



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE OPERACIÓN DE UN
ACUMULADOR DE LITIO DE 5.0 kWH EN UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO CONECTADO A LA RED A MAS DE 3800
MSNM ILLPA - PUNO”**

Bach. Mario Ángel Flores Ponce

**Tesis para optar el título de:
Ingeniero en Energías Renovables**

Asesor:

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra



Juliaca – Perú, 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE OPERACIÓN DE UN
ACUMULADOR DE LITIO DE 5.0 KWH EN UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO CONECTADO A LA RED A MÁS DE 3800
MSNM ILLPA - PUNO”**

Bach. Mario Ángel Flores Ponce

**Tesis para optar el título de:
Ingeniero en Energías Renovables**

Asesor:

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra



Juliaca – Perú, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE OPERACIÓN DE UN
ACUMULADOR DE LITIO DE 5.0 kWh EN UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO HIBRIDO CONECTADO A LA RED A MAS DE 3800
MSNM ILLPA – PUNO”**

Autor:

Bach. Mario Ángel Flores Ponce

Tesis para optar el título de:

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor:

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra

Juliaca – 2023

Ficha Catalográfica

Flores, P.M.A. (2023). Análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más de 3800 msnm Illpa – Puno (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Mario Ángel Flores Ponce

TÍTULO: Análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más de 3800 msnm Illpa – Puno.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2023

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (96 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-000021-02/F63

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: M.Sc. Reynaldo Condori Yucra

PALABRAS CLAVE:

Acumulador de Litio, módulos fotovoltaicos, profundidad de descarga, numero de ciclos, vida útil.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIAS RENOVABLES

“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE OPERACIÓN DE UN
ACUMULADOR DE LITIO DE 5.0 kWH EN UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO HIBRIDO CONECTADO A LA RED A MAS DE
3800 MSNM ILLPA – PUNO”

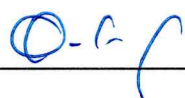
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGIAS RENOVABLES

Presentada por:
Bach. Mario Ángel Flores Ponce

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. RUSSEL ALLIDREN LOZADA VILCA

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. JHON EDUARDO ABARCA SUCA

JURADO (secretario)




2° MIEMBRO

Dr. ELMER RODRIGO AQUINO LARICO

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



M.Sc. REYNALDO CONDORI YUCRA
ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE OPERACIÓN DE UN ACUMULADOR DE LITIO DE 5.0 kWh EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO CONECTADO A LA RED A MÁS DE 3800 MSNM ILLPA – PUNO

AUTOR

Mario Ángel Flores Ponce

RECUENTO DE PALABRAS

16884 Words

RECUENTO DE CARACTERES

99374 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

96 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.5MB

FECHA DE ENTREGA

Mar 27, 2024 11:36 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Mar 27, 2024 11:37 PM GMT-5


● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



M.Sc. REYNALDO CENDORI YUCRA

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la vida y permíteme seguir alcanzado mis metas y desenvolviéndome profesionalmente.

A mis padres y hermanos

Por su sabiduría y paciencia, y a mis hermanos, por su aliento constante. Su fe en mí ha sido mi mayor motivación.

A mi familia

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional han sido la luz guiadora en mi viaje académico.

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor de tesis, M.Sc. Reynaldo Condori Yucra, por su invaluable orientación, paciencia y conocimientos. Su experiencia y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco también a los Docentes de escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables por su dedicación y por proporcionar un ambiente académico estimulante. Su enseñanza y consejos han sido cruciales en mi formación profesional y personal.

INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Indice de tablas	ix
Indice de figuras.....	x
Indice de anexos.....	xii
Lista de abreviaturas	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	xvi
CAPITULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Identificación del problema.....	17
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Problema General	18
1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos.....	18
1.3. Objetivos de la investigación	18
1.3.1. Objetivo General	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4. Justificación.....	19
1.4.1. Justificación social	19
1.4.2. Justificación técnica	19
1.4.3. Justificación económica	20
CAPÍTULO II	21
REVISIÓN DE LITERATURA	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	26

2.2.	Bases teóricas	30
2.2.1.	Generador fotovoltaico.....	30
2.2.2.	Sistemas fotovoltaicos de conexión a red	30
2.2.3.	Batería de Ion de Litio.....	30
2.2.4.	Backup – box.....	31
2.2.5.	Convertidor DC/DC para módulos de batería de litio.....	33
2.3.	Marco conceptual	35
2.3.1.	Profundidad de descarga / Depth Of Discharge (DOD).....	35
2.3.2.	Estado de carga / State Of Charge (SOC)	35
2.3.3.	Resistencia interna.....	35
2.3.4.	Vida útil.....	36
2.3.5.	Diagrama unifilar de la instalación	36
CAPÍTULO III.....		38
MATERIALES Y MÉTODOS		38
3.1.	Formulación de la hipótesis.....	38
3.1.1.	Hipótesis general	38
3.1.2.	Hipótesis específicas	38
3.2.	Metodología.....	38
3.2.1.	Comportamiento de la batería	39
3.2.2.	Profundidad de Descarga (DoD).....	39
3.2.3.	Operacionalización de variables.....	41
3.2.4.	Ámbito del proyecto.....	41
3.2.5.	Población.....	42
3.2.6.	Muestra.....	42
3.2.7.	Recolección y registro de datos.....	43
3.3.	Materiales	43
3.3.1.	Módulos fotovoltaicos.....	43
3.3.2.	Inversor híbrido conectado a red.....	46
3.3.3.	Backup box.....	47
3.3.4.	Acumulador (Batería-ion litio).....	48
3.3.5.	Sensores y accesorios utilizados para la medición.....	49

3.4. Instrumentos	49
3.4.1. Instrumento para almacenar datos CPU PLC.....	49
3.5. Presupuesto.....	51
CAPÍTULO IV	52
RESULTADOS Y DISCUSION	52
4.1. Resultados	52
4.1.1. Resultados objetivo específico 1	52
4.1.2. Resultados objetivo específico 2	57
4.1.3. Resultados objetivos especifico 3	66
4.2. Discusión.....	71
CAPÍTULO V	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXOS.....	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables del proyecto de tesis	41
Tabla 2 Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de 340W ECO GREEN.....	44
Tabla 3 Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de 400W monocristalino	45
Tabla 4 Especificación técnica de los inversores 5KTL y 6KTL.....	46
Tabla 5 Especificaciones técnicas del controlador programable (PLC S7- 1200)	50
Tabla 6 Cuadro de presupuestos para realizar la medición y toma de datos y procesamiento de datos.....	51
Tabla 7 Temperatura interna del acumulador de litio de 5.0kWh.....	59
Tabla 8 Temperatura externa del acumulador de litio de 5.0kWh	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de composición de una batería de litio. (Trejos Betancur, 2016)	31
Figura 2 Ilustración de un Backup-box (Huawei, 2022).....	33
Figura 3 Convertidor DC/DC de la batería de litio incorporado el BMS con voltaje de operación de 350 a 560 Vdc (Puntoenergía, 2019).....	34
Figura 4 Diagrama unifilar del sistema híbrido conectado a red (Huawei, 2020)	37
Figura 5 Diagrama eléctrico de la instalación del PLC y sensores para la adquisición de datos)	37
Figura 6 <i>Ámbito espacial del lugar del proyecto de investigación (Earth, 2022)</i>	42
Figura 7 Modulo fotovoltaico de 340 Wp ECO GREEN.....	44
Figura 8 Modulo fotovoltaico de 400 W monocristalino PERC.....	45
Figura 9 Inversor híbrido conectado a la red modelo SUN2000 KTL-L1	46
Figura 10 Backup box B0 monofásico para autoconsumos compatible con inversor de red.....	48
Figura 11 Acumulador de litio modelo LUNA2000 5kWh	48
Figura 12 Controlador programable (PLC S7-1200) datos extraídos fabricante	49
Figura 13 Proceso de carga del acumulador de litio de 5.0kWh.....	52
Figura 14 Profundidad de Descarga (DoD) para cada ciclo de descarga.....	53
Figura 15 <i>Profundidad de Descarga (DoD) y los ciclos de vida del acumulador de litio LUNA 2000.</i>	55
Figura 16 Diagrama de obtención y registro de temperaturas	58
Figura 17 Mapa de calor de correlaciones	61
Figura 18 Profundidad promedio de descarga por categoría de temperatura.....	63

Figura 19	Grafico Vida útil vs Temperatura del acumulador de litio LUNA 2000.....	64
Figura 20	Potencia instantánea con períodos de carga y descarga identificados	66
Figura 21	Perfil de carga del acumulador de litio de 5.0kWh.....	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Diagrama del Matriz de consistencia	79
Anexo 2 Imagen de la batería de ion de litio y con inversores a red	80
Anexo 3 Imagen del tablero de PLC y sensores de voltaje y temperatura que se usaron en el proyecto.....	81
Anexo 4 Ficha técnica del modulo fotovoltaico 340 Wp.....	82
Anexo 5 Ficha técnica del modulo fotovoltaico de 400Wp TRINA SOLAR.....	84
Anexo 6 Ficha técnica del inversor HUAWEI SUN2000.....	86
Anexo 7 ficha técnica del acumulador de litio de LUNA2000-5-50	87
Anexo 8 Ficha técnica del transductor de corriente DC	89
Anexo 9 Ficha técnica del transductor de corriente DC	90
Anexo 10 Ficha técnica del sensor de temperatura PT100	91
Anexo 11 Ficha técnica del PLC (controlador lógico programable)	92
Anexo 12 Ficha técnica módulo de expansión SIMATIC S7-1200 AI 4X16.....	93
Anexo 13 Ficha técnica de la fuente de poder switching de 24V a 5A	94
Anexo 14 Diagrama eléctrica de oda la instalación del sistema fotovoltaico hibrido con su acumulador de litio	95

LISTA DE ABREVIATURAS

CC: Corriente constante (constant current)

CV: Voltaje constante (constant voltage)

DoD: Profundidad de descarga (depth of discharge)

SoC: Estado de carga (state of charge)

BMS: Sistema de gestión de baterías (battery management system)

Li-Ion: Ion de litio (lithium-ion)

PV: Fotovoltaico (photovoltaic)

DC: Corriente directa (direct current)

AC: Corriente alterna (alternating current)

PLC: Controlador lógico programable (programmable logic controller)

Led: Diodo emisor de luz (light-emitting diode)

OCP: Potencial de circuito abierto (open circuit potential)

SFCR: Sistema fotovoltaico conectado a red

RESUMEN

El creciente uso de baterías de iones de litio en sistemas fotovoltaicos híbridos requiere garantizar un óptimo desempeño y vida útil de estos dispositivos de almacenamiento, ya que su manejo inadecuado puede comprometer severamente tanto su rendimiento como su longevidad. Este trabajo planteó como objetivo evaluar el comportamiento de un acumulador de litio de 5.0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a red ubicado en Puno, Perú, a más de 3800 msnm, considerando específicamente la profundidad de descarga en relación con el número de ciclos, el efecto de la temperatura sobre la vida útil y la elaboración de un perfil de carga en base a mediciones de tensión y corriente. La metodología de la presente investigación fue de tipo aplicada. el nivel es descriptivo aplicando un diseño de investigación no experimental con un enfoque cuantitativo que consistió en registrar en tiempo real datos operativos del acumulador usando sensores durante su funcionamiento en condiciones reales. Los resultados mostraron que la batería operó con una baja profundidad de descarga, estrategia favorable para maximizar su vida útil al evitar descargas profundas frecuentes. Asimismo, se halló que temperaturas internas por encima de 25°C se asociaban a una mayor profundidad de descarga promedio, lo que podría acortar modestamente la longevidad prevista. El perfil de carga elaborado evidenció un comportamiento energético adecuado del acumulador, distinguiendo claramente las etapas esperadas del proceso de carga. En conclusión, la operación del acumulador estuvo orientada a maximizar su vida útil, pero se requiere un cuidadoso monitoreo de temperatura, mientras que el perfil obtenido será útil para seguir optimizando su rendimiento.

Palabras clave: Acumulador de litio, módulos fotovoltaicos, profundidad de descarga, numero de ciclos, vida útil.

ABSTRACT

The growing use of lithium-ion batteries in hybrid photovoltaic systems requires guaranteeing optimal performance and useful life of these storage devices, since improper handling can severely compromise both their performance and longevity. The objective of this work was to evaluate the behavior of a 5.0kWh lithium battery in a grid-connected photovoltaic system located in Puno, Peru, at more than 3800 meters above sea level, specifically considering the depth of discharge in relation to the number of cycles, the effect of temperature on useful life and the preparation of a load profile based on voltage and current measurements. The methodology of this research was applied. The level is descriptive applying a non-experimental research design with a quantitative approach that consisted of recording operational data of the accumulator in real time using sensors during its operation in real conditions. The results showed that the battery operated with a low depth of discharge, a favorable strategy to maximize its useful life by avoiding frequent deep discharges. Additionally, it was found that internal temperatures above 25°C were associated with a greater average discharge depth, which could modestly shorten the expected longevity. The charging profile prepared showed adequate energy behavior of the accumulator, clearly distinguishing the expected stages of the charging process. In conclusion, the operation of the accumulator was aimed at maximizing its useful life, but careful temperature monitoring is required, while the profile obtained will be useful to continue optimizing its performance.

Keywords: Lithium accumulator, photovoltaic modules, depth of discharge, number of cycles, useful life.

INTRODUCCIÓN

El creciente uso de sistemas fotovoltaicos con acumuladores de litio plantea el reto de garantizar un óptimo desempeño y una adecuada vida útil de estos dispositivos. El litio es actualmente la tecnología dominante para el almacenamiento electroquímico de energía, gracias a su alta densidad, eficiencia y flexibilidad operativa. Sin embargo, un manejo inadecuado puede comprometer severamente su rendimiento y longevidad. Es así que el análisis del comportamiento energético y los factores que afectan la degradación de baterías de litio en aplicaciones fotovoltaicas constituye un tema de investigación de importancia.

Este trabajo se justificó en la necesidad de generar conocimiento que permita maximizar la confiabilidad y rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento mediante un apropiado dimensionamiento, operación y mantenimiento de los acumuladores. Aunque existen estudios previos sobre el desempeño de baterías de litio, son escasos en el contexto específico de su utilización en instalaciones fotovoltaicas, especialmente en zonas altoandinas.

