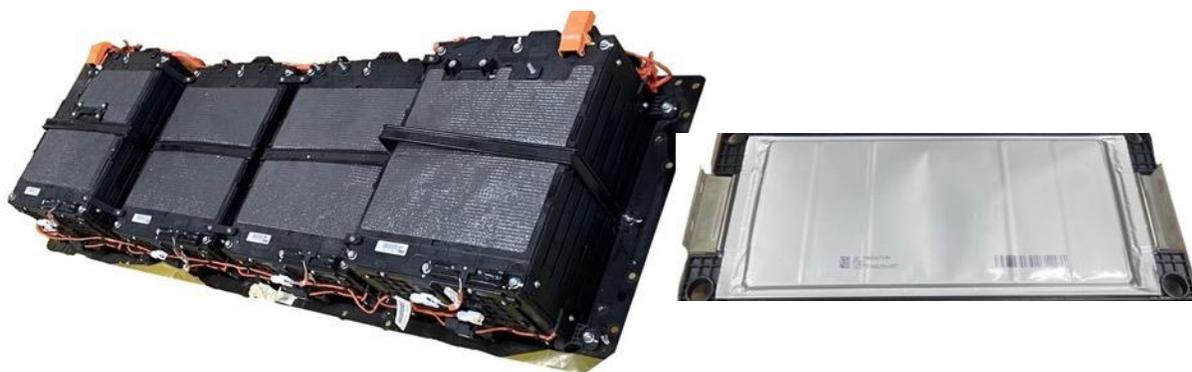
#### Materiales

##### *Baterías de Iones de Litio*

Para la implementación de Sistema PV-BESS, se dispuso de 2 paquetes de un módulo de baterías NCM de los vehículos eléctricos Kia Soul modelo 2016, que han cumplido con su vida útil. Su selección se basa en la asignación de estas baterías para el desarrollo del presente estudio.

#### Figura 3.

*Módulo de 4 Paquetes de Batería con 96 celdas de ion litio del KIA Soul (EV) 2016*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

En la Tabla 3 se presentan las especificaciones de fábrica del sistema de baterías compuesto por 192 celdas dispuestas en 2 módulos de 4 paquetes cada uno.

**Tabla 3.**

*Especificaciones de las baterías de iones de litio de los vehículos eléctricos Kia Soul 2016.*

Ítem	Especificaciones
Voltaje Nominal del Sistema (V)	360
Capacidad Nominal del Sistema (Ah)	75
Voltaje por Celda (V)	2.5~4.3
Capacidad Nominal por Celda (Ah)	37.5
Sistema de enfriamiento	Por aire
SoC (%)	5~95
Densidad de energía del paquete (Wh/L)	263.52
Densidad de Energía del Sistema	200 Wh/Kg
Energía Utilizable (kWh)	27

*Nota:* Desarrollado por Autores, con base en información recuperada de (Jeju Soul, 2016; EV-Specifications, 2024 & Peralta, 2018, p. 46).

### ***Paneles Solares***

Los paneles solares dispuestos para la construcción del subsistema fotovoltaico fueron seleccionados con base en la disponibilidad, su potencia nominal, y el enfoque sostenible de la presente investigación.

### **Figura 4.**

*Panel Solar ISOFOTON I-100*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

En la Tabla 4 se presentan las características de los paneles solares seleccionados.

**Tabla 4.**

*Especificaciones del panel solar I-100/12 de acuerdo con el STC (1,000W/m<sup>2</sup> 25°C) Fabricado en España por ISOFOTON S.A.*

Ítem	Especificaciones
Potencia Nominal Máxima	100 W $\pm$ 10%
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	22 V
Intensidad de Corto circuito (Isc)	6.14 A
Intensidad a la Potencia Máxima (Imp)	6.32 A
Voltaje a la Potencia Máxima (Vmp)	17.4 V
Voltaje Máximo del Sistema	1,000 V
Tolerancia de Salida	$\pm$ 3%

*Nota:* Desarrollado por los autores, con base en las especificaciones del fabricante.

### ***Inversor***

Para el sistema de conversión de energía de DC a AC, se seleccionó un inversor de onda pura de 2,500 W de potencia, su capacidad de frecuencia de 60 Hz, con una eficiencia superior al 90% para reducir pérdidas energéticas.

**Figura 5.**

*Inversor de Onda Pura*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

En la Tabla 5 se presentan las especificaciones de fábrica del inversor seleccionado, cuya imagen se presenta en la figura 2.

**Tabla 5.**

*Especificaciones del Inversor de Onda Pura JARXIOKE (DC 12V/ AC 110V/ 60HZ)*

<b>Ítem</b>	<b>Especificaciones</b>
Potencia Nominal de Salida (W)	2,500
Potencia de pico de Salida (W)	5,000
Eficiencia de conversión (%)	> 90
Indicador de carga de batería	Si
Capacidad máxima (Ah)	20.83
Voltaje de Entrada (V)	12
Voltaje de Salida (VAC)	110/120
Sobrecarga (W)	>2,500
Cortocircuito	Si
Protección contra fugas	A tierra
Sistema de enfriamiento	Por ventilador

*Nota:* Desarrollado por los autores, con base en las especificaciones del fabricante.

### ***Sistema de Gestión de Baterías***

#### **Seguidor de Máxima Potencia MPPT.**

El Seguidor de Máxima Potencia para el PV-BESS, fue seleccionado con base en su capacidad de manejo y optimización en la captación de la energía fotovoltaica para la recarga de las baterías de iones de litio a 12 V, así como por la posibilidad de control de los rangos de intensidad, voltaje y carga.

**Figura 6.***MPPT*

*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

En la Tabla 6 se presentan las especificaciones de MPPT seleccionado, cuya imagen se presenta en la figura 3.

**Tabla 6.***Especificaciones del MPPT Solar*

<b>Ítem</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje Nominal (V)	12 / 24
Intensidad Nominal (A)	60
Fotovoltaje Máximo (V)	50
Potencia Máxima de entrada	
a 12 V (W)	780
a 24 V (W)	1,560
Monitoreo de carga de batería	si
Umbral de Carga máxima	13.4 V
Umbral de Descarga máxima	9 V

*Nota:* Desarrollado por autores, con base en las especificaciones del fabricante.

### **Controlador de Temperatura STC-3008.**

Con base en las tareas de monitoreo y control de la temperatura, se determinó viable la implementación del controlador STC-3008 para la supervisión y control de la temperatura de los

módulos de batería. La selección del módulo se basa en la precisión, fiabilidad y capacidad de respuesta rápida del equipo debido a sus dos sensores de silicio con un rango de variación en su lectura de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Además, el equipo, cuyas especificaciones se presentan en la Tabla 7, dispone de una pantalla que facilita la visualización y configuración de los rangos de temperatura del sistema a partir de los cuales controla la activación y desactivación del ventilador, así como la interrupción de la carga o descarga según los parámetros indicados.

### Figura 7.

*Controlador STC-3008*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

### Tabla 7.

*Especificaciones del Controlador de Temperatura STC-3008*

Ítem	Especificaciones
Alimentación	110-220 VAC $\pm 10\%$
Rango de medición de temperatura	-55 $^\circ\text{C}$ y 120 $^\circ\text{C}$
Capacidad de los Relés	10 A / 250VAC

*Nota:* Desarrollado por autores, con base en las especificaciones del fabricante.

### *Elementos Auxiliares*

#### **Cables y Conectores.**

Priorizando la eficiencia, fiabilidad y seguridad, se consideran los factores de intensidad, voltaje y exposición del sistema para determinar el tipo y calibre del cableado. Dado su implementación en el exterior, se considera adecuado un cableado de cobre flexible con

aislamiento termoplástico y conectores de paneles solares MC4 bajo el estándar *American Wire Gauge* (AWG). En la Tabla 8 se observa el calibre del cable según la intensidad y ubicación en el sistema.

**Tabla 8.**

*Calibre de Cable (AWG) según intensidad.*

<b>Intensidad Máx. (A)</b>	<b>Calibre AWG</b>	<b>Disposición</b>
40	8	Del arreglo fotovoltaico al MPPT
55	6	Del MPPT a la batería
95	4	De la batería al inversor

*Nota:* Desarrollado por autores, con base en la información recuperada de (Schneider Electric, 2017)

Un factor importante por considerar cuando la distancia del cableado es superior a los 50 metros es la caída del voltaje. A partir de esta distancia, la caída es del 2% y aumenta proporcionalmente al aumento de la distancia de los tramos de acuerdo con la ecuación 14. En dichas condiciones, para reducir la caída de voltaje, es viable aumentar el calibre del cable.

$$\text{Caída de voltaje } V_d(\%) = \frac{2 \times \text{Longitud del cable (m)} \times \text{Intensidad (A)} \times \text{Resistividad del cable}}{\text{Área transversal del cable (mm}^2\text{)}} \quad (14)$$

### **Fusibles y Protectores.**

Como elementos de protección adicional frente a cortocircuitos o sobrecargas y, de acuerdo con su capacidad de garantizar la seguridad del sistema, el sistema implementa el uso de 2 breakers de 10 A en las líneas positivas (+) entre el arreglo fotovoltaico y el MPPT, y entre el MPPT y la batería; Asimismo, se dispuso de 1 breaker de 30 A. en la línea positiva (+) entre la batería y el inversor.