La metodología consistió en un estudio de caso experimental, analizando un acumulador de iones de litio de 5.0kWh acoplado a un sistema fotovoltaico híbrido conectado a red en la localidad de Illpa, Puno, Perú, a más de 3800 msnm. Se registraron en tiempo real datos de temperatura, tensión, corriente y profundidad de descarga durante la operación.

El objetivo general fue evaluar el rendimiento del acumulador de litio en condiciones reales de operación, considerando tres aspectos específicos: el comportamiento de la profundidad de descarga con relación al número de ciclos, el efecto de la temperatura sobre la vida útil, y la elaboración de un perfil de carga en base a la tensión y corriente.

Los resultados permitirán sentar bases para mejorar el uso de estas tecnologías de almacenamiento en proyectos fotovoltaicos de la región, maximizando su retorno de inversión. Además, el estudio aportará evidencia empírica sobre los factores determinantes del rendimiento de baterías de iones de litio en condiciones de altura y bajas temperatura.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La región de Puno presenta niveles más altos de irradiación del Perú, unidos a las bajas temperaturas de la región que se tomaron como las condiciones óptimas para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos híbridos conectados a red. Es así que diversos fundos ganaderos, estación de servicios, edificios residenciales y entre otros cuentan con estos proyectos. Sin embargo, algunos de estos proyectos representan deficiencias y estos se traducen en fallas ya sea por mal descarga de acumuladores inadecuada elección de acumuladores para la zona de aplicación.

En la actualidad los acumuladores de energía con ion-Litio son un servicio fundamental en su uso en sistemas fotovoltaico, respaldo de energía, cargas críticas, etc. Que deben de brindar una solución a los usuarios, generalmente estos sistemas son utilizados en altos consumos de energía. Una opción de reducir costos de energía eléctrica así mismo el tiempo de vida útil brindado por el fabricante. Como también representa un vacío en proyectos de investigación en el tipo de sistema planteado que se pretende completar.

De esa manera surge el presente proyecto de tesis, el cual propone realizar el análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm en Illpa – Puno. Donde un controlador lógico programable (PLC) ejecutara la adquisición de datos mediante sensores como: temperatura, tensión DC y corriente DC, el cual hará que la adquisición de datos sea en tiempo real. Esta investigación busca analizar la eficiencia de un acumulador de energía en sistemas fotovoltaicos, para así obtener un mejor desempeño energético en el uso de acumuladores de ion- litio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Será posible determinar el rendimiento de operación de un acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?

1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos

- ¿Será posible evaluar el comportamiento de la profundidad máxima de descarga en relación con el número de ciclos del acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?
- ¿Cómo influirá la temperatura de operación en relación con la vida útil del acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?
- ¿Será posible elaborar el perfil de carga de un acumulador de litio 5.0 kWh en función a la tensión y corriente en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el rendimiento de operación de un acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el comportamiento de la profundidad de descarga en relación con número de ciclos del acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.
- Determinar la temperatura de operación en relación con la vida útil del acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.
- Elaborar el perfil de carga del acumulador de litio 5.0 kWh en función a la tensión y corriente en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.

1.4. Justificación

El presente proyecto de investigación se realizó, debido a que es una necesidad básica el uso de los acumuladores acorde al avance de las tecnologías ya sean en sistemas fotovoltaicos u otros fines.

Los proyectos de generación fotovoltaicos son cada vez más frecuentes en su uso ya sea en sistemas aislados o en sistemas híbridos conectados a red eléctrica. Sin embargo, muchos de estos proyectos presentan fallas frecuentes en la parte de almacenamiento de energía ya sea por mala elección del tipo de acumulador o vida útil en la región altiplánica. La investigación se desarrollará en análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más de 3800 msnm, así se logrará determinar el rendimiento de un acumulador de una tecnología dominante de bajo peso y buena eficiencia energética en la actualidad.

Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad en futuras investigaciones y proyectos fotovoltaicos u otras aplicaciones con uso de acumuladores de energía, de esa forma contribuirá a la óptima operación de sistemas que contengan almacenadores de energía con litio a gran altitud.

1.4.1. Justificación social

El presente estudio posee una justificación social en la medida que sus resultados permitirán mejorar la confiabilidad y sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía mediante baterías de iones de litio. Estos sistemas son cada vez más utilizados para proveer electricidad en zonas rurales o aisladas, así como en aplicaciones residenciales y productivas. Optimizar su funcionamiento redundará en un suministro eléctrico más robusto y duradero para estas poblaciones, contribuyendo a su desarrollo socioeconómico y bienestar.

1.4.2. Justificación técnica

La investigación se justifica técnicamente dado que generará conocimiento aplicado sobre cómo maximizar el rendimiento y vida útil de las baterías de iones de litio en condiciones reales de operación, considerando variables como la profundidad de

descarga, temperatura y características de la carga. Estos hallazgos orientarán el diseño, operación y mantenimiento técnicamente óptimos de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento basados en litio. Asimismo, el estudio aportará datos experimentales útiles para validar modelos teóricos sobre el comportamiento de estas baterías.

1.4.3. Justificación económica

El análisis del desempeño de los acumuladores permitirá determinar estrategias para extender su vida útil y obtener el máximo retorno de la inversión. Al dilucidar los factores que afectan la degradación de las baterías, se podrán minimizar fallas costosas y prematuras. Asimismo, la información resultante posibilitará mejorar el dimensionamiento y predictibilidad de los costos operativos a lo largo del ciclo de vida del sistema de almacenamiento. En conjunto, estos impactos positivos se traducen en una justificación económica de la investigación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Ren et al. (2023) buscaron dimensionar de manera óptima sistemas solares fotovoltaicos y de almacenamiento en baterías de litio, reduciendo Dependencia de la electricidad de la red de Oxford en los edificios. El análisis comienza con la modelización de la demanda eléctrica. El modelo utiliza Elexon. perfiles de liquidación de electricidad, y los reúne en el perfil de demanda de acuerdo con la cantidad y tipos de edificios en Oxford. Luego, la generación solar se modela utilizando Pfenninger y El método de Staffell. Sistemas solares fotovoltaicos y de almacenamiento de litio. se dimensionan utilizando un método analítico e iterativo hibridado. Primero, el método calcula el rango de búsqueda del tamaño del sistema solar, luego itera a través del rango. En cada tamaño solar, el método calcula e itera a través de la búsqueda del tamaño del sistema de almacenamiento rango. Dentro de cada iteración, se simula el sistema renovable. utilizando datos de demanda y generación con un sistema de configuración simplificado. arriba y la estrategia de operación convencional. El método produce combinaciones de capacidad del sistema solar, capacidad del sistema de almacenamiento, e importación de electricidad de la red. El costo nivelado de cada combinación. Se calcula la cantidad de electricidad y se obtiene la combinación de menor costo. el dimensionamiento óptimo. Se proyectan los costos del sistema solar y de almacenamiento de 2019 a 2100, y se calcula el tamaño óptimo para cada año. El resultado muestra que la energía solar fotovoltaica es económicamente competitiva, pero el costo de almacenamiento de litio sigue siendo demasiado alto. como solar y los precios de almacenamiento siguen bajando, ocuparán más porciones del sistema energético. Sin embargo, siempre habrá una Necesidad de la red, ya que proporciona flexibilidad y puede satisfacer las demandas. que son demasiado costosos para la energía solar y el almacenamiento.

Zheng et al, (2020). Después de su primer uso en vehículos eléctricos (EV), la capacidad residual de las baterías de tracción puede hacerlas valiosas en otras aplicaciones. Aunque la reutilización de las baterías de los vehículos eléctricos sigue siendo un mercado poco desarrollado, las aplicaciones de segundo uso de las baterías de los vehículos eléctricos están en consonancia con los principios de la economía circular y la jerarquía de la gestión de residuos. Aunque se esperan beneficios medioambientales sustanciales de la reutilización de las baterías de tracción, es necesario redoblar los esfuerzos en la recopilación de datos, la modelización de las etapas del ciclo de vida y el cálculo de los indicadores de impacto para proponer un método de evaluación del ciclo de vida (ACV) armonizado y adaptado. Para evaluar adecuadamente los beneficios e inconvenientes medioambientales del uso de baterías de vehículos eléctricos reutilizadas en aplicaciones de segundo uso, en este artículo se propone un ACV adaptado basado en la comparación de diferentes escenarios desde la perspectiva del ciclo de vida. Para cada etapa se identifican y analizan las cuestiones clave para las etapas seleccionadas del ciclo de vida y los aspectos y parámetros que deben evaluarse en el análisis, incluida la fabricación, la reutilización, la reutilización y el reciclaje. El método propuesto se aplica a un caso de estudio específico sobre el uso de baterías reutilizadas para aumentar el autoconsumo fotovoltaico (PV) en una vivienda determinada. Se utilizaron datos primarios sobre las necesidades energéticas de la vivienda y la producción fotovoltaica para evaluar adecuadamente los flujos de energía en este escenario específico de reutilización: tanto la búsqueda bibliográfica realizada como los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la relevancia de modelar la energía del sistema utilizando datos reales, combinando las características tanto de la batería como de su aplicación. Los resultados del ACV confirmaron que los beneficios medioambientales de la adopción de baterías reutilizadas para aumentar el autoconsumo fotovoltaico en una vivienda se producen en condiciones específicas y que los beneficios son más o menos considerables en función de la categoría de impacto evaluada. Los mayores beneficios ambientales se refieren a las categorías de impacto dominadas por las etapas de fabricación y reutilización. Algunos de los parámetros más relevantes (por ejemplo, la capacidad residual y el factor de asignación) se probaron en un análisis de sensibilidad. El método se puede utilizar en otros casos de aplicación de

reutilización si los parámetros para estos casos pueden determinarse mediante pruebas experimentales, modelización o extracción de datos de la literatura.

Miao et al. (2019) Hallaron que el número de vehículos eléctricos (VE) ha seguido aumentando. Las proyecciones estiman que, en todo el mundo unos 125 millones de vehículos que funcionan íntegramente a electricidad (EV) estarán en las carreteras para 2030. En el corazón de estos vehículos avanzados se encuentra la batería de iones de litio (Li-ion) que proporciona el almacenamiento de energía necesario. Este documento presenta y compara los componentes clave de las baterías de iones de litio y describe los sistemas de gestión de baterías asociados, así como los enfoques para mejorar la eficiencia, la capacidad y la vida útil general de la batería. Las características térmicas y de materiales se identifican como críticas para el rendimiento de la batería. Se discuten los materiales de los electrodos positivos y negativos, los electrolitos y la implementación física de las baterías de iones de litio. Además, se presentan las investigaciones actuales sobre nuevas baterías de alta densidad energética, así como oportunidades para reutilizar y reciclar las baterías.

Rosolem, et al. (2018) quien realizó un estudio de desarrollo de una batería doméstica de iones de litio para sistemas fotovoltaicos. existe un aumento significativo del uso de otras fuentes de energía, como la eólica y la fotovoltaica, en sustitución de la generación térmica. Sin embargo, los sistemas de generación de energía solar y eólica dependen de fuerzas de la naturaleza, como el sol y el viento, que varían en intensidad según las condiciones climáticas, resultando en una generación de energía no constante. pero, para el equilibrio de esta generación y el aumento de La confiabilidad del sistema se puede obtener mediante el uso de baterías. La batería de iones de litio se ha destacado como tecnología prometedora para esta aplicación, debido a su alta densidad de energía y potencia, baja recarga, alto ciclo de vida, bajo mantenimiento, etc. Este trabajo presenta las etapas de desarrollo de un Batería de iones de litio para ser utilizada en conjunto con sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica para Generación distribuida.

Morente Fernández, (2015) quien realizo el análisis y modelado del comportamiento de baterías para vehículos eléctricos. Donde el propósito es el análisis íntegro de las

baterías aplicadas a automóviles eléctricos haciendo uso a las baterías de ion de litio, que se empezó su análisis desde sus características hasta su funcionamiento. Lo principal es conocer el comportamiento de las baterías de ion de litio, para estimar lo óptimo eficiente que son. Para ello se estudiaron fenómenos y factores de influencia que puedan determinar el comportamiento de las baterías. Para así finalmente demostrar su eficacia mediante la realización de simulación.

Tomás (2015) realizó un análisis pormenorizado de la medición experimental del comportamiento térmico en baterías de iones de litio. Las baterías de ion-litio, a pesar de su elevada eficiencia en diversas aplicaciones, presentan un rendimiento y seguridad que son considerablemente influenciados por la temperatura operativa interna de las celdas. En este contexto, el Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) emprendió un estudio detallado sobre las características térmicas de estos ensambles de baterías, con el fin de desarrollar un software avanzado para la optimización del diseño de estas. Este esfuerzo investigativo incluyó la creación de múltiples modelos predictivos de la temperatura. El propósito central de la investigación era caracterizar detalladamente el comportamiento térmico de las baterías de ion-litio bajo diferentes condiciones de operación y configuraciones. Se buscaba, además, realizar una comparativa entre los datos experimentales y los obtenidos mediante simulaciones, con el fin de identificar y comparar la relevancia de diversos factores que inciden en el incremento de la temperatura de las baterías. El estudio incorporó la implementación de dispositivos especializados capaces de registrar la temperatura de la celda y de modificar el flujo de aire a través de la batería, así como de medir la caída de presión. Esto se llevó a cabo utilizando tres tasas de flujo distintas. Los hallazgos revelaron una discrepancia de hasta 4°C entre los resultados experimentales y los simulados, observándose una disipación de calor más acelerada de lo previamente estimado. Estos resultados subrayan la necesidad de investigar más a fondo la velocidad óptima de ventilación para sistemas de baterías en serie, para garantizar tanto la eficiencia operativa como la seguridad en su uso.

Han et al. (2014) realizaron una exhaustiva investigación sobre la degradación de las baterías de iones de litio a lo largo de los ciclos de uso, evidenciando que este proceso conlleva a una disminución en la capacidad de carga de la batería y un incremento en su

resistencia interna. Ellos identificaron que el mecanismo de envejecimiento varía entre los distintos tipos de baterías de ion-litio y puede ser ocasionado por factores como la pérdida de inventario de litio, la reducción del material activo disponible y el incremento en la resistencia eléctrica. El análisis convencional del mecanismo de envejecimiento suele requerir la descomposición física de la batería y la aplicación de técnicas analíticas como la difracción de rayos X y la microscopía electrónica de barrido, procedimientos que, desafortunadamente, pueden causar daños irreversibles en la batería y, por ende, se consideran inadecuados para aplicaciones en sistemas de gestión de baterías (Battery Management Systems, BMS) en vehículos eléctricos. Como alternativa, proponen que las curvas de carga a corriente constante durante la recarga de la batería pueden ser utilizadas para obtener información sobre la capacidad incremental y las curvas de voltaje diferencial, elementos claves para la identificación del mecanismo subyacente de envejecimiento. De esta forma, se podría estimar el estado de salud de la batería en tiempo real, una metodología potencialmente aplicable en los BMS para realizar diagnósticos y pronósticos de manera online. Además, sugieren que el uso de algoritmos genéticos podría permitir un análisis cuantitativo del envejecimiento de la batería de manera offline, mientras que la aplicación de funciones de membresía podría facilitar la identificación del mecanismo de envejecimiento durante el funcionamiento normal del vehículo.

Guo et al. (2011) que expandieron el modelo de Santhanagopalan, que originalmente describía el comportamiento de una única partícula, para integrar un componente térmico que contempla el balance de energía. Este modelo avanzado incluye la variabilidad de la temperatura del coeficiente de difusión de litio en fase sólida dentro de las partículas de intercalación, además de las constantes de velocidad de reacción electroquímica y los potenciales de circuito abierto (OCP) para ambos electrodos, el ánodo y el cátodo. La polarización en la fase de solución se modela a través de una resistencia no lineal que depende tanto de la corriente como de la temperatura. La aplicación del modelo se dirige a la predicción precisa de los perfiles de temperatura y voltaje en células de iones de litio durante operaciones galvanostáticas. Para la validación del modelo térmico de una sola partícula, se realizó una comparación meticulosa entre las simulaciones de los perfiles de temperatura y tensión con los resultados provenientes de un modelo de electrodo poroso distribuido. Los resultados de las simulaciones arrojaron una notable correlación con datos

experimentales de voltaje, los cuales se recabaron de células de bolsa de iones de litio sometidas a diferentes tasas de descarga y a temperaturas de operación de 15, 25, 35 y 45 °C. Estas coincidencias demuestran la robustez y aplicabilidad del modelo en la representación del comportamiento térmico y eléctrico de las baterías bajo diferentes condiciones de carga y temperatura.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Vivanco y Luren (2022) realizaron un análisis exhaustivo centrado en la gestión y preservación del ciclo de vida de las baterías de iones de litio utilizadas en los aviones de pasajeros B787-8, con el objetivo primordial de perfeccionar las estrategias de mantenimiento de la flota de Avianca Perú. El estudio comprendió una evaluación meticulosa del mantenimiento de estas baterías, que son fundamentales para garantizar una fuente de energía eléctrica confiable durante situaciones de emergencia en vuelo. A través del monitoreo de parámetros críticos de salud de las baterías tales como voltaje, temperatura y capacidad, se identificó un patrón de degradación uniforme y una tasa de deterioro sostenida a lo largo del ciclo de vida de las baterías, variables clave para el diagnóstico preciso del estado de salud de las baterías y la estimación de su vida útil restante. Para lograr los objetivos de su investigación, Vivanco y Luren implementaron una técnica avanzada de aprendizaje automático, conocida como Regresión de Procesos Gaussianos, que es particularmente adecuada para el análisis de regresión en conjuntos de datos no paramétricos. Esta herramienta de inteligencia artificial permitió realizar predicciones fundamentales para las decisiones estratégicas en el ámbito del mantenimiento aeronáutico. Los investigadores extrajeron datos del conjunto de baterías de litio B0005 de la NASA. La evaluación económica del estudio indicó un ahorro significativo de \$841,840 con un retorno sobre la inversión del 439% y un periodo de recuperación de capital de tan solo 6 meses, evidenciando la solidez financiera del proyecto. Como conclusión, la investigación promovió el desarrollo de estrategias de mantenimiento predictivo y basado en la condición para las baterías de iones de litio y otros componentes esenciales de la aeronave, que son susceptibles a un desgaste irregular y una disminución en el rendimiento, considerando la naturaleza dinámica y exigente del entorno operativo de la aviación.

Taco y Sandro (2022). Plantearon el diseño preexperimental de un conjunto de baterías, destinado a suplantar el banco de baterías predeterminado en bicicletas eléctricas con uno de características superiores. Inicialmente, fue imperativo seleccionar el tipo adecuado de batería. Se efectuó una evaluación comparativa entre diversos modelos de bicicletas eléctricas, concluyendo que predominantemente utilizan baterías de litio con una configuración 18650 (18mm de diámetro, 65mm de altura). Tras analizar y comparar las diversas opciones de baterías disponibles en el mercado local, se optó por las baterías utilizadas en scooters eléctricos de la marca Xiaomi, debido a sus sobresalientes atributos. Procediendo con los cálculos analíticos, se diseñaron cuatro variantes. Tras la realización de cálculos pertinentes para estimar la distancia operable con cada conjunto de baterías, se efectuó una comparación con las baterías estándar integradas en cada vehículo eléctrico. Se determinó que existe una correlación positiva entre una mayor cantidad de vatios-hora en la batería y un incremento en la autonomía de distancia de recorrido de las bicicletas. En cuanto a la evaluación económica de la implementación de cada conjunto de baterías 18650 con un costo total de 4646.88 soles.

Valenzuela et. Al. (2022) tuvieron como objetivo principal contextualizar el almacenamiento en acumuladores, particularmente como un complemento esencial para potenciar la proliferación de energías renovables, centrándose específicamente en la tecnología solar fotovoltaica. Este enfoque busca infundir mayor versatilidad y adaptabilidad al sistema eléctrico. Se ha realizado una evaluación exhaustiva de experiencias globales destacadas, tanto en aspectos técnicos como regulatorios, con la intención de adaptar y aprovechar sus beneficios en el contexto nacional. El análisis se centra en definir y clarificar los elementos cruciales para una implementación efectiva del almacenamiento de energía, considerando el prominente potencial fotovoltaico identificado predominantemente en la región sur del país. Un aspecto prioritario consiste en establecer un marco regulatorio sólido y propicio que incentive la inversión y promueva la investigación y desarrollo en esta área especializada. Aunque el enfoque particular de esta investigación se dirige hacia el almacenamiento de energía mediante baterías de iones de litio, es imperativo reconocer que, para alcanzar una rentabilidad significativa en el almacenamiento de energía, se necesitarán estrategias y modelos de negocio bien definidos y estructurados para su efectiva integración en el sistema eléctrico. Esta tecnología

emergente y renovadora es indicativa de una transición hacia una integración energética más cohesiva y sostenible, posicionándose como un componente estratégico esencial en el proceso de descarbonización de la matriz energética nacional.

Dávila y Villalobos (2021) se propusieron discernir las estrategias preponderantes en la reutilización y el reciclaje de baterías procedentes de vehículos eléctricos. Emplearon una revisión sistemática basada en la metodología PRISMA, analizando la literatura científica entre los años 2000 y 2021. De este cuerpo de investigación, seleccionaron 31 publicaciones que cumplieran con criterios de inclusión y exclusión meticulosamente definidos. Los hallazgos de su análisis sugieren una tendencia marcada hacia la reutilización de baterías sobre el reciclaje. Este enfoque se justifica por la capacidad de extender la utilidad de las baterías más allá de su ciclo de vida inicial, promoviendo su empleo en aplicaciones secundarias como sistemas de almacenamiento de energía para uso residencial y comercial, la remanufactura para su reincorporación en vehículos eléctricos y su integración en infraestructuras de energía solar. Subrayan que para que la reutilización de las baterías sea considerada factible, es crucial que el estado de salud de las baterías al finalizar su uso primario en vehículos eléctricos no descienda por debajo del 70%. En relación con el reciclaje, la estrategia dominante identificada es la recuperación de metales valiosos, lo que reviste importancia dada la demanda intensiva de recursos para la fabricación de nuevas baterías y la gestión ineficiente al término de su vida útil. El estudio reconoce que la eficiencia en la recuperación de metales preciosos es afectada por múltiples factores, que incluyen la composición de las baterías, las condiciones del proceso como la temperatura y duración, así como los agentes lixiviantes empleados. Se han investigado y propuesto diversas metodologías para la optimización de este proceso, incluidos los métodos hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos y las técnicas de separación física, los cuales se han implementado para mejorar la extracción de metales valiosos tales como el níquel, cobalto, litio y manganeso.

Quispe y Condori (2020). Plantearon revisar de manera exhaustiva los progresos recientes en la investigación sobre la viabilidad de eliminar el cromo (VI) a través de la adsorción de carbono. Durante esta revisión, se examinan múltiples investigaciones que han explorado diversos tipos de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos, como

precursores en la producción de carbón activado. Estos residuos han sido empleados en la remoción de Cr (VI) debido a su estructura porosa robusta y su destacada capacidad de adsorción. En el análisis detallado de las investigaciones, se da especial énfasis a la utilización de residuos para la síntesis de carbón activado. Este enfoque no solo ha demostrado ser económicamente viable, sino que también contribuye significativamente a la mitigación de la contaminación ambiental, reforzando su relevancia y aplicabilidad en este campo de estudio. Además, el artículo concluye que la adsorción de cromo (VI) mediante el uso de ánodos de baterías de iones de litio modificados con MnO₂ es una estrategia factible, siempre y cuando se ejecute a través de un procedimiento adecuado y bajo condiciones optimizadas. Esta conclusión es fundamentada a través de la evaluación y análisis crítico de los resultados presentados por diversos investigadores en el campo.

Pardo y Victoria (2018). Abordan sobre la viabilidad de que Argentina desarrolle una industria de producción de baterías de litio para vehículos eléctricos destinada al mercado europeo, se ha de considerar un marco económico global desafiante. A octubre de 2018, se registraron descensos en las principales bolsas de valores del mundo, afectando a los commodities en un periodo marcado por tensiones comerciales significativas entre Estados Unidos y sus principales socios comerciales. Además, es imperativo reconocer la postura de Holanda en priorizar la reducción de gases de efecto invernadero, lo que incrementa la relevancia de tecnologías limpias y sustentables, como los vehículos eléctricos. Al mismo tiempo, Argentina presenta una fuerte inestabilidad económica, caracterizada por una elevada tasa de inflación, variabilidad en las tarifas y una serie de manifestaciones y paros por parte de diversos gremios, factores que podrían influir en la capacidad del país para sostener una industria emergente. La metodología de la observación documental ha sido la elegida para llevar a cabo esta investigación, apoyándose en una amplia gama de fuentes bibliográficas que abordan aspectos teóricos, económicos y ambientales pertinentes a la temática.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generador fotovoltaico

Un generador fotovoltaico se caracteriza por su capacidad de transformar la energía lumínica del sol en energía eléctrica aprovechando el fenómeno conocido como efecto fotovoltaico. La célula fotovoltaica, que representa la unidad fundamental de este sistema, típicamente genera un potencial eléctrico en el rango de 0,5 a 1,5 voltios, según las diversas tecnologías existentes, que son incompatibles con equipos eléctricos de acondicionamiento de potencia y almacenamiento de energía. Por lo tanto, es necesario asociar varias celdas en serie y/o en paralelo (Zilles, et al, 2012).

2.2.2. Sistemas fotovoltaicos de conexión a red

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR), tal como lo describen Perpiñan et al. (2012), está diseñado para la generación de energía eléctrica en parámetros compatibles con los de la red eléctrica estándar. Este sistema incorpora un generador fotovoltaico, un inversor de corriente continua a corriente alterna (DC/AC) y un arreglo de dispositivos de protección eléctrica, todo ello con el fin de asegurar la correcta y segura transferencia de energía eléctrica generada a la infraestructura de la red eléctrica pública.

2.2.3. Batería de Ion de Litio

Las baterías de iones de litio, comúnmente referidas por su abreviatura en inglés como Li-ion, se caracterizan por su estructura robusta, usualmente de forma cilíndrica, y operan mediante el empleo de sales de litio que funcionan como depósitos para los iones involucrados en las reacciones electroquímicas. Su eficacia en términos de resistencia al deterioro provocado por ciclos repetidos de descarga y su reducido grado de profundidad de descarga (DoD, por sus siglas en inglés) las convierten en soluciones óptimas para dispositivos electrónicos de consumo ampliamente utilizados. No obstante, su principal limitación es la susceptibilidad a temperaturas elevadas, que puede resultar en daños o, en casos extremos, en combustión. Por ende, se requiere la integración de circuitos de protección especializados que aseguren su funcionamiento seguro, aunque esto suponga un aumento en los costos de producción y, consecuentemente, una posible limitación en su expansión en el mercado de consumo masivo. Este análisis fue articulado por Trejos

Betancur en 2016, destacando tanto las ventajas como las vulnerabilidades inherentes a estas baterías en el contexto de su aplicación en masa. (Trejos Betancur, 2016)

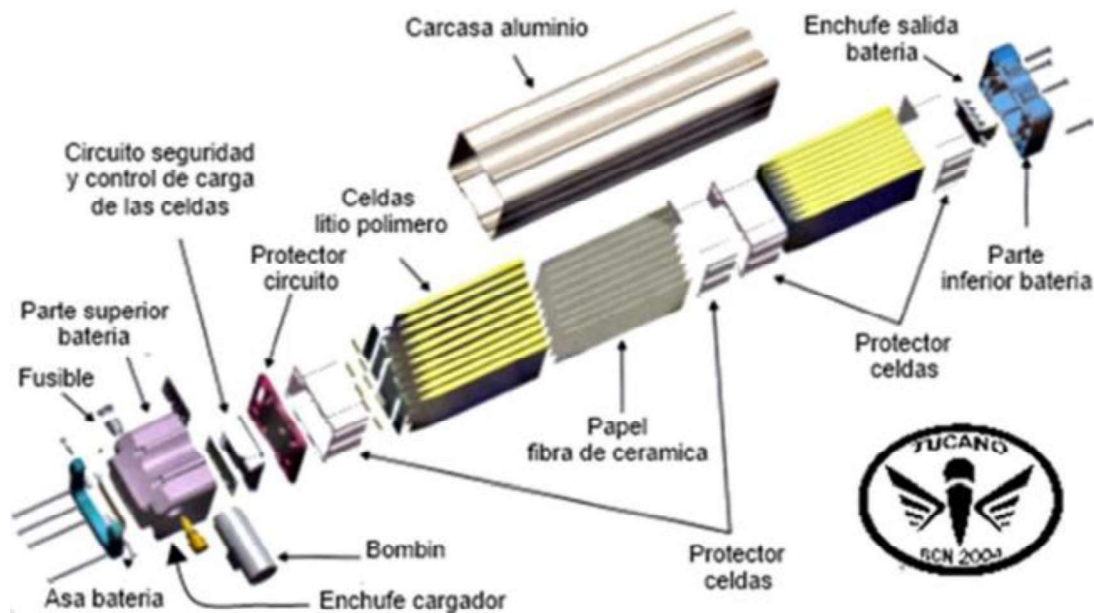


Figura 1 Diagrama de composición de una batería de litio. (Trejos Betancur, 2016)

2.2.4. Backup – box

El Backup Box es un componente vital en sistemas fotovoltaicos que están diseñados para ofrecer una solución de energía de respaldo. En particular, equipos como el proporcionado por Huawei y Novum Solar en 2022 están diseñados para trabajar en conjunto con baterías de litio, garantizando que los dispositivos críticos permanezcan operativos incluso durante una interrupción en el suministro de energía de la red principal. (Huawei, Novum Solar, 2022)

Estos son los puntos clave de un Backup Box en un sistema de energía solar con almacenamiento de baterías:

- Conversión de Energía: El Backup Box convierte la corriente continua (DC) almacenada en las baterías de litio en corriente alterna (AC), que es la forma de energía utilizada por la mayoría de los electrodomésticos y dispositivos en hogares y empresas.