### Ventilador.

Con base en las dimensiones del sistema, y su capacidad para disipar el calor generado por los componentes electrónicos, manteniendo la temperatura operativa de las baterías dentro de rangos seguros, se seleccionó un ventilador con las características detalladas en la Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Especificaciones del ventilador*

Ítem	Especificaciones
Voltaje Nominal (V)	110
Consumo de Energía (W)	5
Velocidad (RPM)	3,000

*Nota:* Desarrollado por autores, con base en las especificaciones de fabrica

### Métodos

#### *Diseño del subsistema de Baterías*

##### **Voltaje Requerido.**

El voltaje total requerido de la batería es de 12 V; considerando que cada celda tiene un voltaje nominal de 3.75 V, se establece un arreglo en serie que, según las leyes de Kirchhoff, el voltaje total es igual a la suma de los voltajes de las celdas, o lo que es lo mismo  $V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$ . En este sentido, se requiere de  $\frac{12V}{3.75V} = 3.2 \approx 3$  celdas para un voltaje nominal de 11.25 V.

La decisión de implementar 3 celdas con un voltaje nominal de 11.25 V en lugar de 4 celdas con un voltaje nominal de 15 V, se debe al voltaje de entrada máximo del inversor que se encuentra en los 12 V  $\pm 12\%$ , es decir entre los 10.5 y 13.4 V.

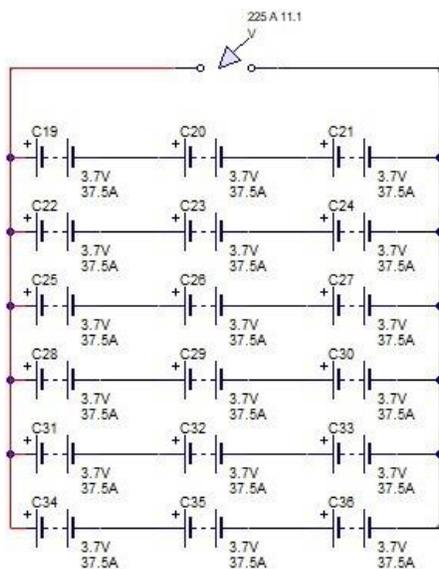
### Energía Nominal Requerida.

Conociendo que la potencia y voltaje requeridos es de 2,500 W y 12 V respectivamente, la intensidad total calculada del sistema, mediante la ley de Ohm que nos establece que la  $Potencia (W) = Voltaje (V) \times Intensidad (A)$ , es igual a  $\frac{2,500 W}{12 V} = 208.33 A$ . Cada módulo debe ser capaz de manejar esta intensidad.

Con base en la intensidad requerida, se calcula el número de ramas en paralelo necesarias mediante las leyes de Kirchoff que establecen que la intensidad total es igual a la suma de las intensidades individuales, o lo que es lo mismo  $I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ . En este sentido, conociendo que la capacidad nominal de las celdas es de 37.5 Ah, el número de ramas en paralelo necesarias es de  $\frac{208.33 A}{37.5 Ah} = 5.55 \approx 6$ , tal y como se observa en la Figura 4.

### Figura 8.

*Esquema del arreglo mixto del módulo de batería*



*Nota:* Desarrollado por los autores.

La configuración del paquete en el sistema es de 18 celdas de iones de litio conectadas en módulos de 6 ramas en paralelo, de 3 celdas en serie cada una. Esta disposición proporciona un

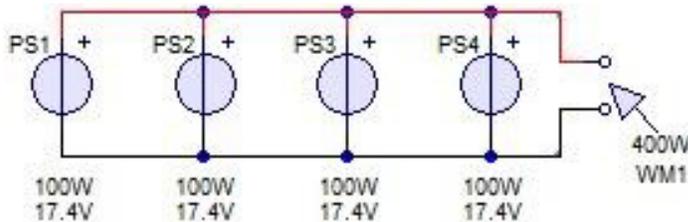
voltaje nominal de 11.25 V, con una capacidad nominal de  $37.5 \text{ Ah} \times 6 = 225 \text{ Ah}$ , lo que determina una energía nominal del paquete de  $225 \text{ Ah} \times 11.25 \text{ V} = 2,531.25 \text{ Wh}$ , y una energía nominal de  $(12.6 \text{ V} - 10.5 \text{ V}) \times 225 \text{ Ah} = 472.5 \text{ Wh}$ , que considerando una disminución al 80% de su capacidad se determina en  $378 \text{ Wh}$ .

### ***Diseño del Subsistema Fotovoltaico.***

De acuerdo con el requerimiento de carga de las baterías y la potencia nominal de los paneles solares, el número de paneles solares necesarios para suministrar una potencia de carga de 2,500 W es de  $\frac{2,500 \text{ W}}{100 \text{ W}} = 25$ . Sin embargo, considerando la viabilidad de instalación, el sistema implementa el uso de un arreglo de 4 paneles solares en paralelo que, como se observa en la Figura 5, posee una capacidad de carga de 400 W, pudiendo aumentar la capacidad de carga del sistema hasta 2,500 W, con la ampliación en serie del arreglo fotovoltaico.

### **Figura 9.**

*Esquema del arreglo en paralelo del módulo fotovoltaico*



*Nota:* Desarrollado por los autores.

Considerando que cada panel solar tiene una potencia nominal de 100 W, y que las horas pico de radiación solar son de 5 horas; la energía solar producida por panel al día se calcula en  $100 \text{ W} \times 5 \text{ h} = 500 \text{ W/día}$ . En este sentido, la producción de energía diaria de los 4 paneles solares sería igual a  $500 \text{ W/día} \times 4 = 2,000 \text{ W/día}$ , mientras que la producción de energía de los 25 paneles solares sería igual a  $500 \text{ W/día} \times 25 = 12,500 \text{ W/día} \equiv 12.5 \text{ kW/día}$

Con base en las pérdidas generadas en las conexiones, el cableado, y la eficiencia del inversor, se ha estimado una eficiencia del 75% del subsistema fotovoltaico, lo que nos determina una eficiencia con 4 paneles de  $2,000 \text{ W/día} \times 0.75 = 1,500 \text{ W/día}$ , mientras que con 25 paneles de  $12,500 \text{ W/día} \times 0.75 = 9,375 \text{ W/día} \equiv 9.375 \text{ kW/día}$ .

### ***Integración del sistema PV-BESS***

Con la integración del subsistema de conversión de energía, el sistema queda constituido con las especificaciones y circuito presentados en la Tabla 10 y Figura 10 respectivamente.

**Tabla 10.**

#### *Especificaciones del Sistema*

<b>Ítem</b>	<b>Especificaciones</b>
Potencia Nominal del Sistema (W)	2,531.25
Voltaje Nominal del Sistema (V)	11.25
Capacidad Nominal del Sistema (Ah)	225
Voltaje por Celda (V)	3.5 ~ 4.2
Capacidad Nominal por Celda (Ah)	37.5
Sistema de enfriamiento	Por aire
Energía Disponible (Wh)	378
Voltaje de Salida (VAC)	110/120

*Nota:* Desarrollado por autores.

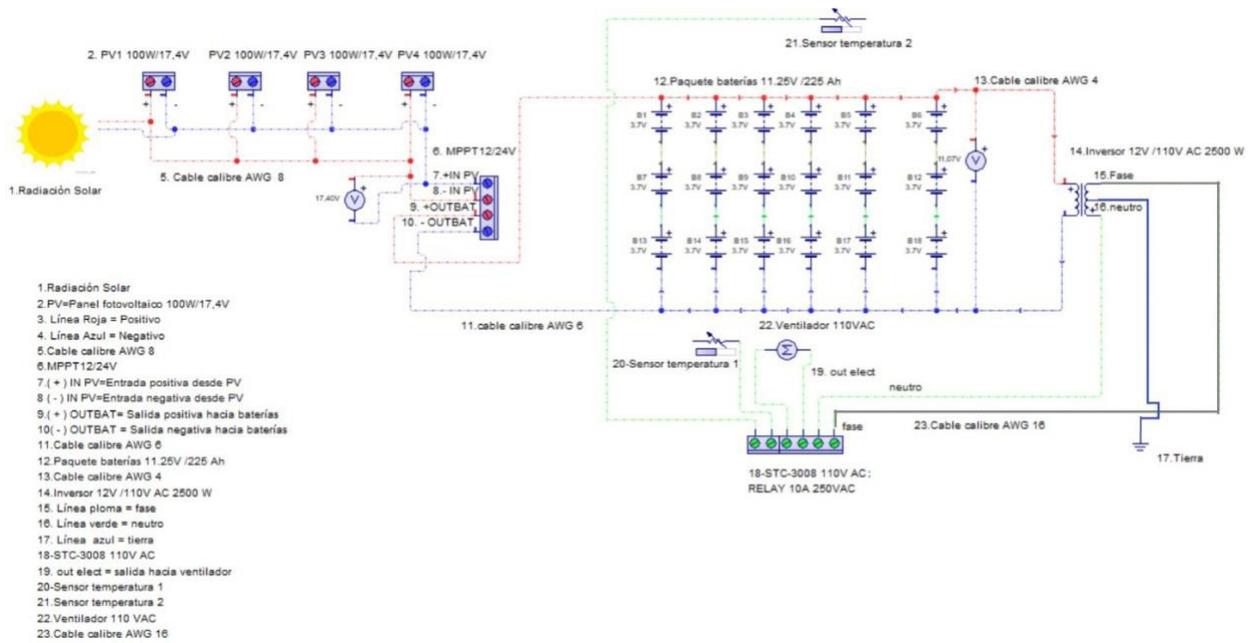
La descarga del sistema se encuentra delimitada en los 10.5 V de voltaje mínimo permitidos por el inversor. A pesar de que la capacidad de las baterías para soportar altas profundidades de descarga de hasta un 5% de SoC o 7.5 V, el límite de descarga es consistente con una gestión adecuada de la profundidad de descarga de baterías degradadas, pues mientras más profundos sean los ciclos de descarga, la vida útil de las baterías disminuiría significativamente.