- **Compatibilidad con Baterías de Litio:** Está diseñado específicamente para trabajar con baterías de litio debido a su eficiencia, densidad de energía y perfiles de carga/descarga.
- **Funcionamiento Independiente de la Red:** A diferencia de los inversores solares estándar que requieren de la red para funcionar, el Backup Box puede suministrar energía aun cuando la red eléctrica está apagada, gracias a su capacidad para actuar como una fuente de energía independiente.
- **Suministro de Cargas Críticas:** Puede alimentar cargas críticas que son esenciales para el funcionamiento continuo durante apagones. Esto incluye, pero no se limita a, refrigeradores para conservar alimentos, routers de wifi para mantener la conectividad, iluminación de emergencia para seguridad, y servidores para la continuidad de las operaciones comerciales.
- **Priorización de Cargas:** Algunos Backup Box permiten configurar prioridades de carga, asegurando que los dispositivos más críticos reciban energía antes que otros menos importantes en caso de una interrupción.
- **Integración con Sistemas Fotovoltaicos:** Se integran con sistemas fotovoltaicos existentes, agregando funcionalidad de respaldo sin necesidad de alterar significativamente la configuración del sistema de energía solar.
- **Operación Automática:** En el evento de un corte de energía, el Backup Box típicamente se activa automáticamente para suministrar energía de las baterías sin interrupción, garantizando una transición suave y sin esfuerzo por parte del usuario.

Estos sistemas son una solución cada vez más popular no solo en el ámbito residencial sino también en aplicaciones comerciales y de infraestructura crítica, donde la continuidad del suministro eléctrico es fundamental. Con el creciente interés en la resiliencia energética y la independencia de la red, la demanda de equipos como el Backup Box probablemente seguirá creciendo.



Figura 2 Ilustración de un Backup-box (Huawei, 2022)

2.2.5. Convertidor DC/DC para módulos de batería de litio

Según Huawei (2022) El convertidor para módulos de batería, también conocido como Battery Management System (BMS), es un componente crucial en la gestión de baterías de litio, especialmente en sistemas de autoconsumo energético, como los que se utilizan en instalaciones solares residenciales o comerciales. Aquí están algunas de las funciones principales y beneficios de un BMS:

- **Monitoreo del Estado de la Batería:** El BMS monitorea constantemente parámetros vitales de la batería como el voltaje, la corriente y la temperatura. Esta información es esencial para asegurar que la batería opera dentro de sus especificaciones seguras.
- **Control de Cargas y Descargas:** Regula las corrientes de carga y descarga para evitar que la batería se cargue demasiado rápido o se descargue más allá de sus límites seguros, lo cual puede afectar la vida útil de la batería y su seguridad.
- **Gestión de Celdas:** Asegura un balance de las celdas individuales de la batería para que todas tengan el mismo nivel de carga. Esto es importante porque, en un paquete de baterías, el rendimiento general está limitado por la celda más débil.
- **Protección de la Batería:** Implementa medidas de seguridad para prevenir situaciones de peligro como sobrecalentamiento, sobrecarga y cortocircuito. Esto protege no solo la batería sino también al usuario y al sistema general de autoconsumo.

- Maximización de la Vida Útil: Al gestionar de forma óptima el proceso de carga y descarga y mantener las celdas balanceadas, el BMS ayuda a maximizar la vida útil de la batería, lo que es económicamente beneficioso y sostenible.
- Interfaz de Comunicación: Un BMS moderno suele incluir la capacidad de comunicarse con otros componentes del sistema de autoconsumo, como los inversores, y a menudo permite la supervisión remota y el diagnóstico a través de plataformas digitales.
- Eficiencia Energética: Facilita el uso más eficiente de la energía almacenada, lo que puede mejorar la eficiencia general del sistema de autoconsumo.

El convertidor para módulos de batería es, por lo tanto, una pieza integral de la infraestructura de almacenamiento de energía, haciendo posible la integración segura y eficiente de las baterías de litio en sistemas de autoconsumo energético. Con el crecimiento de la energía renovable y la transición hacia la independencia energética, la importancia de una gestión de batería sofisticada y confiable seguirá siendo un área clave de desarrollo tecnológico.



Figura 3 Convertidor DC/DC de la batería de litio incorporado el BMS con voltaje de operación de 350 a 560 Vdc (Puntoenergía, 2019)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Profundidad de descarga / Depth Of Discharge (DOD)

La relación entre la capacidad de descarga de una batería, expresada en amperios-hora (Ah), y su capacidad nominal constituye la base para determinar el Grado de Descarga (DOD, por sus siglas en inglés). Este parámetro ofrece una métrica alternativa al Estado de Carga (SOC) para evaluar la carga remanente de una batería. Existe una correlación inversa entre el SOC y el DOD; a medida que el SOC se reduce, el DOD se incrementa. (Martínez Bertran, 2017)

2.3.2. Estado de carga / State Of Charge (SOC)

La expresión del Estado de Carga (SOC, por sus siglas en inglés) se define como el indicador porcentual del nivel de carga presente en una batería. El SOC alcanza el 100% cuando la batería ha alcanzado su máxima capacidad de almacenamiento energético. Este parámetro reviste una importancia primordial en el contexto del proyecto en cuestión, ya que se procederá a la presentación y análisis de metodologías diseñadas para su cuantificación. (Martínez Bertran, 2017)

2.3.3. Resistencia interna

Este concepto se refiere a la modelización teórica de los efectos eléctricos resultantes de las complejas interacciones químicas internas de una batería, representados como una resistencia. Dado su carácter teórico, este valor no es susceptible de medición directa en la batería, sin embargo, puede ser inferido a través del análisis de datos empíricos de corriente y voltaje obtenidos de la misma. Cuando se aplica una carga a la batería, la resistencia interna de ésta se puede calcular con cualquiera de las dos ecuaciones (Martínez Bertran, 2017)

$$R_B = \frac{V_0 - V}{I} \quad (1)$$

$$R_B = \frac{V_0}{I} - R_L \quad (2)$$

Donde:

- RB. Resistencia interna de la batería
- V0. Tensión de vacío de la batería
- V. Tensión de la batería con carga
- Intensidad Suministrada por la batería

2.3.4. Vida útil

El tiempo durante el cual una batería puede sostener su rendimiento por encima de ciertos umbrales mínimos establecidos previamente se denomina vida útil de la batería. Adicionalmente, este término también se define como la cantidad de ciclos de carga completos que la batería puede soportar, recuperando su capacidad plena tras cada uso, antes de que su rendimiento decrezca hasta un nivel considerado inaceptable. (Martínez Bertran, 2017)

2.3.5. Diagrama unifilar de la instalación

Se realizó el diagrama unifilar del análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno. se realizará el montaje de los equipos de medición e instalación realizada, ver Figura 3:

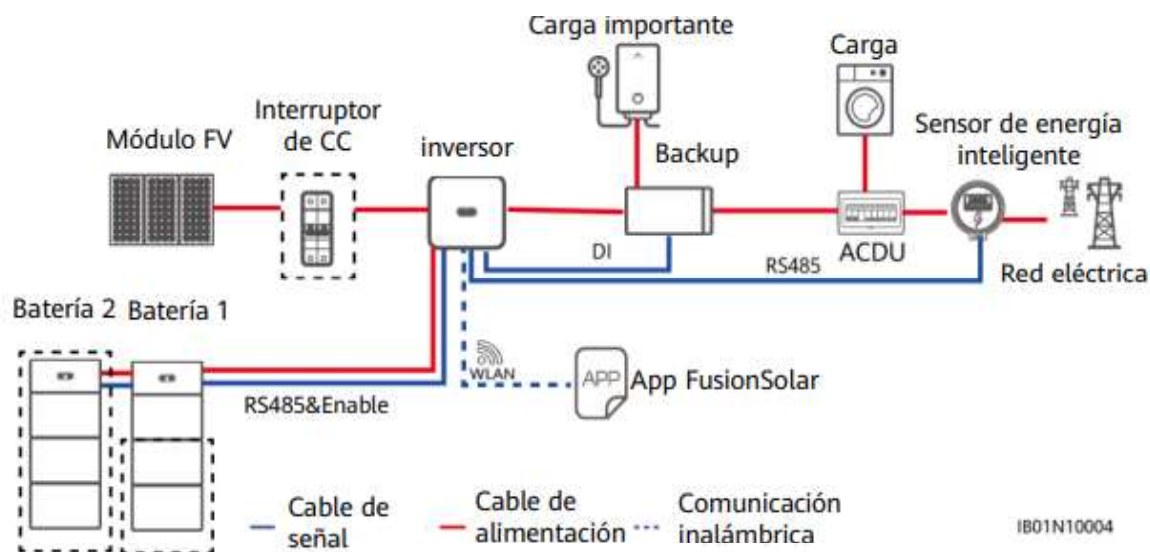


Figura 4 Diagrama unifilar del sistema híbrido conectado a red (Huawei, 2020)

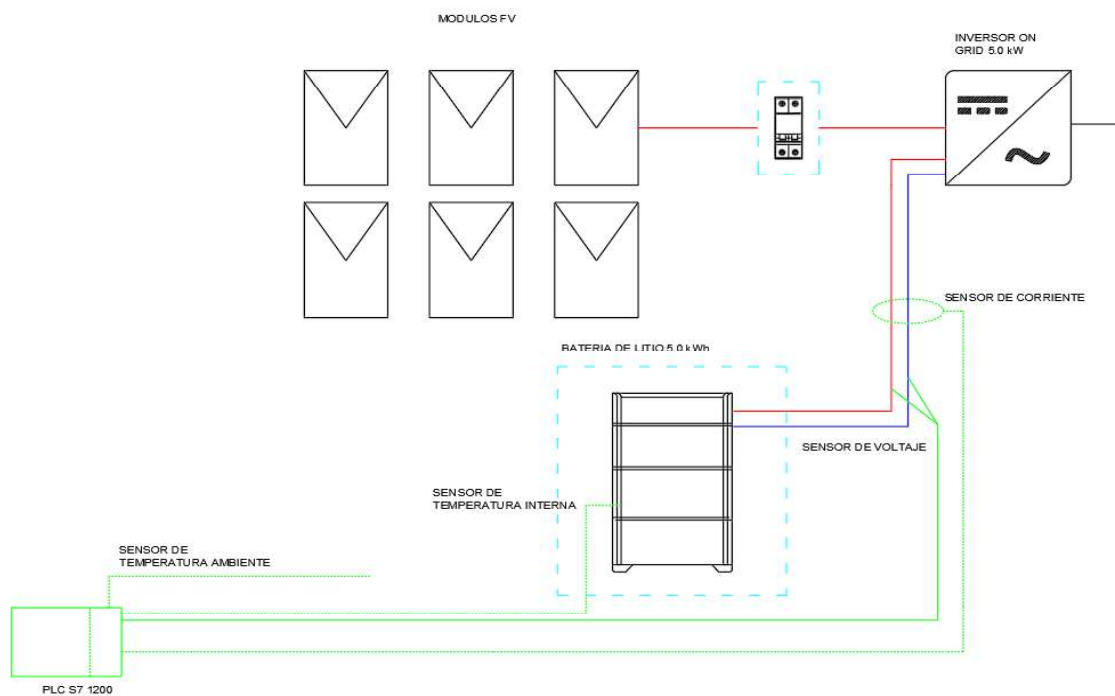


Figura 5 Diagrama eléctrico de la instalación del PLC y sensores para la adquisición de datos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Formulación de la hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

En la operación del acumulador de litio 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red se determinará el rendimiento a más de 3800 msnm Illpa Puno.

3.1.2. Hipótesis específicas

- La profundidad máxima de descarga en relación al número de ciclos del acumulador de 5.0 kWh permitirá saber el comportamiento en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.
- La temperatura de operación del acumulador de litio 5.0 kWh influye en la vida útil en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a red a más de 3800 msnm Illpa -Puno.
- La tensión y la corriente de entrada al acumulador de litio 5.0 kWh es empleado para elaborar el perfil de carga en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.

3.2. Metodología

La presente investigación fue de tipo aplicada. El nivel fue descriptivo aplicando un diseño de investigación no experimental con un enfoque cuantitativo. Se tuvo un único grupo muestral que estuvo constituido por 01 batería de litio incorporado con su convertidor DC/DC instalado en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica en el cual se midieron las variables identificadas.

También se realizó el análisis de principios, normativas, documentación e información de cada componente, además de un diagrama unifilar para el montaje de los equipos de medición y programación.

3.2.1. Comportamiento de la batería

Para evaluar el comportamiento de la batería y el rendimiento en la carga y descarga. Se describe el siguiente modelo matemático de primer orden para verificar el estado de carga (SOC) y de salud (SOH) de las baterías híbridas (Ni-MH). ver ecuación 3 (Romo, 2019)

$$V_{(t)} = V_{oc} - R_{int}I_{(t)} - K_1 \frac{dQ_{(t)}}{dt} \quad (3)$$

Donde:

- $V_{(t)}$ es el voltaje de la batería en el tiempo t.
- V_{oc} es el voltaje de circuito abierto de la batería.
- R_{int} es la resistencia interna de la batería.
- $I_{(t)}$ es la corriente de la batería en el tiempo t.
- K_1 es una constante de proporcionalidad.
- $dQ_{(t)}$ es la carga de la batería en el tiempo t.

3.2.2. Profundidad de Descarga (DoD)

La Profundidad de Descarga (DoD) es una medida que ayuda a entender cuánto de la capacidad total de la batería ha sido utilizada. Aquí hay una explicación teórica de cómo determinar los ciclos de carga y descarga basándose en esta ecuación:

$$DoD = \left(1 - \frac{\text{Capacidad restante}}{\text{Capacidad total}}\right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

- Capacidad restante: La cantidad de energía que queda en la batería después de algún uso.
- Capacidad total: La capacidad total de la batería cuando está completamente cargada.

La ecuación proporcionada es esencial para gestionar de manera efectiva la utilización de la batería, asegurando que se mantenga dentro de los límites que optimizan su vida útil y rendimiento. Además, ayuda en la planificación de cuándo cargar y descargar la batería para obtener una eficiencia óptima.

Donde:

- Un DoD del 0% significa que la batería está completamente cargada.
- Un DoD del 100% significa que la batería está completamente descargada.

Determinación de los Ciclos de Carga y Descarga:

Ciclo de Carga:

- Comienza cuando la batería está en su punto más bajo de carga y termina cuando está completamente cargada.
- Durante este ciclo, la "Capacidad restante" de la batería aumenta hasta que alcanza la "Capacidad total".

Ciclo de Descarga:

- Comienza cuando la batería está completamente cargada y termina cuando la energía de la batería ha sido utilizada hasta un cierto nivel.
- Durante este ciclo, la "Capacidad restante" disminuye desde la "Capacidad total".

Consideraciones de Ciclo de Vida:

- Las baterías tienen un número limitado de ciclos de carga y descarga que pueden realizar antes de que su rendimiento comience a degradarse.
- Mantener un DoD bajo puede ayudar a prolongar la vida útil de la batería, ya que un DoD alto puede resultar en una degradación más rápida.

Planificación de Ciclos:

- Se puede planificar el uso de la batería basándose en su DoD, asegurándose de que no se descargue por debajo de un cierto nivel para mantener una vida útil más larga.
- Es posible también planificar los ciclos de carga para que coincidan con los momentos en que la electricidad es más barata o abundante (por ejemplo, en casos de energía solar).

3.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 1 Operacionalización de variables del proyecto de tesis

Variables	Dimensiones	Indicadores
Independientes:		
Profundidad de descarga	Capacidad nominal	Ah
	Capacidad extraída	Ah
	Resistencia interna	mΩ
Tensión de carga	Voltios	V.
Corriente de carga	Amperios	A.
Dependientes:		
Numero de ciclos de carga y descarga	Nº Ciclos	Cn
Temperatura de operación	Grados Celsius	°C
Vida útil	Periodo	%
Rendimiento	Eficiencia	%

Nota: las variables que se muestran primero son para la adquisición de datos para luego dar el resultado en variables dependientes

3.2.4. Ámbito del proyecto

La presente investigación de desarrollo en el Fundo ganadero Chelita – Moro – Illpa -Puno. Este Fundo Ganadero se encuentra en una ubicación privilegiada dentro del maravilloso y diverso territorio de Puno, Perú. Este fundo se dedica principalmente a las actividades ganaderas, manteniendo un firme compromiso con la calidad y el bienestar animal. Es probable que se especialice en la cría y cuidado de diferentes tipos de ganado,

tales como vacas, ovejas, chanchos o pequeños animales, aprovechando la riqueza de los pastizales naturales de la región.

Ubicación geográfica:

- Latitud sur: 15°40'05''
- Longitud oeste: 70°05'24''
- Altitud: 3823 msnm



Figura 6 *Ámbito espacial del lugar del proyecto de investigación (Earth, 2022)*

3.2.5. Población

La población del estudio será el sistema análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red en Moro – Illpa – Puno.

3.2.6. Muestra

Este estudio trabajó con todos los datos de la población por lo que no se usó muestra.

3.2.7. Recolección y registro de datos

- Recolección de datos del acumulador de litio se realizará con equipos de medición como multímetro, pinza amperimétrica.
- Recolección de datos en tiempo real será con PLC y sensores instalados.
- Recolección del sistema de monitoreo del acumulador, establecido por el fabricante
- El tiempo de recolección de datos será por tres meses (agosto, septiembre y octubre)

3.3. Materiales

Equipos para el sistema análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0kWh.

- Acumulador (Batería-ion litio)
- Convertidor DC/DC.
- Conectores MC4 tipo.
- Conductores.
- Sensor de temperatura.

3.3.1. Módulos fotovoltaicos

El módulo fotovoltaico utilizado tiene como finalidad de captar la energía proveniente del sol para lograr obtener la corriente eléctrica en corriente continua.

- a) El primer generador este compuesto por 16 módulos fotovoltaicos policristalino de una potencia de 340w en la marca ECO GREEN donde se tiene una potencia instalada de 5.44 kW que está conectado al inversor maestro.



Figura 7 Modulo fotovoltaico de 340 Wp ECO GREEN

Tabla 2 Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de 340W ECO GREEN

Parámetros eléctricos	
Potencia máxima	430 W
Tolerancia de potencia	0 + 5 W
Eficiencia del módulo	17.52%
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	38.42 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	8.85 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	46.58 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.23 A

- b) El segundo generador este compuesto por 10 módulos fotovoltaicos monocristalinos con tecnología PERC de 400W cada uno en la marca TRINA SOLAR que en conjunto se tiene una potencia instalada de 4.0 kW.



Figura 8 *Modulo fotovoltaico de 400 W monocrystalino PERC*

Tabla 3 *Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de 400W monocrystalino*

Parámetros eléctricos	
Potencia máxima	400 W
Tolerancia de potencia	0 +5 W
Eficiencia del módulo	20.80%
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	34.2 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	11.70 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	41.2 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	12.28 A
Rangos de temperatura	
Temperatura nominal de operación NOCT	43 °C (+2K)
Coefficiente de temperatura Pmax	-0.34%/K
Coefficiente de temperatura Voc	-0.25%/K
Coefficiente de temperatura Isc	-0.04%/K

3.3.2. Inversor híbrido conectado a red

los inversores híbridos instalados tienen una capacidad de conectar baterías de acumulación de litio ya que es de uso residencial en el fundo se tiene los inversores de 5.0 kW y 6.0 kW de la marca HUAWEI FUSION SOLAR de los modelos SUN2000-5KTL-L1, SUN2000-6KTL-L1 conectados en cascada que en conjunto suman una potencia de 11.0 kW.



Figura 9 Inversor híbrido conectado a la red modelo SUN2000 KTL-L1

Tabla 4 Especificación técnica de los inversores 5KTL y 6KTL

Especificación técnica	SUN2000 5KTL-L1	SUN2000 6KTL-L1
Máxima eficiencia	98.40%	98.40%
Eficiencia ponderada europea	97.80%	97.80%
INGRESO FOTOVOLTAICO		
Potencia máxima recomendada PV	7500 Wp	9000 Wp

Tabla 4 (Continuación)

Voltaje máximo entrada PV	600 Vdc	600 Vdc
voltaje de arranque	100 Vdc	100Vdc
Rango de voltaje de funcionamiento MPPT	90V - 560Vdc	
Máx. corriente de entrada por MPPT	12.5 A	
Máx. corriente de cortocircuito	18 A	
Número de seguidores MPP	2	
Máx. número de entradas	2	
Ingreso batería DC		
Rango de voltaje de funcionamiento	350 - 560 Vdc	
Corriente operativa máxima	15 A	
Potencia de carga máxima	5000 W	
Potencia máxima de descarga	5000 W	
Batería compatible Batería	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh 1	
Salida del inversor		
Conexión a red	Monofásica	
Potencia nominal de salida	5000 W	6000 W
Tensión nominal de salida	220 /230/240 Vac	
Frecuencia nominal de red	50/60 Hz	

3.3.3. Backup box

El Backup box en los inversores híbridos conectados a red hacen que trabaje el inversor en modo isla, esto ocurre cuando hay corte de energía eléctrica, este equipo garantiza la continuidad de suministro de energía desde el acumulador de litio o bien de los módulos fotovoltaicos para suministrar a cargas críticas que necesitan mantéense encendidos.

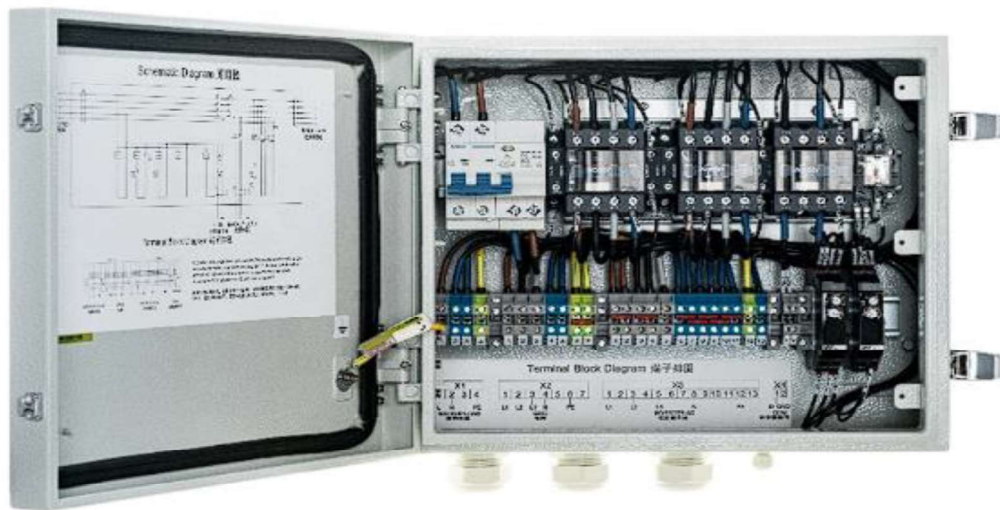


Figura 10 Backup box B0 monofásico para autoconsumos compatible con inversor de red

3.3.4. Acumulador (Batería-ion litio)

El acumulador de litio es una batería de alto voltaje para autoconsumo mediante el fabricante estas baterías pueden descargarse hasta un 100% sin embargo para protegen sus ciclos de vida se cuida a los 80%. esta construido de ferrofosfato de litio es de la marca HUAWEI modelo LUNA2000.



Figura 11 Acumulador de litio modelo LUNA2000 5kWh

3.3.5. Sensores y accesorios utilizados para la medición

- Sensor de temperatura PT 100
- Transductor de voltaje
- Transductor de corriente
- Fuente de poder switching de 24V a 5^a
- Transductor de temperatura PT 100
- Cable de red ethernet

3.4. Instrumentos

Los instrumentos que se usarán son:

3.4.1. Instrumento para almacenar datos CPU PLC

El PLC es un dispositivo que actúa como una computadora especializada para la automatización industrial de procesos, está diseñado para soportar las duras condiciones industriales y ocupar un espacio mínimo en el panel de control. En este trabajo su uso fundamental fue de recolección y almacenamiento de datos como el Voltaje, Corriente y temperaturas.



Figura 12 Controlador programable (PLC S7-1200) datos extraídos fabricante

Tabla 5 Especificaciones técnicas del controlador programable (PLC S7- 1200)

Función	CPU 1212C	
Dimensiones físicas (mm)		
	trabajo	75 KB
Memoria de usuario	carga	2MB
	Permanente	10KB
	digital	8 entradas/ 6 salidas
E/ S locales integradas	analógico	2 entradas
Tamaño de la memoria de imagen de proceso	entradas (I)	1024 bytes
	salidas (Q)	1024 bytes
		4096 bytes
Contactores rápidos		Total

a). Multímetro digital

- Marca : Fluke
- Modelo : 376FC
- Unidad de medida : Voltios ohmios,

b). Pinza amperimétrica digital

- Marca : Fluke
- Modelo : 376FC
- Unidad de medida : Amperios

c). Aplicación del software de procesamiento de datos

- Exel: software utilizado recoger los datos.
- Python: Software para realizar los análisis estadísticos y visualización de datos.

3.5. Presupuesto

Tabla 6 Cuadro de presupuestos para realizar la medición y toma de datos y procesamiento de datos.

Ítem	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total en soles
1.Equipos				
Conectores mc4 tipo Y	S/.	2	25.00	50.00
Sensor de corriente	S/.	1	500.00	500.00
Sensor de voltaje	S/.	1	550.00	550.00
Sensores de Temperatura	S/.	3	170.00	510.00
PLC	S/.	1	3,500.00	3,500.00
Módulo de expansión	S/.	1	800.00	800.00
inversor de corriente AC -DC 24V 5ª	S/.	1	80.00	80.00
3.Materiales de escritorio				
Libreta de campo	S/.	1	30.00	30.00
USB	S/.	1	45.00	45.00
4.Servicios				
Internet	S/. mes	3	60.00	180.00
Telefonía móvil	S/. mes	3	30.00	90.00
Transporte	S/. mes	3	75.00	225.00
Impresión	S/. mes	1	200.00	200.00
Total				6,760.00

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados objetivo específico 1

Objetivo específico 1: Evaluar el comportamiento de la profundidad de descarga con relación a número de ciclos del acumulador de litio 5.0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.

a). Proceso de carga del acumulador de Litio instalado en un sistema fotovoltaico conectado a la red

La Figura 13 muestra el proceso de carga de una batería de litio en un sistema fotovoltaico conectado a la red.