**Instalación y Pruebas del Sistema**

Para el proceso de instalación, de acuerdo con el circuito presentado en la Figura 10, se determinó apropiada la ubicación para el sistema en la colina este adyacente al parqueadero de la Facultad de Ingeniería Automotriz como se observa en la Figura 11.

**Figura 10.**

*Circuito del PV-BESS*



*Nota:* Desarrollado por los autores.

**Figura 11.**

*Ubicación del Sistema en la Escuela de Ingeniería Automotriz*



*Nota:* Desarrollado por los autores.

El lugar seleccionado, además de poseer una exposición solar óptima que garantiza una captación continua y eficiente de la radiación solar durante las horas pico, representa un espacio seguro que mitiga el riesgo frente a posibles fallos del sistema que pueden llegar a incendios y explosiones.

### **Instalación del Subsistema Fotovoltaico.**

Una vez verificadas las especificaciones técnicas y de compatibilidad de los paneles solares, se determina la ubicación adecuada, y se los dispone de manera que sea posible realizar su conexión en paralelo de la siguiente manera:

**Paso 1:** Se identifico los terminales positivo y negativo de cada panel, y se instalaron los conectores MC-4.

**Paso 2:** Se realizó la conexión de todos los terminales Positivos (+) de los paneles solares, y en segundo lugar sus terminales negativos (-). Al final de la conexión, se obtuvo un terminal positivo (+) combinado, y un terminal negativo (-) combinado.

**Paso 3:** Se verificó la continuidad en cada tramo de la conexión, y que el voltaje total del subsistema fluctúe entre 17.4 V y 22 V.

### **Figura 12.**

*Arreglo de los Paneles Solares*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

## **Instalación del Subsistema de Baterías.**

### ***Conexión en Serie.***

**Paso 1:** Se identificó los terminales positivo y negativo de cada celda.

**Paso 2:** Se conectó el terminal negativo (-) de la primera celda, con el terminal positivo (+) de la segunda celda; y el terminal (-) de la segunda celda, con el terminal positivo (+) de la tercera celda.

Este paso se repitió hasta tener 6 series de 3 celdas cada una, donde el terminal (+) de la primera celda, y el negativo (-) de la tercera celda fueron los terminales de cada serie.

### **Figura 13.**

*Serie de 3 celdas.*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

### ***Conexión en Paralelo.***

**Paso 3:** Se dispuso a las 6 series de celdas en paralelo y se realizó la conexión de todos los terminales positivos (+), y después la conexión de todos los terminales negativos (-).

Producto de la conexión de los terminales positivos (+) se tuvo un terminal positivo combinado (+), y de la conexión de los terminales negativos (-) se tuvo un terminal negativo combinado (-).

**Paso 4:** Se realizó la conexión de los sensores de temperatura del controlador NTC a los costados externos del módulo de baterías.

**Figura 14.**

*Configuración de 6 Ramales Paralelos de 3 Celdas en Serie.*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

***Conexión Final.***

**Paso 5:** Se verificó el estado de las conexiones, y su correcto aislamiento para evitar cortocircuitos.

**Paso 6:** Una vez constituida la batería, se conectó primero su terminal negativo (-), al terminal de salida negativo (-) del MPPT, y después su terminal positivo combinado (+) al terminal de salida positivo (+) del MPPT por medio de un breaker de 10 A.

**Paso 7:** Con el uso del multímetro, se verificó los valores de voltaje e intensidad.

**Paso 8:** Se realizó primero la conexión del terminal positivo (+) combinado de la batería al terminal positivo (+) de entrada del inversor por medio de un breaker de 10 A, segundo la conexión del terminal negativo (-) combinado de la batería al terminal negativo (-) de entrada del inversor, y se conectó el inversor a tierra.

**Paso 9:** Se conectó la alimentación del ventilador a la salida de refrigeración del NTC.

**Paso 10:** Se conectó la entrada de alimentación del controlador NTC a una de las salidas de 110 V del inversor

**Paso 11<sup>4</sup>:** Para finalizar, se realizó la conexión de los terminales del subsistema fotovoltaico a los puertos de entrada destinados para estos en el MPPT. Para ello, primero se conectó el terminal negativo combinado de los paneles (-) y segundo el terminal positivo combinado (+), lo cual es inverso al orden de desconexión.

**Figura 15.**

*PV-BESS*



*Nota:* Imagen tomada y editada por los autores.

---

<sup>4</sup> Debido a que la batería tiene un voltaje estable, contrario a lo que sucede con los paneles solares, primero debe conectarse la batería al MPPT, y una vez que se tenga corriente en este, se puede conectar los paneles.

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

Durante el proceso de conformación del sistema PV-BESS, se realizaron diversas mediciones y observaciones para evaluar el rendimiento y eficiencia del sistema en el almacenamiento y suministro de energía.

La primera prueba de carga fue realizada el día 20 de junio de 2024 de 10:00 am hasta las 13:00 pm en condiciones climáticas con el cielo completamente nublado durante toda la valoración, con temperaturas de entre los 9 y 18 °C durante el día.

La segunda prueba de carga fue realizada el 24 de junio de 2024 de 09:00 am a 15:00 pm, en condiciones climáticas de sol a cielo despejado, con temperaturas entre los 7 y 25 °C durante el día con base en los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (INAMHI, Monitor UV, 2024) (INAMHI, Pronóstico por localidades, 2024).

Posteriormente, habiendo desconectado la carga, se realizaron las pruebas de descarga. La primera prueba fue realizada desde las 13:30 pm hasta las 16:30 pm, y desde las 18:00 pm hasta las 19:58 pm. La segunda prueba fue realizada desde las 09:00 pm hasta las 12:45 pm. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

### Resultados

#### *Medición del Voltaje de las Baterías Durante la Carga*

En la primera prueba, el voltaje inicial de las baterías fue de 11.6 V y el final de 12.55 V; mientras que, en la segunda prueba, el voltaje inicial de las baterías fue de 10.55 V y el final de 13.4 V. En la Tabla 10 se presentan los voltajes evidenciados durante los procesos de carga de las Baterías.

**Tabla 11.***Mediciones de voltaje durante el proceso de carga*

<b>Hora de medición</b>	<b>Voltaje (V) Prueba 1</b>	<b>Voltaje (V) Prueba 2</b>
09:00 AM		10.55
10:00 AM	11.6	11.21
11:00 AM	12.1	12
12:00 PM	12.37	12.8
13:00 PM	12.55	13.4

*Nota:* Desarrollado por Autores.***Voltaje y Capacidad Entregada por el Sistema Fotovoltaico***

Durante los procesos de carga de las baterías el voltaje tomado a la salida del arreglo fotovoltaico fluctuó entre los 18.4 y 21 V durante la primera prueba, y entre los 18.9 y 22.4 V durante la segunda prueba, mientras que a la salida del MPPT fluctuó entre los 12.3 y 12.9 V durante la primera prueba, y entre los 13.1 y 13.6 V durante la segunda prueba, con una capacidad de 24.56 Ah bajo temperatura ambiente de entre los 18 y 24°C y entre los 19.5 y 24.6 °C respectivamente. En la Tabla 11 se presentan las mediciones tomadas.

**Tabla 12.***Mediciones tomadas del subsistema fotovoltaico durante la carga*

<b>Hora de medición</b>	<b>Voltaje a la Salida del Arreglo PV (V)</b>		<b>Voltaje a la Salida del MPPT (V)</b>		<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>
09:00 AM	—	18.9	—	13.2	—	19.5
10:00 AM	18.4	21.3	12.3	12.21	24	22.3
11:00 AM	18.8	21.9	12.4	12	24	22.7
12:00 PM	20.1	22.4	12.7	12.8	22	24.6
13:00 PM	21	22.1	12.9	13.4	21	23.1

*Nota:* Desarrollado por Autores.

### ***Medición del Voltaje de las Baterías Durante la Descarga***

En la primera prueba, con una carga inicial de 12.4 V se sometió a la batería a un proceso de descarga mediante el inversor a 120 VAC en dos periodos de tiempo con un consumidor de 50 W, hasta los 10.5 V de carga mínima determinada por el inversor; el primer periodo de 3 horas con 30 minutos, y el segundo periodo de 1 hora con 58 minutos. Asimismo, en la segunda prueba, con una carga inicial de 13.4 V se sometió a la batería a un proceso de descarga con un consumidor de 60 W, donde se midió un tiempo de 5 horas con 25 minutos hasta llegar a los 10.5V. En la tabla 12 se presentan las mediciones tomadas durante la descarga.

**Tabla 13.**

*Desempeño de descarga de las baterías bajo una carga de 50 W y 60W*

<b>Prueba 1 a 50 W</b>		<b>Prueba 2 a 60 W</b>	
<b>Hora</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltaje (V)</b>
13:30 PM	12.4	12:00 PM	13.4
14:30 PM	11.9	13:00 PM	12.81
15:30 PM	11.6	14:00 PM	12.49
16:00 PM	11.5	15:00 PM	12.1
18:00 PM	11.5	16:00 PM	11.6
19:00 PM	11.1	17:00 PM	10.9
19:58 PM	10.55	17:25 PM	10.5

*Nota:* Desarrollado por Autores.

### **Discusión**

Los resultados observados brindan una visión más clara acerca del rendimiento y la eficiencia del PV-BESS en condiciones reales de carga y descarga. A continuación, se presenta los principales hallazgos alcanzados.