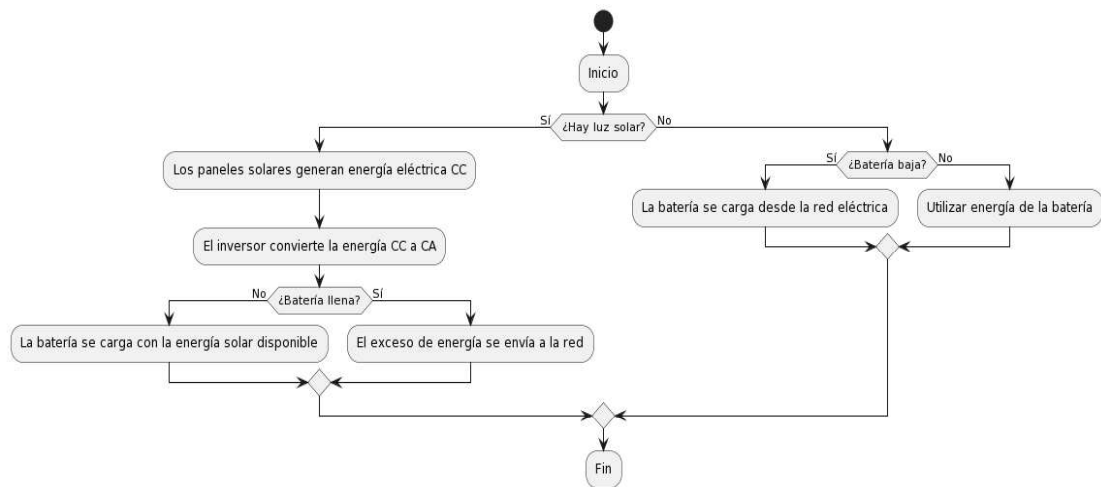


Figura 13 Proceso de carga del acumulador de litio de 5.0kWh

En la Figura 13, el proceso comienza determinado si "¿Hay luz solar?" Si hay luz solar, los paneles solares capturan la energía solar y la convierten en energía CC. La energía CC se almacena en una batería si la batería está baja. Si la batería está llena, la energía CC se

envía al inversor, que la convierte en energía CA. La energía CA se puede utilizar para alimentar dispositivos eléctricos.

b). Evaluación de comportamiento de la profundidad de descarga del acumulador de litio de 5.0kWh.

La Figura 14 muestra la Profundidad de Descarga (DoD) para cada ciclo de descarga del acumulador de Litio de 5.0kWh instalado. Cada barra representa un ciclo de descarga de un total de 203 ciclos de descarga identificados, y la altura de la barra indica la DoD como un porcentaje de la capacidad total de la batería (5.0 kWh).

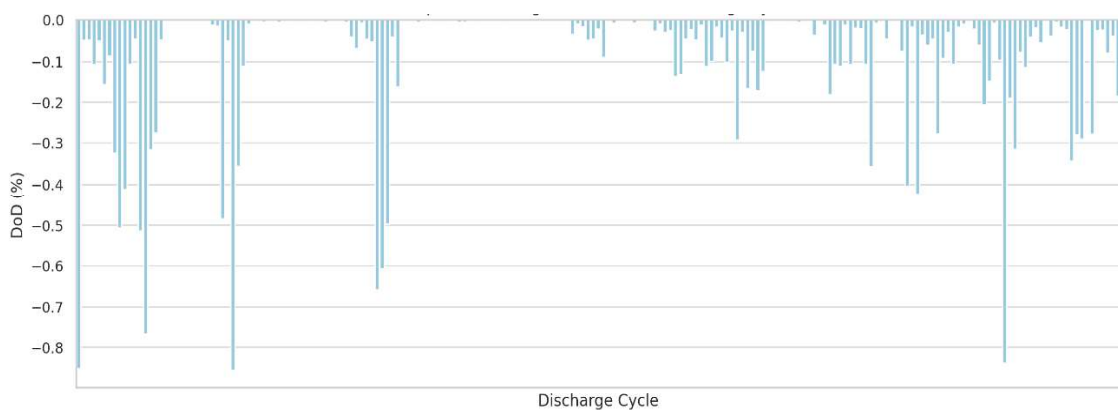


Figura 14 Profundidad de Descarga (DoD) para cada ciclo de descarga del acumulador de litio LUNA 2000.

El gráfico sugiere que la batería ha sido operada de manera bastante conservadora, con la mayoría de los ciclos de descarga mostrando una baja profundidad de descarga. Esto podría ser una estrategia para preservar la vida útil de la batería, evitando descargas profundas frecuentes. Además, la variabilidad en la DoD podría reflejar diferentes demandas de energía o estrategias de operación a lo largo del tiempo esto se sustenta en las siguientes razones:

- Variabilidad de la DoD: Hay una notable variabilidad en la Profundidad de Descarga (DoD) a lo largo de los diferentes ciclos. Algunos ciclos tienen una DoD relativamente baja, cercana al 0%, mientras que otros ciclos muestran una DoD más alta.

- Ciclos con baja DoD: La mayoría de los ciclos de descarga tienen una DoD baja, lo que indica que la batería no fue descargada significativamente en esos ciclos. Esto podría ser una condición favorable para la longevidad de la batería, ya que los ciclos de descarga profunda tienden a reducir la vida útil de la batería.
- Ausencia de descargas profundas: No hay ciclos de descarga que muestren una DoD extremadamente alta, cercana al 100%. Esto significa que la batería raramente fue descargada completamente en los ciclos presentes en este conjunto de datos.
- Frecuencia de ciclos con DoD moderada: Hay algunos ciclos que muestran una DoD moderada, indicando que la batería fue utilizada más intensivamente en esos momentos.

Un aspecto distintivo de esta representación es que proporciona una visión granular del patrón de uso de la batería, al presentar la DoD de todos los ciclos de descarga individuales registrados durante el periodo analizado, que fueron un total de 203 ciclos.

Esta perspectiva ciclo a ciclo facilita identificar la variabilidad en la exigencia de descarga de la batería a lo largo del tiempo. Por ejemplo, la preponderancia de barras de baja altura denota una mayor frecuencia de eventos de DoD reducida, mientras que las pocas barras más pronunciadas corresponden a descargas ocasionales más intensas.

Otro hallazgo relevante que surge del gráfico es la ausencia de casos extremos con una DoD cercana al 100%, lo cual indicaría descargas muy profundas y severas que podrían comprometer la integridad de la batería, como advierten Han et al. (2017).

En conjunto, el diagrama de barras aporta luces sobre el rango típico de variación de la demanda energética que debe suplir la batería bajo estas condiciones reales de operación. Asimismo, la predominancia estadística de bajas DoD evidencia una estrategia generalmente conservadora en la exigencia del sistema de almacenamiento.

Estos discernimientos son esenciales tanto para la planificación de la capacidad y gestión óptima de la batería actual, como para el dimensionamiento a futuro de sistemas similares destinados a entornos y aplicaciones análogas.

c). Evaluación de numero de ciclos del acumulador de 5.0kWh en relación con la profundidad de descarga.

La vida útil de la batería se relaciona inversamente con la profundidad de descarga (DoD). A mayor DoD, menor será la vida útil de la batería. Para estimar la vida útil de la batería en términos del número de ciclos de descarga primero se calculó la DoD para cada ciclo y luego se estimó la vida útil de la batería basándonos en esta DoD y la información general disponible sobre las baterías LiFePO4.

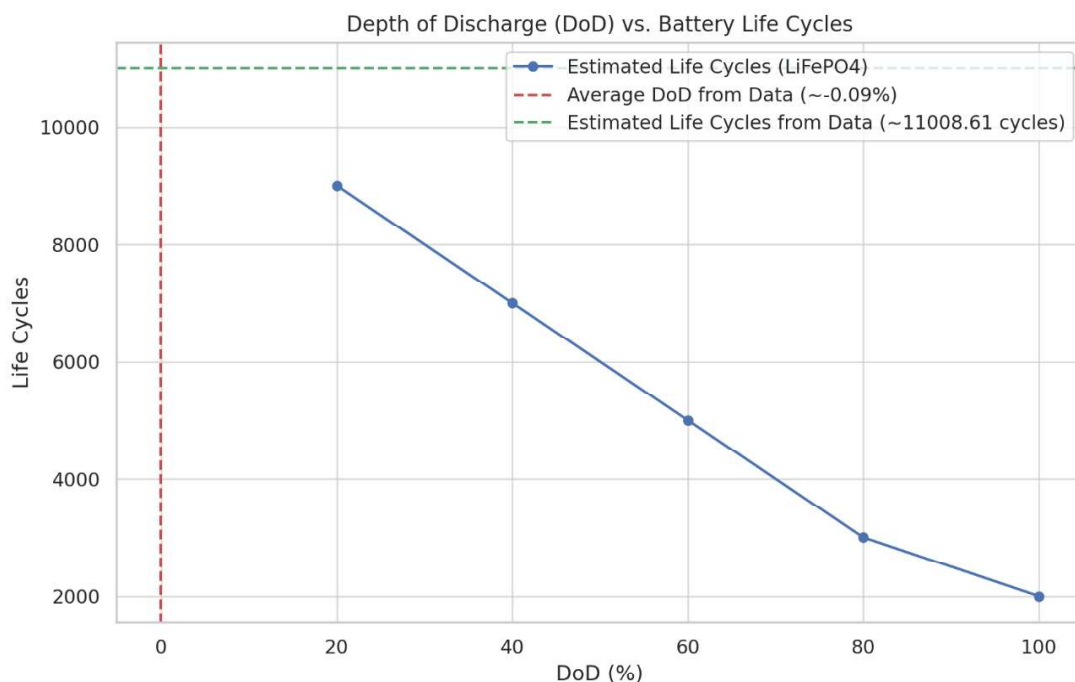


Figura 15 Profundidad de Descarga (DoD) y los ciclos de vida del acumulador de litio LUNA 2000.

La Figura 15 muestra la relación estimada entre la Profundidad de Descarga (DoD) y los ciclos de vida del acumulador de Litio de 5.0kWh que está hecha de LiFePO4 según su ficha técnica, junto con los valores calculados a partir de los datos recogidos; la línea azul con marcadores representa la vida útil estimada del acumulador de Litio de 5.0kWh y muestra que a mayor DoD, la batería tiene menos ciclos de vida. La línea vertical roja discontinua representa la DoD promedio calculada a partir de los datos capturados en el sistema instalado, que es aproximadamente:

$$\text{DoD} = 0.85\%$$

La línea horizontal verde discontinua representa los ciclos de vida estimados para la DoD promedio de sus datos, que es aproximadamente 9000 ciclos. La DoD calculada a partir de los datos obtenidos en el sistema es bastante baja, lo que sugiere que la batería podría tener una vida útil más larga, cercana a los 9000 ciclos.

Los resultados sugieren que el acumulador de Litio de 5.0kWh, bajo las actuales condiciones operativas, está siendo utilizada de una manera que maximizará su vida útil. La baja DoD promedio indica que la batería raramente se descarga de manera significativa, una práctica que, según la literatura, puede contribuir a una mayor longevidad de la batería. Esta se apoya en las siguientes razones

- Línea de Vida Estimada (Azul)

Esta línea representa una estimación general de la relación entre la Profundidad de Descarga (DoD) y la cantidad de ciclos de vida que la batería puede soportar antes de llegar al final de su vida útil.

La tendencia de la línea es decreciente, indicando que a medida que la DoD aumenta (la batería se descarga más en cada ciclo), la cantidad de ciclos de vida que la batería puede soportar disminuye. Esto está en línea con la comprensión teórica y empírica general de que las descargas más profundas aceleran el agotamiento y degradación de la batería.

- Línea Vertical Roja (DoD Promedio)

Esta línea representa la DoD promedio calculada a partir de los datos proporcionados. Se encuentra alrededor del 0.85%, lo que indica que, en promedio, la batería ha sido descargada muy ligeramente en cada ciclo.

Una DoD baja sugiere una estrategia operativa conservadora, probablemente con el objetivo de maximizar la longevidad de la batería.

- Línea Horizontal Verde (Ciclos de Vida Estimados)

Esta línea representa la cantidad estimada de ciclos de vida que la batería puede soportar, dada su DoD promedio. Se encuentra cerca de los 9000 ciclos, lo cual es bastante alto.

Como han investigado extensamente Choi y Lim (2002), este material catódico tiene la ventaja de una alta estabilidad frente al estrés ocasionado por los ciclos de carga-descarga. Otro elemento relevante en la Figura es la DoD promedio calculada a partir de los datos experimentales, representada por la línea vertical roja alrededor del 0.85%. Este reducido valor es indicativo de un uso conservador de la batería, práctica que, según explican Han et al. (2014), contribuye a prolongar los ciclos de vida al evitar fatiga acumulada.

Asimismo, la intersección de la DoD promedio observada experimentalmente con la curva teórica de vida útil predice aproximadamente 9000 ciclos para el acumulador bajo las actuales condiciones operativas. Esta predicción tan optimista muestra congruencia con las recomendaciones para maximizar durabilidad.

En síntesis, la representación logra integrar efectivamente especificaciones teóricas del fabricante con desempeño empírico bajo condiciones reales, fortaleciendo el sustento para la estimación de vida útil y corroborando una estrategia enfocada en favorecer la longevidad del sistema.

4.1.2. Resultados objetivo específico 2

Determinar la temperatura de operación en relación con la vida útil del acumulador de litio 5.0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.