### ***Integridad y Capacidad de las Celdas después de un Almacenamiento Prolongado***

Como parte del proyecto, se realizó el despiece de las baterías (que habían estado embodegadas y sin uso durante un periodo superior a dos años) hasta llegar a su unidad fundamental, las celdas. En dichas condiciones, el voltaje medido de las celdas se encontraba entre los 3.7 y 3.8 V, lo que es un claro indicio de la capacidad de las baterías de iones de litio para mantener su integridad y capacidad de almacenamiento de energía durante periodos de tiempo prolongados sin una degradación significativa. Este resultado, además de reforzar la viabilidad de reutilización de estas baterías en sistemas estacionarios de almacenamiento de energía, viabiliza la implementación de las baterías de ion litio recicladas que han estado durante largos periodos de tiempo sin utilización en estos sistemas.

### ***Desempeño del Sistema Durante la Carga***

Con base en los datos registrados durante las pruebas de carga del PV-BESS, se respaldó la eficiencia del sistema durante las horas pico determinadas entre las 10 am y 15pm, en condiciones climáticas variables contrastadas entre un día completamente nublado y otro completamente despejado.

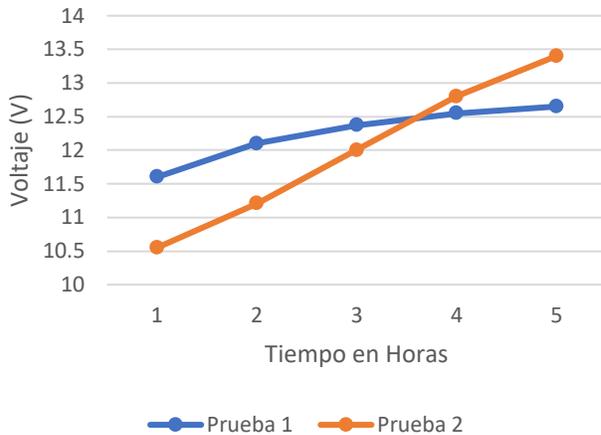
El aumento progresivo del voltaje de las baterías durante las horas pico de sol, desde los 11.6 V hasta los 12.55 V de carga en un día completamente nublado con temperaturas de entre 18 y 24°C, presentó una eficiencia del sistema en la captación de energía de 3 horas, lo que determinó una tasa de carga promedio de 0.3167 V por hora.

Por otro lado, en condiciones de un día completamente soleado con temperaturas de entre 19.5 y 24.6°C, el aumento progresivo desde los 10.55 V de voltaje mínimo del sistema hasta los 13.4 V de carga de las baterías, presentó una mayor eficiencia del sistema en la captación de

energía de 3 horas y 45 minutos, lo que determinó una tasa de carga promedio de 0.7733 V por hora como se observa en la Figura 14.

### Figura 16.

*Mediciones de voltaje durante los procesos de carga*



*Nota:* Se observa una mayor eficiencia de carga durante la prueba 2 llevada a cabo durante un día soleado, frente a la prueba 1 desarrollada durante un día completamente nublado. Desarrollado por autores.

Los resultados obtenidos durante la carga en condiciones climáticas adversas validaron la eficiencia del PV-BESS tanto en la captación como en el almacenamiento de energía renovable.

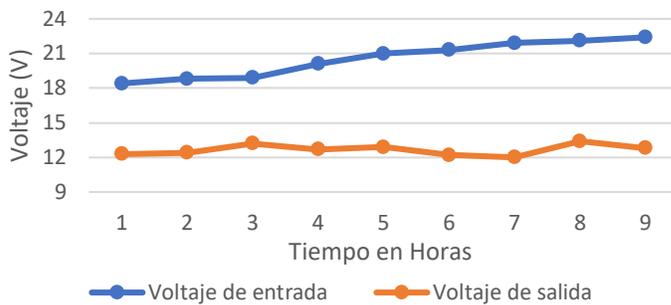
### **Estabilidad del Voltaje.**

Las fluctuaciones del voltaje entre 12.3 y 13.4 V entregada por el MPPT durante las dos pruebas realizadas, es indicador de una operación estable del sistema durante la carga, donde el MPPT ajustó las fluctuaciones de entre 18.4 y 22.4 V entregadas por los paneles solares durante las dos pruebas realizadas, para entregar un voltaje de carga dentro de los parámetros óptimos para las baterías.

Estos datos validan la eficiencia del MPPT en la gestión de la energía percibida por los paneles solares, como se observa en la Figura 16.

**Figura 17.**

*Voltaje de entrada y de salida del MPPT.*



*Nota:* Se compara el voltaje de entrada y de salida del MPPT de las dos pruebas realizadas. Desarrollado por autores.

Asimismo, las mediciones de voltaje de las baterías demostraron un incremento progresivo durante el tiempo de carga, escalando de 11.6 a 12.55 V, y de 10.55 a 13.4 V lo que indica la capacidad de las baterías para acumular energía de manera eficiente.

En efecto, se evidenció una adecuada conversión de la energía solar en energía eléctrica utilizable. El comportamiento observado, además de ser consistente con las especificaciones de los paneles solares y del MPPT, sugiere que el sistema es capaz de operar de manera eficiente bajo condiciones de intermitencia y variabilidad características de la naturaleza de la energía solar en condiciones reales de operación.

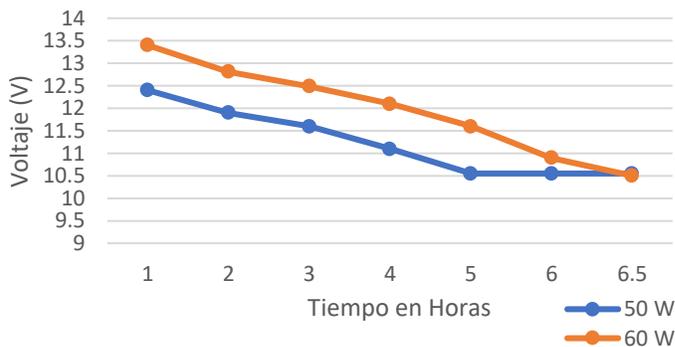
### ***Desempeño del Sistema Durante la Descarga***

En la primera prueba realizada, al desconectar la carga de las baterías, el inversor mostró una diferencia de 0.1 V menor en su estado de carga; al someter a las baterías a un consumo de 50W comenzó con una disminución gradual del voltaje de las baterías desde los 12.4 V hasta los 10.5 V en un lapso de 5 horas con 28 minutos, lo que indica la capacidad del sistema para suministrar la energía almacenada en el PV-BESS de manera continua y sostenida a una tasa de 0.364 V por hora con una carga de 50W.

En la segunda prueba de descarga, una vez desconectada la carga de la batería, se la sometió a un consumidor de 60 W. El inversor mostró una disminución gradual del voltaje de 13.4 V a 10.5 V en un lapso de 5 horas con 25 minutos, lo que ratifica la capacidad del sistema para suministrar la energía almacenada en el PV-BESS de manera continua y sostenida a una tasa de 0.537 V por hora con una carga de 60 W. En la Figura 16 se presentan los voltajes medidos durante las 2 pruebas de descarga.

**Figura 18.**

*Mediciones de voltaje durante los procesos de descarga*



*Nota:* Se observa un menor voltaje inicial durante la prueba 1 a 50 W, al igual que un menor tiempo de suministro.

Desarrollado por autores.

Con base en las limitaciones del sistema para contener el estado de deterioro de las baterías, la energía nominal esperada del sistema fue de 378 Wh. En este contexto, se esperaba que el sistema sostuviese una carga de 50 W durante un periodo de 7 horas con 56 minutos, y una carga de 60 W durante un periodo de 6 horas con 20 minutos. Evidentemente, los resultados obtenidos indicaron una eficiencia menor a lo esperado, donde la primera prueba fue un 31 % menos eficiente de lo esperado, lo que se atribuye, entre otras causas, al hecho de haber realizado las pruebas con una carga incompleta de 12.55 V. Por otro lado, la segunda prueba fue un 14.4 % menos eficiente de lo esperado, lo que puede ser atribuido a factores como la resistencia interna de la batería y a la eficiencia del inversor.

En todo caso, se consideró que el desempeño evidenciado del sistema durante la descarga es adecuado para aplicaciones de carga moderada domestica dentro de los parámetros establecidos.

### ***Capacidad del Sistema***

La capacidad del sistema PV-BESS está determinada en función del voltaje y la corriente entregada por el inversor. Dado que los voltajes se encontraron dentro de los rangos esperados, se determinó que la capacidad del sistema es eficiente en el almacenamiento y suministro de energía.

### ***Viabilidad económica***

En el contexto del desarrollo del PV-BESS, en la Tabla 13 se presentan los costos asociados a los materiales necesarios para su implementación.

**Tabla 14.**

#### *Resumen de Costos*

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario USD</b>	<b>Costo Total USD</b>
Paneles solares	4	75	300
MPPT	1	45	45
Controlador STC-3008	1	35	35
Inversor	1	340	340
Cable #8 AWG (m)	12	3.08	36.96
Cable # 6 AWG (m)	4	3.59	14.36
Cable # 4 AWG (m)	4	9.7	38.8
Conectores MC4	6	5	30
Breaker 10A	2	7	14
Breaker 30A	1	12	12
Estructura de montaje de paneles	1	80	80
<b>TOTAL</b>			<b>946.12</b>

*Nota:* Desarrollado por Autores.

Las baterías de iones de litio, consideradas el componente principal del sistema, han sido previamente utilizadas en vehículos eléctricos lo que las convierte en baterías de segunda vida; razón por la cual, en el presente análisis se descarta su costo, manteniendo una inversión total de 946.12 USD.

Considerando que actualmente el costo promedio del kilowatt hora en Ecuador se encuentra en los 0,10 USD, la capacidad del sistema para suministrar 378 Wh, y de almacenar 1,500 W de energía fotovoltaica durante las horas pico del día (que representan el 75% promedio de la energía solar diaria), significa un ahorro diario de 0.15 USD, y anual de 54.75 USD. En este contexto, la inversión realizada de 946.12 USD tomaría 17.28 años para su retorno.

Sin embargo, con la ampliación del sistema fotovoltaico a 25 paneles solares en paralelo, el sistema estaría en capacidad de almacenar 2,500 W, y de suministrar 9,375 Wh. Bien si la inversión aumentase a 2,521.12 USD debido a los 21 paneles solares adicionales en el arreglo fotovoltaico, el ahorro diario también aumentaría a 0.94 USD, y anual a 342.18 USD, lo que determina una reducción del tiempo de retorno a 7.36 años.

Para determinar la viabilidad económica del proyecto, se calculó los indicadores de Valor Actual Neto (VAN) para determinar la rentabilidad, y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar el rendimiento de la inversión para los dos casos planteados.

Por un lado, con una inversión inicial de 946.12 USD, un ahorro anual de 54.75 USD asumiendo una de una tasa de crecimiento anual compuesta del 5%, durante un Tiempo de 17.28 años, a una tasa de descuento estándar del 10%, se obtiene un TIR de 4.25 % con un VAN negativo de -347.66 USD. Por otro lado, con una inversión inicial de 2,521.12 USD, un ahorro anual de 342.18. USD asumiendo una de una tasa de crecimiento anual compuesta del 5%,

durante un Tiempo de 7.36 años, a una tasa de descuento estándar del 10%, se obtiene un TIR de 2.44 % con un VAN negativo de -619.04 USD.

Los resultados obtenidos para ambos escenarios indican que, bajo las circunstancias actuales, la implementación del PV-BESS no es económicamente viable debido por un lado a que la TIR obtenida no alcanza ni a la mitad de la tasa de descuento estándar del 10%, lo que indica que la inversión no generará un ahorro significativo en términos monetarios. Asimismo, en ambos escenarios se obtuvo un VAN negativo lo que indica que los ahorros generados por el sistema no compensan la inversión. Sin embargo, podría ser una alternativa para zonas sin acceso a un suministro de electricidad por red doméstica, permitiendo que las personas que viven en estas zonas tengan acceso a energía eléctrica.

### ***Impacto ambiental y consideraciones de sostenibilidad***

El PV-BESS, a pesar de no ser económicamente viable, representa el compromiso de la industria automotriz con el medio ambiente y la sostenibilidad de las futuras generaciones.

En efecto, la Agencia Internacional de Energía (2024) destacó que el 42% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> durante el 2023, se debieron a la generación de energía mediante el uso de combustibles fósiles. En este contexto, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norte América (EPA), establece que cada kilowatt hora producido a partir de combustibles fósiles representa una emisión de 0.34 kg de CO<sub>2</sub>. (IEA, 2024) (EPA, 2024)

Si se considera únicamente el aprovechamiento de 2,500 W de energía solar en sustitución de la generada mediante el uso de combustibles fósiles, el resultado es de un ahorro diario de 0.85 kg de CO<sub>2</sub>, y anual de 310.25 kg de CO<sub>2</sub>, además de la mitigación de otras emisiones contaminantes como los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> y los dióxidos de azufre SO<sub>2</sub>, que contribuyen a la formación de smog y de la lluvia ácida.

La implementación de este sistema en la Facultad de Ingeniería Automotriz, además de proveer un beneficio energético, sirve como una herramienta educativa para estudiantes y personal que facilita la comprensión y el compromiso con la sostenibilidad y el desarrollo de nuevas tecnologías que implementen energías limpias. En efecto, la integración de las energías renovables en el entorno académico promueve además una cultura de sostenibilidad orientada a innovar en los desafíos ambientales actuales y futuros.

## Conclusiones

El estudio realizado estableció de manera concluyente la viabilidad de implementar una segunda vida útil para las baterías de iones de litio que han cumplido con vida útil automotriz. Las propiedades intrínsecas de estas baterías, como su alta densidad energética, estabilidad de ciclo, baja tasa de autodescarga y capacidad de respuesta en diferentes condiciones operativas las hace ideales para aplicaciones estacionarias. Las pruebas realizadas demostraron que, incluso después de un almacenamiento prolongado de más de dos años, las celdas mantenían voltajes nominales de entre 3.7 y 3.8 V, indicando una preservación de su integridad y capacidad de almacenamiento. Además, el cambio de condiciones operativas de un entorno automotriz, caracterizado por ciclos de carga y descarga rápidos y variables, a un entorno estacionario con ciclos más predecibles y controlados, contribuye a prolongar la vida útil de estas baterías.

Este cambio de uso, además de ser técnicamente viable, ofrece una alternativa sostenible para la gestión de estos residuos automotrices, alineándose con las crecientes demandas de la industria.

Asimismo, se implementó exitosamente un PV-BESS con la capacidad esperada dentro de los rangos de eficiencia en la captación energética y seguridad. La eficiencia del sistema se manifiesta por un lado en la captación de la energía solar y su optimización a través del MPPT, y, por otro lado, en el monitoreo continuo del voltaje, intensidad y temperatura, que inciden en la capacidad del sistema para responder a factores de riesgo. Asimismo, a pesar de haber determinado una descarga 14.4 % por debajo de lo esperado, atribuible a la eficiencia del 90 % del inversor y a las pérdidas debido a la degradación de las baterías, se obtuvo una conversión y suministro estable de la energía almacenada a 120 V con onda pura realizada por el inversor para su consumo. Evidentemente, el desempeño integral del sistema, además de cumplir con las

expectativas de eficiencia energética, proporciona una solución segura y fiable para aplicaciones estacionarias domésticas.

El análisis técnico y económico del sistema PV-BESS respalda su viabilidad.

Desde un análisis técnico, el sistema demostró ser capaz de operar de manera eficiente y sostenible, proporcionando energía continua y fiable bajo condiciones de operación reales. Ahora bien, desde un análisis acerca de la viabilidad económica, los indicadores VAN y TIR indican que la inversión no representa un ahorro significativo que la compense, dejando abierta la necesidad de reducir costos de implementación, optimizar el sistema y buscar beneficios gubernamentales.

En este contexto, más allá de no ser económicamente viable, es ambientalmente viable. El reciclaje y reutilización de baterías de iones de litio para aplicaciones estacionarias no solo reduce el impacto ambiental asociado con su disposición bajo otras alternativas, sino que contribuye también a la mitigación de la dependencia de fuentes de energía no renovables a mediano y largo plazo. Este enfoque se alinea con el compromiso de la industria automotriz de adoptar prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente. La implementación de sistemas PV-BESS a partir de baterías recicladas es una solución práctica y efectiva que contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono de la industria. Además, esta práctica promueve una economía circular, donde los recursos se reutilizan y reciclan, minimizando el desperdicio y optimizando el uso de materiales existentes.

### **Recomendaciones**

Para reforzar la valoración sobre la viabilidad y eficiencia del PV-BESS, es fundamental implementar un monitoreo continuo del estado de salud y capacidad residual del sistema para determinar los ciclos de vida restantes de las baterías de iones de litio en su segunda vida. Debido a que se espera un ciclo de carga y descarga por día, se sugiere llevar un control de los valores de consumo y de carga mostrados por el sistema, a fin de obtener un registro que permita visibilizar variaciones importantes que sugieran cambios necesarios de profundizar en nuevos estudios.

Uno de los factores fundamentales para aprovechar de manera eficiente las baterías de iones de litio en una segunda vida útil, es el económico. Más allá de la captación de energía, la eficiencia del almacenamiento y suministro dependen del BMS y el Inversor. En este contexto, se sugiere implementar tecnologías más avanzadas del BMS y un inversor híbrido, lo que representaría una mejora en la eficiencia del suministro energético y la vida útil de las baterías reutilizadas.

Asimismo, para futuras investigaciones se recomienda extender el estudio a otros tipos de baterías de iones de litio con el objeto de proporcionar una visión más completa de las posibilidades de reutilización de estas baterías. Además, se recomienda realizar pruebas adicionales con diferentes configuraciones en el arreglo fotovoltaico, y en diferentes condiciones climáticas para validar la eficiencia del sistema en diversas condiciones y escenarios reales de operación.