Análisis de temperatura de operación interna y externa, se analizaron las temperaturas interna y externa del acumulador de Litio de 5.0kWh en la siguiente Figura se muestra el flujo de trabajo para configurar y mantener el sistema de registro de temperatura interna y externa de un acumulador de litio de 5.0kWh El sistema consta de dos sensores PT100, uno para medir la temperatura interna del acumulador y otro para medir la temperatura externa. Los sensores están conectados a un PLC S7-1200, que recopila los datos de temperatura y los almacena en un registro, ver Figura 16:

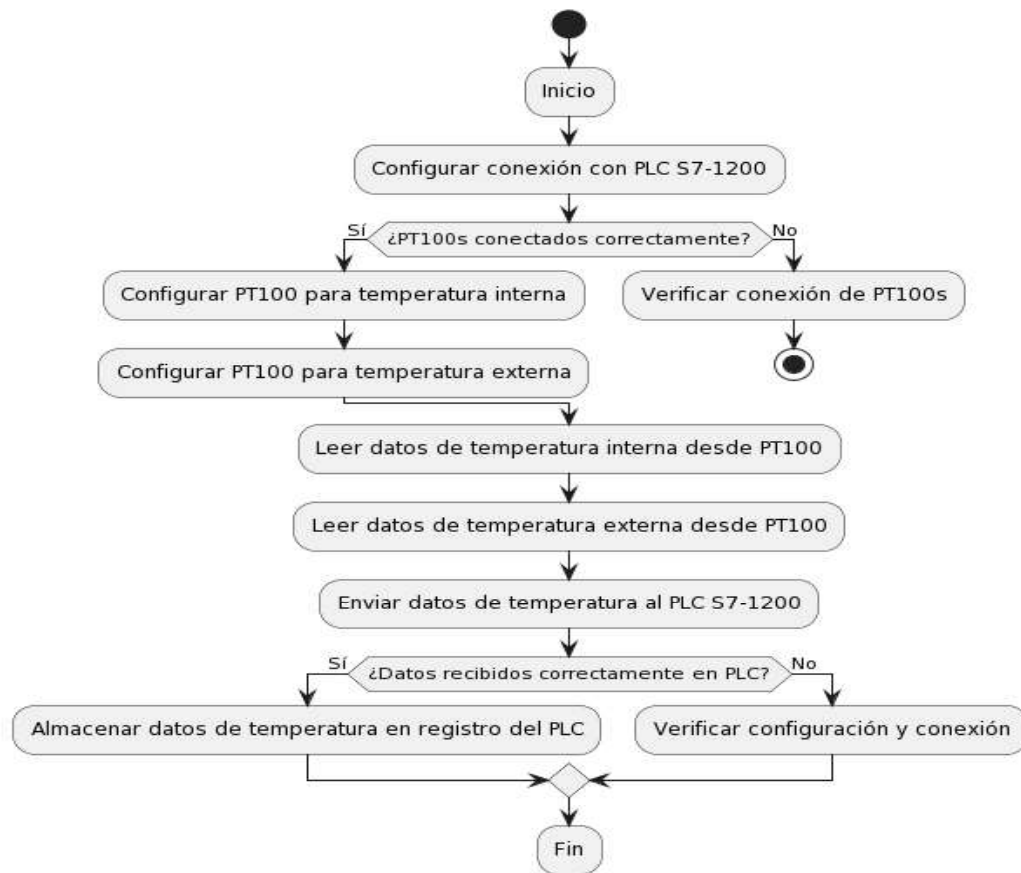


Figura 16 Diagrama de obtención y registro de temperaturas.

a). A continuación, se muestra los estadísticos descriptivos de los registros de temperatura interna y externa del acumulador de litio de 5.0kWh. De acuerdo con la Tabla 7, la temperatura interna promedio del acumulador de litio de 5.0kWh es de 25.01 °C. La temperatura más baja registrada fue de 5.49 °C y la más alta, de 51.75 °C. La desviación estándar es de 9.22 °C, por lo que podemos inferir que la temperatura interna del acumulador de litio de 5.0kWh se encuentra en un rango de 19.87 °C a 31.36 °C, con una temperatura promedio de 25.01 °C. Esta información es útil para evaluar el rendimiento del acumulador de litio de 5.0kWh y para garantizar que se opere dentro de sus límites de funcionamiento

Tabla 7 *Temperatura interna del acumulador de litio de 5.0kWh*

Item	Valor
Número de observaciones	11560
Media	25.01 °C
Desviación estándar	9.22 °C
Valor mínimo	5.49 °C
Primer cuartil	19.87 °C
Mediana	25.41 °C
Tercer cuartil	31.36 °C
Valor máximo	51.75 °C

Donde:

- El primer cuartil, o Q1, es el valor que divide la distribución en dos mitades iguales, con el 25% de los valores por debajo de él y el 75% por encima. En este caso, el Q1 es de 19.87 °C, lo que significa que el 25% de las temperaturas fueron inferiores a 19.87 °C.
- La mediana, o Q2, es el valor que divide la distribución en dos mitades iguales, con el 50% de los valores por debajo de él y el 50% por encima. En este caso, la mediana es de 25.41 °C, lo que significa que la mitad de las temperaturas fueron inferiores a 25.41 °C y la otra mitad fueron superiores.
- El tercer cuartil, o Q3, es el valor que divide la distribución en tres partes iguales, con el 75% de los valores por debajo de él y el 25% por encima. En este caso, el Q3 es de 31.36 °C, lo que significa que el 75% de las temperaturas fueron inferiores a 31.36 °C.

De acuerdo con la Tabla 8, la temperatura externa promedio del acumulador de litio de 5.0kWh es de 13.21 °C. La temperatura más baja registrada fue de 1.86 °C y la más alta, de 25.67 °C. La desviación estándar es de 6.87 °C, lo que significa que la mayoría de las temperaturas se encuentran dentro de un rango de 6.64 °C a 19.86 °C, con una temperatura promedio de 13.21 °C

Tabla 8 *Temperatura externa del acumulador de litio de 5.0kWh*

Ítem	Valor
Número de observaciones	11560
Media	13.21 °C
Desviación estándar	6.87 °C
Valor mínimo	1.86 °C
Primer cuartil	6.64 °C
Mediana	12.79 °C
Tercer cuartil	19.86 °C
Valor máximo	25.67 °C

- El primer cuartil, o Q1, es el valor que divide la distribución en dos mitades iguales, con el 25% de los valores por debajo de él y el 75% por encima. En este caso, el Q1 es de 6.64 °C, lo que significa que el 25% de las temperaturas fueron inferiores a 6.64 °C.
- La mediana, o Q2, es el valor que divide la distribución en dos mitades iguales, con el 50% de los valores por debajo de él y el 50% por encima. En este caso, la mediana es de 12.79 °C, lo que significa que la mitad de las temperaturas fueron inferiores a 12.79 °C y la otra mitad fueron superiores.
- El tercer cuartil, o Q3, es el valor que divide la distribución en tres partes iguales, con el 75% de los valores por debajo de él y el 25% por encima. En este caso, el Q3 es de 19.86 °C, lo que significa que el 75% de las temperaturas fueron inferiores a 19.86 °C

b). Correlación entre temperatura y DoD:

Se analizo si hay una correlación entre las temperaturas (interna y externa) y la DoD de cada ciclo de descarga, ver Figura 17 que muestra el análisis correlacional y una visión de cómo estas variables pueden estar relacionadas entre sí en el conjunto de datos procesados.

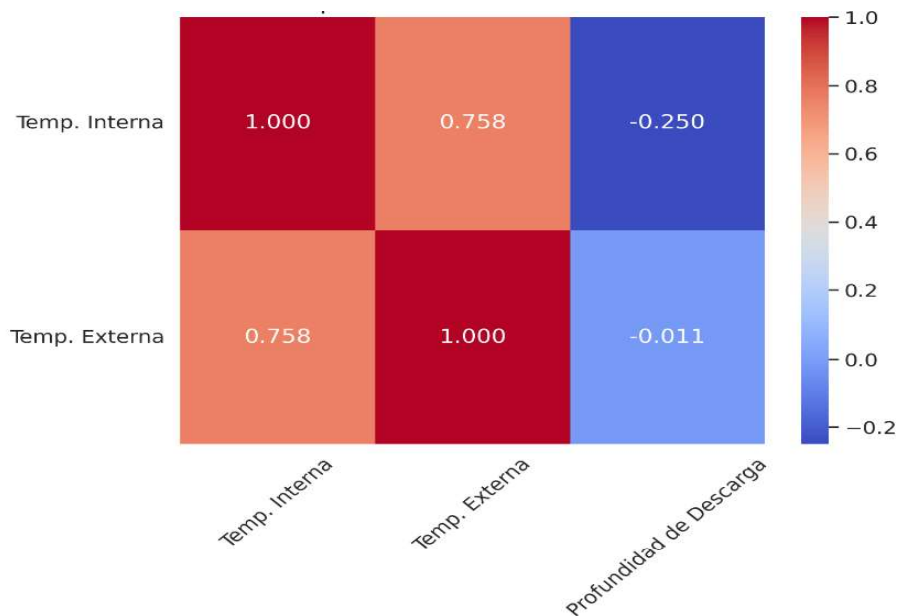


Figura 17 Mapa de calor de correlaciones

Donde:

- Temperatura Interna vs. Temperatura Externa: Hay una correlación positiva fuerte ($r=0.758$), lo cual es esperado, ya que las condiciones externas suelen influir en la temperatura interna de los dispositivos.
- Temperatura Interna vs. DoD: Hay una correlación negativa débil ($r=-0.250$), lo que sugiere que, a mayor temperatura interna, la profundidad de descarga tiende a ser ligeramente menor.
- Temperatura Externa vs. DoD: La correlación es muy débil y cercana a cero ($r=-0.011$), indicando que no hay una relación estadísticamente significativa entre la temperatura externa y la profundidad de descarga.

El mapa de calor facilita discernir interesantes dinámicas diferenciadas entre las interacciones de estas tres variables, lo cual motiva un análisis causal más profundo para entender los mecanismos subyacentes desde un punto de vista tanto empírico como teórico, un aspecto relevante de esta representación gráfica es que permite visualizar rápidamente la existencia, dirección y fortaleza de las interrelaciones entre estas tres variables operacionales clave del sistema de almacenamiento de energía analizado.

La correlación positiva significativa entre la temperatura interna y externa ($r = 0.758$) tiene sentido físico debido al intercambio térmico natural entre el ambiente y el equipo. Aunque podrían esperarse ciertas demoras e inercia térmica, en agregado se evidencia un acoplamiento entre la envolvente y el núcleo del sistema. Al respecto, Ji et al. (2019) señalan que "la temperatura ambiente determina en gran medida la temperatura de operación de las baterías a través de la transferencia de calor convectivo con el entorno".

En contraste, la prácticamente nula correlación entre la temperatura externa y la DoD ($r = -0.011$) resulta coherente con el principio de que la profundidad de descarga responde a la demanda eléctrica, la cual no necesariamente presenta estacionalidad o patrones climáticos. Por ende, desde un punto de vista teórico tiene lógica que no surja una interdependencia significativa en los datos observados. Esto concuerda con lo planteado por Han et al. (2014) en cuanto a que "la DoD está determinada principalmente por los requerimientos del sistema al cual la batería provee energía".

Más intrigante resulta la débil correlación negativa entre la temperatura interna y la DoD ($r = -0.250$), que podría indicar cierto efecto termodinámico o electroquímico donde descargas eléctricas más intensas se asocian a una ligera reducción de la temperatura, quizás por consumo de calor latente. Esta hipótesis requeriría validación experimental más rigurosa en futuros estudios. Al respecto, Guo et al. (2011) advierten que la relación entre los fenómenos térmicos y eléctricos en baterías de ion-litio puede ser muy compleja.

c). Determinación de la vida útil del acumulador de litio 5.0kWh con relación a la descarga para determinar el análisis de ciclos a diferentes rangos de temperatura, se categorizaron los ciclos de descarga con los rangos de temperatura y se analizó si hay diferencias notables en la DoD y otros parámetros en diferentes categorías de temperatura, ver Figura 18

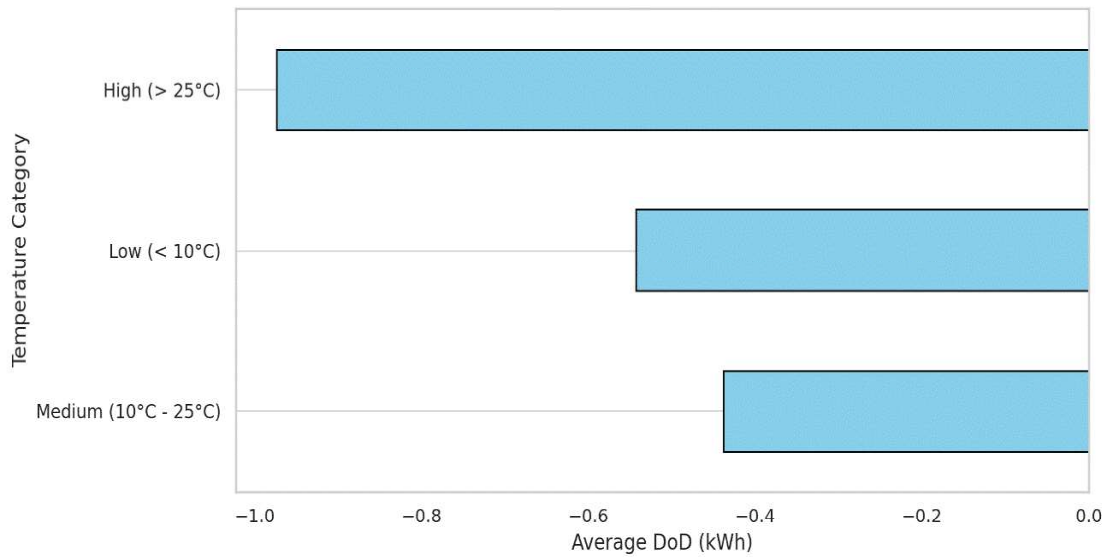


Figura 18 *Profundidad promedio de descarga por categoría de temperatura.*

La Figura 18 muestra la Profundidad de Descarga (DoD) promedio en diferentes categorías de temperatura; proporciona una visualización clara de cómo varía la DoD promedio con las diferentes categorías de temperatura, ayudando a entender el impacto potencial de la temperatura en el rendimiento de descarga de la batería.

Las categorías de temperatura se basan en la temperatura interna de la batería y están divididas en Baja (< 10°C), Media (10°C - 25°C) y Alta (> 25°C);

- La categoría Alta (> 25°C) muestra la DoD promedio más alta, indicando que, a temperaturas internas más altas, la batería tiende a descargarse un poco más en promedio.
- Las categorías Baja (< 10°C) y Media (10°C - 25°C) tienen DoD promedios más bajos, sugiriendo que, en estas temperaturas, la batería tiende a descargarse menos en promedio.

Esta Figura facilita visualizar el vínculo entre variables térmicas y eléctricas en la operación real del acumulador analizado, un aspecto relevante de esta Figura es que permite discernir el efecto de la temperatura de operación sobre el comportamiento eléctrico del acumulador, específicamente en términos de la intensidad de descarga. Como se mencionó en la sección de resultados del objetivo específico 2, la categoría de

temperatura alta ($>25^{\circ}\text{C}$) se asocia con una mayor DoD promedio en comparación con las categorías media y baja.

Esta tendencia podría atribuirse a que a mayor temperatura se aceleran las reacciones electroquímicas internas, resultando en una mayor extracción de carga durante los eventos de descarga, tal como explican Dubarry et al. (2021).