### Bibliografía

- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2019). *Balance Energético Nacional 2019*. Obtenido de Recursos y Energía:  
<https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/1.ENERGÍA-SOCIEDAD-Y-AMBIENTE-BEN.pdf>
- Cueva, E. (9 de Agosto de 2014). Current state and the future of the energy density and specific power of lithium ion batteries. Ingolstadt University of Applied Sciences, Alemania.
- Shuai, M., Modi, J., Peng, T., Chengyi, S., Jianbo, W., Jun, W., . . . Wen, S. (Diciembre de 2018). *Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review*. Obtenido de ScienceDirect. Progress in Natural Science: Materials International, 28(6), 653-666. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007118307536>
- Peralta, X. (Marzo de 2018). *Estudio del funcionamiento del conjunto de baterías del Kia Soul EV*. Obtenido de Repositorio Universidad Internacional del Ecuador:  
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2522/3/T-UIDE-179.pdf>
- INAMHI. (06 de 2024). *Monitor UV*. Obtenido de Visualizador de datos de Índice UV:  
<http://186.42.174.236/IndiceUV2/>
- Barreto, C. D. (2023). *Análisis de Factibilidad para la Implementación de un Sistema de Almacenamiento de Energía en el Sistema Eléctrico de Potencia de la EERSSA*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26021/1/UPS-CT010871.pdf>
- Collaguazo, J. R. (Septiembre de 2020). *Control De Voltaje Óptimo Para Sistemas De Almacenamiento De Energía De Batería (BESS Acoplados A Microrredes De AC*

*Utilizando Algoritmos LQG*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19171/1/UPS%20-%20TTS111.pdf>

Mosquera, D. A., & Chávez, C. F. (2023). *Diseño e Implementación de Sistema de Monitoreo para Sistema Híbrido Fotovoltáico*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19171/1/UPS%20-%20TTS111.pdf>

Guerrero, S. A. (2023). *Ubicación Óptima De Sistemas De Almacenamiento De Baterías Para Minimizar Pérdidas En El Sistema De Distribución Considerando Indicadores En La Calidad De Energía*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24645/1/TTS1286.pdf>

Dresser, W., McKenzie, O., Seaman, D., Sussex, J., & Wharton, J. (14 de Junio de 2019). *PV Hybrid Inverter & BESS*. Obtenido de California Polytechnic State University. Electrical Engineering Department:  
<https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1496&context=eesp>

Mohsen, E., Amin, R., Andrey V. , S., Mohammad H. , M., & Zhao Yang, D. (15 de Noviembre de 2022). *Battery energy storage systems (BESS) and the economy-dynamics of microgrids: Review, analysis, and classification for standardization of BESSs applications*. Obtenido de ScienceDirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X22016152>

M.A. Hannan, S. W. (Octubre de 2021). *Battery energy-storage system: A review of technologies, optimization objectives, constraints, approaches, and outstanding issues*. Obtenido de ScienceDirect:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X21007349#preview-section-cited-by>

Medina Catay, F. M. (2021). *Sistema De Almacenamiento De Energía En Batería (BESS) Y Su Influencia En La Demanda Eléctrica Diaria Del Sistema De Distribución SE0062*

(HUANCAYO). Obtenido de Universidad Nacional del Centro del Perú:

[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7604/T010\\_70758672\\_T%281%29.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7604/T010_70758672_T%281%29.pdf?sequence=1)

Chamba, S., Vargas, W., Echeverría, D., & Riofrio, J. (2022). *Regulación Primaria de*

*Frecuencia Mediante Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías en el*

*Sistema Eléctrico Ecuatoriano*. Obtenido de Revista Técnica energía, 19(1), 13-21.:

<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.506>

Fajardo, M. F. (2018). *Estudios Eléctricos De Aplicaciones En Transmisión Con Sistemas De Almacenamiento De Energía Con Baterías (BESS) Para Su Integración En El Sistema*

*Interconectado Nacional*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José Caldas:

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13845/FajardoRodr%EDguezManuelFernando2018.pdf;jsessionid=A420B7DCB9E14ED6AADA14283BD8934A?sequence=1>

Yuping, W., Xiangyun, Y., Shiyong, Z., & Teunis, v. (7 de Mayo de 2015). *Lithium-Ion*

*Batteries: Fundamentals and Applications*. Obtenido de Taylor & Francis Group:

<https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/b18427/lithium-ion-batteries-yuping-wu>

- Cueva, E., Lucero, J., Guzmán, A., Rocha, J., & Espinoza, L. (30 de Marzo de 2018). *Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices*. Obtenido de Enfoque UTE: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261854015/html/>
- Jeju Soul. (6 de Septiembre de 2016). *Comparing layout of the Soul EV battery with other EVs*. Obtenido de MyKiaSouLEV: <https://www.mykiasoulev.com/threads/comparing-layout-of-the-soul-ev-battery-with-other-evs.662/>
- EV-Specifications. (2024). *2015 KIA Soul EV - Specifications*. Obtenido de EV Specifications: <https://www.evspecifications.com/en/model/f45094>
- Goodenough, J. B., & Park, K.-S. (2013). *The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective* 135, 4, 1167–1176. Obtenido de American Chemical Society: <https://doi.org/10.1021/ja3091438>
- Naciones Unidas. (2024). *Sostenibilidad*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/impacto-académico/sostenibilidad>
- Schnéider Electric. (2017). *Conductor Ampacity Based on the 2017 National Electrical Code*. Obtenido de Schnéider Electric - North America Standards Reference: <https://www.productinfo.schneider-electric.com/na-std-ref/viewer/5c0fee4b347bdf0001de4d55/5c0fee5b347bdf0001de4d6b/r/ConductorAmpacityBasedOnThe2017Nati-F20AB318>
- EPA. (2024). *Energy and the Environment*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency EPA: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
- IEA. (02 de 2024). *CO2 Emissions in 2023: A new record high, but is there light at the end of the tunnel?* Obtenido de International Energy Agency:

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/33e2badc-b839-4c18-84ce-f6387b3c008f/CO2Emissionsin2023.pdf>

Salazar, G. S. (Marzo de 2024). *Modelo de Despacho Óptimo de Energía Eléctrica de Corto Plazo para la Micro Red Baltra Santa Cruz Considerando Restricciones de Seguridad*.

Obtenido de Universidad Politécnica Nacional:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25306>

INAMHI. (2024). *Pronóstico por localidades*. Obtenido de INAMHI:

<https://www.inamhi.gob.ec/pronostico/PronosticoEcuador.pdf>

Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (Enero de 2024). *Energy Production and Consumption*.

Obtenido de Our World In Data: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>

Ecuador, P. C. (16 de 04 de 2024). *Decreto Ejecutivo No. 260*. Obtenido de Lexis:

[https://strapi.lexis.com.ec/uploads/DE\\_260\\_20240408195832\\_1\\_909e5f6247.pdf](https://strapi.lexis.com.ec/uploads/DE_260_20240408195832_1_909e5f6247.pdf)

Ortega, O. S., & Peralta, W. P. (2020). *Desarrollo de un Sistema de Diagnóstico y Recuperación de Baterías de Alto Voltaje de Vehículos Híbridos*. Obtenido de Universidad Politécnica

Salesiana del Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18709/1/UPS-CT008755.pdf>

Xu, K. (2014). Electrolytes and Interphases in Li-Ion Batteries and Beyond. *American Chemical Society. Chemical Reviews*. [dx.doi.org/10.1021/cr500003w](https://doi.org/10.1021/cr500003w), 11503-11618. Obtenido de

Chemical Reviews. Electrolytes and Interphases in Li-Ion Batteries and Beyond.

Han, X., Ouyang, M., Lu, L., Li, J., Zheng, Y., & Li, Z. (Abril de 2014). *A comparative study of commercial lithium battery cycle life in electrical vehicle: Aging mechanism*

*identification*. Obtenido de ScienceDirect:

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.029>

Masaki, Y., Ralph J., B., & Akiya, K. (2009). *Lithium-Ion Batteries*. Springer-Verlag, New York, NY, United States of America. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-34445-4>.

## Anexos

### **Anexo 1: Manual de Mantenimiento del Sistema PV-BESS**

Este manual de mantenimiento preventivo está diseñado para guiar al usuario en la correcta supervisión del funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía fotovoltaica en baterías (PV-BESS) de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad internacional del Ecuador.

#### ***Consideraciones de Seguridad***

- ✓ **Desconexión Segura:** Antes de realizar cualquier mantenimiento, asegúrese de desconectar el sistema de todas las fuentes de energía.
- ✓ **Equipo de Protección Personal:** Implemente el uso de Equipo de Protección Personal Adecuado, como guantes aislantes y gafas de seguridad.
- ✓ **Procedimientos de Emergencia:** Para cada manipulación del sistema, notifique primero al personal encargado, ubique el extintor y familiarícese con los procedimientos de emergencia frente a situaciones de riesgo.

#### ***Mantenimiento Preventivo***

##### **Diario:**

- ✓ **Revisión Visual:** Inspeccione visualmente todos los componentes del sistema para detectar signos de desgaste o daño.
- ✓ **Monitoreo de Temperatura:** Verifique la temperatura leída por el controlador STC-3008 para asegurar que esté dentro del rango seguro de 10°C y 30°C.

##### **Semanal:**

- ✓ **Limpieza de Paneles Solares:** Limpie los paneles solares para asegurar la máxima captación de energía.

- ✓ **Verificación de Conexiones:** Asegúrese de que todas las conexiones eléctricas están firmemente aseguradas y sin corrosión.

**Mensual:**

- ✓ **Prueba de Carga y Descarga:** Realice una prueba de carga y descarga de las baterías para evaluar su capacidad actual.
- ✓ **Mantenimiento del Inversor:** Verifique que el inversor esté funcionando correctamente y sin sobrecalentamientos.

***Mantenimiento Correctivo***

1. **Reemplazo de Componentes:** Si algún componente muestra signos de daño o mal funcionamiento, detenga la operación inmediatamente hasta que sea reemplazado.
2. **Reparación de Conexiones:** Si se detecta alguna conexión floja o corroída, repárela o reemplácela para evitar pérdidas de eficiencia y riesgos de seguridad.

## **Anexo 2: Manual de Operación del Sistema PV-BESS**

### ***Introducción***

Este manual de operación está diseñado para guiar al usuario en la correcta utilización del sistema de almacenamiento de energía fotovoltaica en baterías (PV-BESS) de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad internacional del Ecuador.

### ***Componentes del Sistema***

- ✓ Paneles Solares
- ✓ Baterías de Iones de Litio (225Ah, 11.25V)
- ✓ Controlador de Carga MPPT
- ✓ Inversor de Onda Pura (2500W, 12VDC a 110VAC)
- ✓ Controlador de Temperatura STC-3008
- ✓ Ventilador de Enfriamiento
- ✓ Sensores de Temperatura NTC 10K

El sistema se encuentra conectado en 3 puntos clave:

1. Del arreglo fotovoltaico al Controlador MPPT.
2. Del MPPT a las Baterías.
3. De las Baterías al Inversor.

### ***Operación del Sistema***

#### **Encendido del Sistema**

1. **Verificación Inicial:** Asegúrese de que todas las conexiones están firmemente conectadas y que no hay daños visibles en los cables y componentes.
2. **Verificar operación del Controlador MPPT:** Asegúrese de que el controlador MPPT se encuentre encendido y funcionando bajo los umbrales de operación de Voltaje mínimo en 10.5 V, y máximo de 13.4 V.
3. **Encender el Inversor:** Encienda el inversor para comenzar la conversión de energía VDC a VAC.

#### 4. **Verificar el funcionamiento del Controlador de Temperatura STC-**

**3008:** Verifique que los umbrales de temperatura se encuentren entre los 10 y los 30° C, asegurándose de que los sensores están correctamente colocados.

#### **Operación Diaria**

1. **Monitoreo:** Verifique regularmente las lecturas del controlador MPPT, el inversor y el controlador de temperatura.
2. **Consumo de Energía:** No exceda la capacidad del inversor (2500W).
3. **Temperatura:** Asegúrese de que la temperatura de las baterías se mantiene dentro de los límites seguros establecidos.

#### **Desconexión/Conexión**

Para desconectar el sistema, el inversor debe estar apagado, y se debe desconectar en primer lugar los paneles del MPPT, en segundo lugar, las baterías en el MPPT, y en tercer lugar las baterías en el inversor. Para cada desconexión, se debe empezar desconectando el terminal negativo (-) y posteriormente el positivo (+), asegurando los terminales expuestos para evitar daños al sistema y a la integridad física del operario. Para la conexión se debe seguir el mismo proceso de manera inversa a la desconexión.

**Anexo 3: Manual de Operación del Controlador MPPT**

# User's Manual

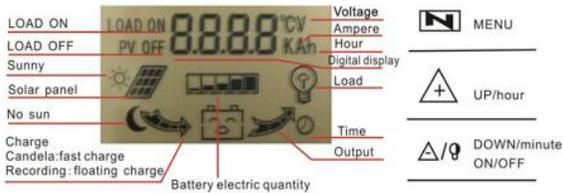
## SAFETY INSTRUCTIONS

- 1.This controller is 12V/24V automatic adaptation, or another version 12/24/36/48/60V manually set the appropriate battery charging mode. When installing for the first time, please make sure that the battery has enough voltage to start and automatically set the controller parameters.
- 2.The battery cable should be as short as possible to minimize loss.
3. This controller is suitable for all kinds of lead-acid batteries (including open, sealed, gel and other batteries). **If you charge a lithium battery, you must be familiar with its battery characteristics, and you must set the charging parameters before you can use it.** For example: charge 12V lithium battery, prohibit output protection setting 9.5V, full protection 12.2V, start charging voltage 11.5V when the battery drops.
- 4.The charge regulator is only suitable for ,regulating solar modules **Never** connect another charging source to the charge regulator..

## PRODUCT FEATURES

- 1.industrial-grade master chip, 16 AD sampling accuracy, temperature, charging current, discharge current accurate real-time display, power generation at a glance
- 2.Automatic focusing MPPT tracking charging, high charging efficiency, non-stop detection during charging, bidirectional focusing tracking.
- 3.large-screen LCD display, adjustable charging and discharging parameters. Ultra-wide charge and discharge adjustable, as long as you understand the characteristics of the battery set its corresponding charging parameters, you can charge a battery. When the output is off, the time can be adjusted, which is more convenient (on the market, there is no point adjustment).
4. a complete three-phase charge management, effectively protect the battery, the battery is more durable.
5. built-in overheating, overcurrent, short circuit, open circuit protection, reverse connection protection, when the fault is eliminated, the controller automatically recovers, does not damage the device.
- 6.bidirectional MOS tube anti-backflow circuit, high-power charging mode, ultra-low heat.
- 7.R5.0 solar charging DC plug, R5.0 DC lamp output DC plug, convenient connection.

## LCD DISPLAY/KEY



MENU: Used to switch the parameter display interface and settings, lightly press to switch, long press to enter to modify the parameters, and automatically remember the parameters after modification.  
 UP : press to increase value.  
 DOWN: Press to decrease value. Add as follows, rearrange suitable positions in the main interface, long press the middle button to display rEST, reset all parameters except the battery.

## SYSTEM CONNECTION

1. Connect the battery to the charge regulator-plus and minus.
- 2.Connect the photovoltaic module to the regulator-plus and minus.
- 3.Connect the consumer to the charge regulator-plus and minus.

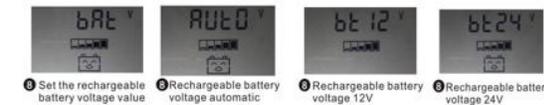
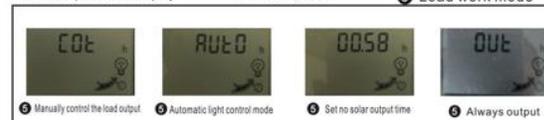
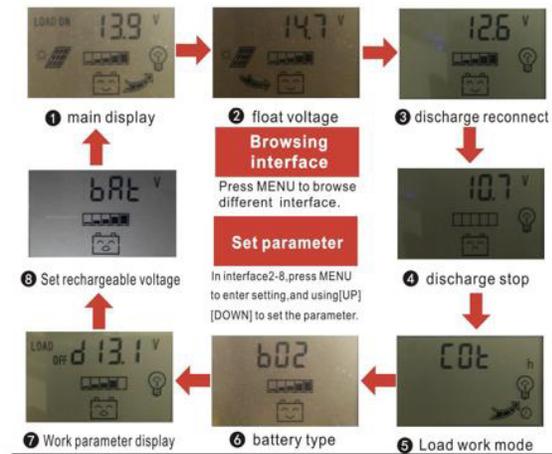
## Setting Description:

1. Main interface Press the menu key, select the interface to adjust the corresponding parameters, and set the working status of the equipment
- 2.Load working mode Cot manual control load output Auto automatic light control mode|00:58|OUT continuous output
3. Set real-time working status d13.1V display battery voltage value load output current display.d29.1°C temperature display d2.1 A solar charging flow shows that high current charging and charging arrows flow fast, and current flows slowly. The d0.0A output load current shows that the large current discharge discharge arrow flows fast and the current flows slowly.
4. BA1 sets the voltage value of the rechargeable battery, AU10 automatic identification mode, low-voltage machine 12/24V, high-voltage machine 12V 24V 36V 48V 60V

The reverse order applies when deinstalling!  
 An improper sequence order can damage the controller!



## DISPLAY/SETTING



Two models: 12/24V; 12/24/36/48/60V, the battery has a memory function after setting, resetting parameters does not affect the battery setting.

TROUBLE SHOOTING

Situation	Probable cause	Solution
Charge icon not on when sunny	Solar panel opened or reversed	Reconnect
Load icon off	Mode setting wrong	Set again
	Battery low	recharge
Load icon slow flashing	Over load	Reduce load watt
Load icon fast flashing	Short circuit protection	Auto reconnect
Power off	Low Battery voltage /reverse	Check battery/connection
Suddenly not charging	Solar energy disappears, only arrows	Overheat protection, selfrecovery of temperature drop

TECHNICAL PARAMETER

MODEL	BL912A	BL912B	BL912C	BL912D	BL912E	BL912F
Charge current	20A	30A	40A	50A	60A	120A
Discharge current	10A	10A	20A	20A	30A	30A
Equalization 12V/24V	B01 Lithium	B02 Gel	B03 Flood			
	12. 2V/24. 4V	14. 2V/28. 4V	14. 6V/29. 2V			
Max Solar input	18V solar panel for 12V battery, 36V solar panel for 24V <40V					
Equalization 36V/48V	B01 Lithium	B02 Gel	B03 Flood			
	37V/49V	42V/56V	44V/58V			
Max Solar input	54V solar panel for 36V battery and 72V solar panel for 48V <80V					
Equalization 60V	B01 Lithium	B02 Gel	B03 Flood			
	61V	71V	73V			
Max Solar input	60V battery is charged with 90V solar panel, voltage is less than 100V					
12V Float	14. 2V (default,adju table) 12. 0--15. 0V					
12V Discharge stop	10. 7V (default,adju table) 9. 0--11. 5V					
12V Discharge reconnect	12. 5V (default,adju table) 11. 0--13. 0V					
24V Float	28. 4V (default,adju table) 24. 0--29. 0V					
24V Discharge stop	19. 0V (default,adju table) 18. 0--22. 0V					
24V Discharge reconnect	22. 0V (default,adju table) 22. 0--26. 0V					
36V Float	42. 0V (default,adju table) 36. 0--45. 0V					
36V Discharge stop	30. 0V (default,adju table) 27. 0--33. 0V					
36V Discharge reconnect	38. 0V (default,adju table) 36. 0--42. 0V					
48V Float	56. 0V (default,adju table) 48. 0--60. 0V					
48V Discharge stop	40. 0V (default,adju table) 36. 0--44. 0V					
48V Discharge reconnect	50. 0V (default,adju table) 48. 0--56. 0V					
60V Float	71. 0V (default,adju table) 60. 0--75. 0V					
60V Discharge stop	50. 0V (default,adju table) 45. 0--55. 0V					
60V Discharge reconnect	63. 0V (default,adju table) 60. 0--70. 0V					
Self-consume	<10mA					
USB output	5V/2A Max					
Operating temperature	-10+60 °C					
Size/Weight	170*92*45mm/450g					

Device number binding instructions

Only devices with antennas have APP function, only the Chinese market can use APP machines

- Click the device number cloud allocation option in the software My page:

Install RuiBlue Cloud Control APP, support Android and Apple mobile phones. There are mobile data module version and WiFi version (Foreign version). One mobile phone manages multiple modules, or multiple mobile phones manages one module, which is authorized and managed by the main administrator. The example is the installation instructions for Android phones.

- On the assignment interface, click Scan Device and Device Number, shoot a QR code or manually enter the device number or module number:
- After the input is complete, click the bind button to bind:

example 13800000000  
password:123456



BL-912V APP INSTALLATION PROCESS



- Scan the QR code on your Android phone to enter <https://fir.sdhzw.cn/5w4b> Download and install the software, enter the installation password 123456
- The mobile phone scans the QR code of the machine, adds the device, and enters the device name to facilitate multi-device and multi-project operations.
- Apple mobile phone installation  
A. <https://apps.apple.com/cn/app/%E8%93%9D%E8%95%8A%E4%BA%91%E6%8E%A7/id1580688215>  
B. Search for "RuiBlue Cloud Control" installation in the appstore.

4. Instructions for use



Memory and monitoring of daily power generation.

Instructions for remote control APP

1. APP interface description



- The name can be modified to facilitate management.
- Data collection corresponds to 5, which displays the current working status of the equipment.
- Parameter configuration can modify the solar controller parameters, and automatically memorize them after modification
- Real-time power generation collection and display, daily sunlight utilization, and clear records of power generation.

2. Solar controller remote control adjustment



Use battery type settings: 1, lithium battery, 2, gel battery, 3, lead-acid battery

It is effective in timing output mode. Turn off the light by the hour after no sunlight, the range is 0-23 hours.

Effective in timing output mode, turn off the light by minute after no sunlight, the range is 0-59 minutes.

Set the battery's full voltage value to prevent over charging damage to the battery. The setting range is 12.0-15.0V. You can also automatically select the appropriate parameters when the battery is selected.

Set the use mode of the load: 0 manual control load output, 1 automatic light control mode, 2 load output when there is no sunlight, 3 always output four use states Set the battery's over-discharge voltage value to prevent over-discharge damage to the battery. The setting range is 9.0-12.0V. You can also choose the battery to automatically select the appropriate parameters.

Load output control, close or open, and display the current status through data collection.

Battery voltage selection, select the voltage value of the rechargeable battery, automatic detection mode (low-voltage models only 12V and 24V batteries), or high-voltage models lock 12V, 24V, 36V, 48V, 60V batteries.

\* Product specifications are subject to change without prior notice.

**Anexo 4: Especificaciones del Inversor JARXIOKE**



	<p><b>Low Voltage Shut-off</b>      9.5V±0.5V (Please refer to the battery manual for lithium battery)</p>
	<p><b>High Voltage Shut-off</b>      16V±0.5V (Please refer to the battery manual for lithium battery)</p>
	<p><b>USB Output Current</b>      5V 3.4A USB Ports</p>
<p><b>Continuous Output</b>      2500 Watts</p>	<p><b>Built-in smart cooling fan</b>      Automatically run when the temperature reaches 104°F or</p>
<p><b>Input Voltage</b>      Rated 12Vdc (10-16V for lead acid battery, Please refer to the battery manual for other types of batteries)</p>	<p><b>Output Wave</b>      Pure Sine Wave ( True Sine Wave )</p> <p><b>Type-c</b>      Max 18w</p>
<p><b>Output Voltage</b>      AC 120V ±10% 60Hz±1Hz</p>	<p><b>Overheat Shutdown</b>      149°F±8°F</p>
<p><b>Low Voltage Alarm</b>      10vDC (Please refer to the battery manual for lithium battery )</p>	<p><b>No load current</b>      0.9A</p>
<p><b>Built-in protections</b>      Overload protection, Over voltage protection, Low voltage protection, Over heat protection, Short circuit protection</p>	
<p><b>Packing list</b>      2500W pure sine wave inverter, 1 pair of 3AWG battery cables, 3.2ft grounded battery cable, remote control and user manual, 24 months service.</p>	

Anexo 5: Manual del Controlador de Temperatura STC-3008

# STC-3008

## Dual display two-way thermostat

**Main function**

Dual display two-way thermostat. Switch the modes between cool and heat. Control temperature by setting the temperature set value and the difference value; Temperature calibration; Refrigerating control output delay protection; Alarm when temperature exceeds temperature limit or when sensor error.

**Specification and size**

Front panel size: 75(L)x34.5(W)(mm)  
 Mounting size: 71(L)x29(W)(mm)  
 Product size: 75(L)x34.5(W)x85(D)(mm)  
 Sensor length: 1m(include the probe)

**Technical parameters**

Product Name: Dual display two-way thermostat  
 Housing material: ABS gray flame retardant molded case  
 Temperature measuring range: -55°C~120°C  
 Power supply: 110-220VAC±10%, 50 / 60Hz (or DC12V / DC24V)  
 Accuracy: ±1 °C  
 Temperature measurement accuracy: 0.1 °C  
 Humidity measurement accuracy: 3%  
 Output control: relay output  
 Output power: MAX 10A  
 Sensor: NTC\*2

**Panel instruction**

Display instruction: Six-digit LED+ Minus digit + Status indicator light(Status Indicator light(1,2)+Set indicator light(Set))

**Wiring diagram**

**Connection 1: Independent power supply for load**

**Connection 2: Same power supply for load**

**Note:** There is no voltage output from the output terminal of the thermostat, So the device needs to be connected to a power supply

**Key operation instruction**

①: Long press  $\Delta$  3 seconds, the ① group start temperature flash (default 25°C) press  $\Delta \nabla$  to adjust, long press  $\nabla$  3 seconds, stop the temperature value flash (default 40°C) press  $\Delta \nabla$  to adjust.  
 ②: Long press  $\Delta$  3 seconds, the ② group start temperature flash (default 25°C) press  $\Delta \nabla$  to adjust, long press  $\nabla$  3 seconds, stop the temperature value flash (default 40°C) press  $\Delta \nabla$  to adjust.  
 Press  $\Delta \Delta$  button for 3 seconds at the same time to enter the setting mode, display P0, the first group temperature delay, press  $\Delta \nabla$  adjust, 0-60 minutes, default 0, after adjustment, press  $\Delta$  P1, thesecond group temperature Delay, press  $\Delta \nabla$  adjust, 0-60 minutes, default 0, after adjustment, press  $\Delta$  P2, high temperature alarm function, Default 120°C, press  $\Delta \nabla$  adjust, adjust, press  $\Delta$  to enter P3, low temperature Alarm, default -55°C, press  $\Delta \nabla$  to adjust, wait for the second to automatically exitpress  $\nabla \nabla$  3seconds to reset to factory settings.

**Heating / Cooling setting**

**CASE 1: Heating:** control the water heater, heat to 65 ° C to stop, the temperature drops back to 50 ° C and start heating again  
 Step 1: heating mode, starting temperature <stop temperature  
 Step 2: Press and hold the  $\Delta$  button to start the temperature flashing. Use  $\Delta \nabla$  to set the starting temperature to 50 ° C.  
 Step 3: long press  $\nabla$  button 3 seconds to stop the temperature flashing. Use  $\Delta \nabla$  to set the stop temperature to 65°C. The setting is completed!

**CASE 2: Cooling:** the fan is ventilated to 26 ° C to stop, the temperature is raised to 30 ° C and the ventilation is started again.  
 The first step: cooling mode, starting temperature > stop temperature  
 Step 2: Press and hold the  $\Delta$  button to start the temperature flashing. Use  $\Delta \nabla$  to set the starting temperature to 30 ° C.  
 Step 3: long press  $\nabla$  button 3 seconds to stop the temperature flashing. Use  $\Delta \nabla$  to set the stop temperature to 26°C. The setting is completed!

**Indicator light status instruction**

Indicator light	Function	Note
Red light	① First group display	Cool/Heat indicator light can not be "on" status simultaneously
Blue light	② Second group display	
Set indicator light	On parameter setting status	

**Error description**

Alarm when sensor error: Controller activate the sensor error alarm mode when sensor open circuit or short circuit, all the running status is closed off with the buzzer alarms, and the nixie tube displays "EE", press any key can cancel alarm sound, system back to display the normal temperature when the error and the fault is cleared.  
 Alarm when the measuring temperature exceeds temperature measuring range: Controller activates the error alarm function when the measuring temperature exceeds the temperature measuring range, all the running status is closed off with the buzzer alarms, and the nixie tube displays "HH". Press any key can cancel alarm sound, system back to display the normal working mode when the temperature restores to normal measuring range.

**Safety Regulations**

- ★ Danger:
  - Strictly distinguish the sensor down-lead, power wire and output relay interfaces from one another, and prohibit wrong connections or overloading the relay
  - Dangers: Prohibit connecting the wire terminals without electricity cut-off
- ★ Warning:
 

Prohibit using the machine under the environment of over damp, high temp., strong electromagnetism interference or strong corrosion.
- ★ Notice:
  - The power supply should conform to the voltage value indicated in the instruction.
  - To avoid the interference, the sensor down-lead and power wire should be kept a proper distance.