Si bien la diferencia en DoD promedio entre categorías no es dramática, sí se observa una clara gradiente positiva de temperatura versus descarga. Considerando que en la sección de discusión se concluyó, sobre la base de múltiples estudios, que la DoD más alta se relaciona con una reducción en la vida útil de las baterías, este hallazgo subraya la importancia de monitorear activamente y controlar la temperatura interna.

Según los datos anteriores se pudo graficar la Figura 19 donde se muestra la vida útil de la batería (ciclos) y su relación con la temperatura

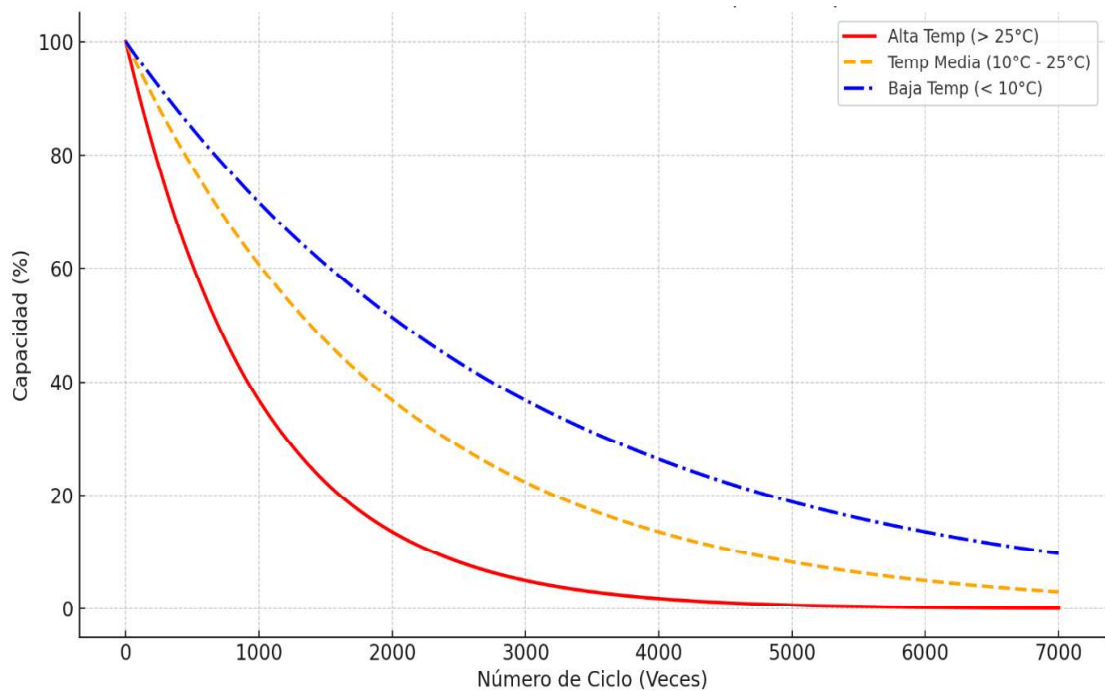


Figura 19 Grafico Vida útil vs Temperatura del acumulador de litio LUNA 2000.

Las curvas demuestran la tasa de degradación de la capacidad en función del número de ciclos, lo cual es un indicador de la vida útil de la batería. Se aprecia que la capacidad de las baterías disminuye exponencialmente con el número de ciclos, siendo más pronunciada esta disminución a temperaturas más altas. Esto sugiere que la temperatura es un factor crítico que afecta la longevidad de la batería.

En condiciones de alta temperatura, la curva muestra una tasa de degradación rápida, lo cual puede atribuirse a la aceleración de las reacciones químicas dentro de la batería que conducen a un deterioro más rápido. Por otro lado, las baterías operadas en temperaturas bajas muestran una tasa de degradación más lenta, lo que podría explicarse por la disminución de la actividad química a bajas temperaturas. Sin embargo, es importante considerar que la capacidad inicial en bajas temperaturas podría ser menor debido a la limitada movilidad iónica. La temperatura media ofrece un compromiso entre las dos, con una tasa de degradación moderada.

Un aspecto distintivo de esta Figura es que facilita discernir el impacto de la temperatura sobre la degradación y agotamiento de la batería a lo largo del tiempo. Las curvas comparativas evidencian de forma inequívoca una tasa de deterioro exponencialmente mayor de la capacidad a medida que aumenta la temperatura.

Este comportamiento respalda sólidamente lo postulado por Raijmakers et al. (2021), en relación al efecto acelerador que tiene la temperatura sobre los mecanismos electroquímicos de envejecimiento. Asimismo, la representación concuerda con las recomendaciones de mantener la operación de las baterías por debajo de los 25°C para prolongar su longevidad.

Cabe mencionar que la aparente vida más corta a temperaturas extremadamente bajas se explica principalmente por la severa limitación cinética que exhiben las reacciones electroquímicas intrínsecas en esas condiciones. No obstante, a mediano y largo plazo, el beneficio sobre el envejecimiento se maximiza en el rango moderado.

Esta comparativa refuerza contundentemente la necesidad de incorporar estrategias activas de gestión térmica en los sistemas de almacenamiento con baterías de ion-litio, para

garantizar su confiabilidad y sostenibilidad. Los hallazgos facilitarán optimizar los protocolos de monitoreo y control ambiental en función del ciclo de vida económico deseado.

4.1.3. Resultados objetivos específico 3

Elaborar el perfil de carga del acumulador de litio 5.0kWh en función a la tensión y corriente en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.

a). Análisis de carga y descarga del acumulador de litio de 5.0kWh

La Figura 20 muestra los ciclos de carga y descarga de un acumulador de litio de 5.0kWh durante un período de tiempo específico y proporciona una visión detallada de los ciclos de carga y descarga de un acumulador que esencial para monitorear y gestionar el rendimiento y la salud del acumulador.

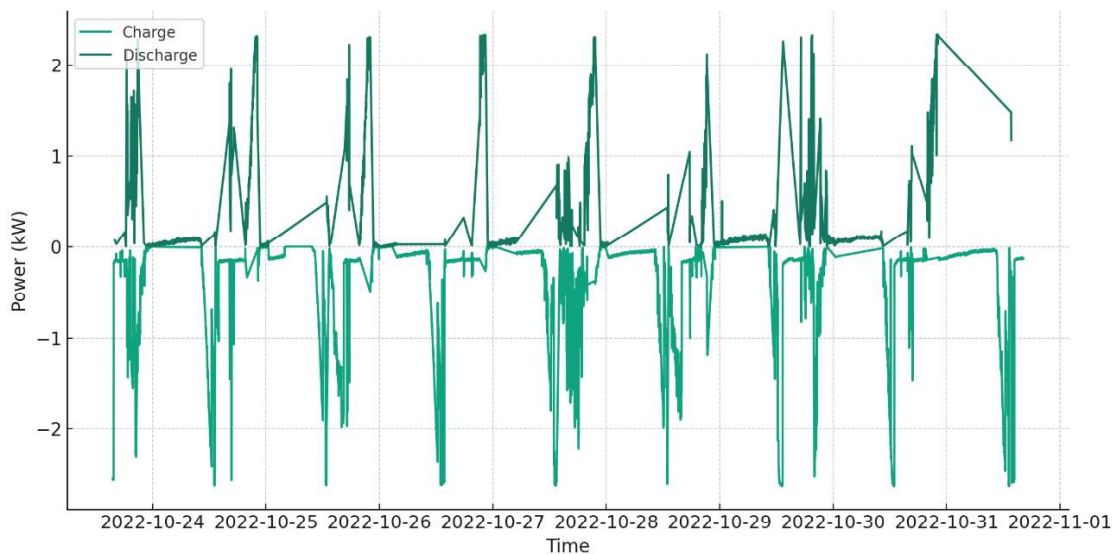


Figura 20 Potencia instantánea con períodos de carga y descarga identificados

Donde:

- Ciclos de Carga (Valores negativos): Se pueden identificar varios ciclos de carga cuando la potencia es negativa. Durante estos períodos, el acumulador está recibiendo energía y almacenándola. Las barras negativas más bajas indican una

carga más rápida o una mayor cantidad de energía que se está suministrando al acumulador.

- Ciclos de Descarga (Valores positivos): Cuando la potencia es positiva, el acumulador está liberando energía. Las barras positivas más altas representan una descarga más rápida o una mayor cantidad de energía que se está extrayendo del acumulador.
- Intensidad y Duración: La longitud de las barras verticales indica la duración de cada ciclo de carga o descarga. Por ejemplo, algunas barras son cortas, lo que indica ciclos rápidos, mientras que otras son más largas, lo que indica ciclos que duran más tiempo. Además, la amplitud de las barras indica la intensidad del ciclo. Barras más altas (ya sean positivas o negativas) indican una mayor intensidad en el ciclo de descarga o carga, respectivamente.
- Variabilidad: Hay una variabilidad considerable en los ciclos de carga y descarga a lo largo del tiempo. Esto podría deberse a diferentes demandas de energía, variaciones en la fuente de energía o cambios en las condiciones operativas.

El perfil de carga obtenido evidencia un desempeño energético adecuado del acumulador, siendo una pieza clave para el monitoreo efectivo de su estado y rendimiento.

Como explican Laresgoiti et al. (2015), la fase de corriente constante inicial se caracteriza por un aumento progresivo del voltaje conforme ingresan los iones de litio, luego la fase de saturación mantiene el voltaje estable reduciendo gradualmente la corriente, hasta que la señal de corte indica fin de carga.

Los resultados experimentales evidencian estas etapas esperadas, demostrando un correcto funcionamiento del algoritmo de carga y una respuesta activa de las celdas electroquímicas ante la excitación eléctrica controlada. Asimismo, se distingue claramente el estado de “listo” con tensión máxima y corriente nula.

Cabe mencionar cierta irregularidad y variabilidad durante la saturación, probablemente debida a la retroalimentación entre voltaje y corriente ante la limitación de sobrecarga. Futuros estudios podrían profundizar en modelos matemáticos para describir más precisamente esta dinámica.

b). Perfil de carga del acumulador de litio 5.0kWh en función a la tensión y corriente

Según los datos analizados se elaboró el perfil de carga de un acumulador de litio con una capacidad de 5.0 kWh. Este perfil es fundamental para entender cómo el acumulador maneja la energía durante el proceso de carga, lo que es esencial para maximizar su eficiencia y vida útil, ver Figura 21.

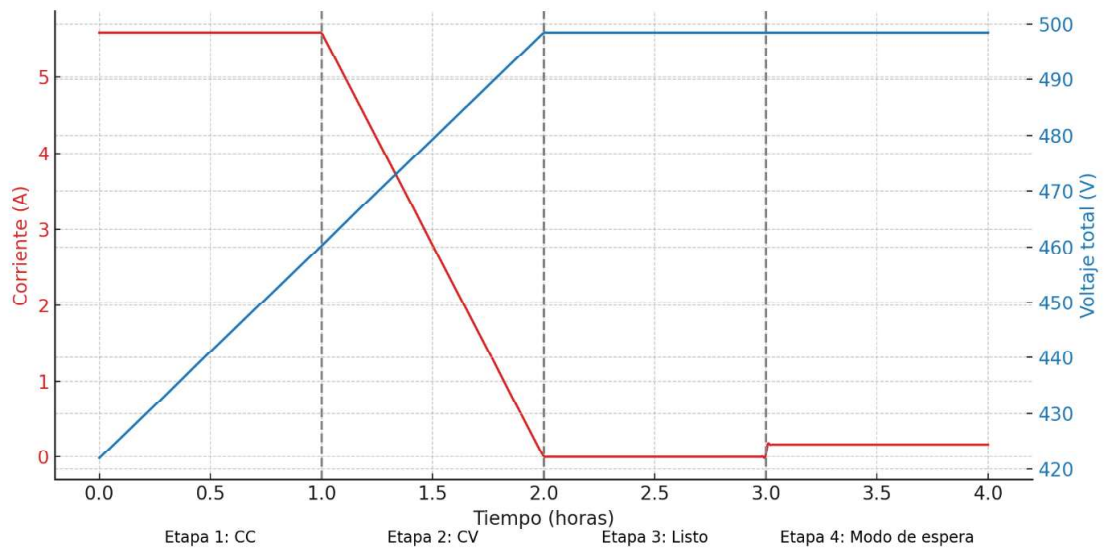


Figura 21 Perfil de carga del acumulador de litio de 5.0kWh

Donde:

- Etapa 1: Carga Constante de Corriente (CC)

En esta etapa inicial, el acumulador recibe una corriente constante, permitiendo que el voltaje de las celdas aumente progresivamente.

Se observa una subida uniforme en el voltaje, indicando que las celdas están aceptando carga de manera efectiva.

- Etapa 2: Carga de Saturación (CV)

La corriente de carga comienza a disminuir gradualmente mientras que el voltaje alcanza su valor máximo permitido.

Este enfoque ayuda a proteger la batería contra sobrecargas, asegurando así su integridad y prolongando su vida útil.

- Etapa 3: Listo (Sin corriente)

En este punto, la batería ha alcanzado su capacidad máxima y no acepta más carga. La corriente cae a cero.

El voltaje se mantiene constante en su valor máximo, indicando una batería completamente cargada.

- Etapa 4: Modo de Espera

La batería entra en un estado de mantenimiento donde se aplica una pequeña corriente para compensar cualquier auto descarga.

Es esencial para mantener la batería en un estado óptimo durante períodos de inactividad.

Un aspecto notable de esta representación radica en la evidente dependencia entre la tasa de degradación de la batería y la temperatura, reflejada en la pronunciada divergencia de las curvas comparativas a medida que aumenta la cantidad de ciclos.

Esta tendencia se observa en investigaciones previas, como las llevadas a cabo por Raijmakers et al. (2021), que apuntan al impacto acelerador que posee la temperatura sobre diversos mecanismos electroquímicos de deterioro en baterías de iones de litio, tales como la degradación de los electrodos, la descomposición del electrolito y el aumento de la resistividad.

Asimismo, la representación provee una validación experimental concluyente sobre las recomendaciones estándar de operar este tipo de baterías a temperaturas moderadas, idealmente por debajo de los 25°C. Por ejemplo, Dubarry et al. (2021)

advierten en su estudio sobre el severo efecto adverso que tienen valores superiores a este umbral.

Además de las implicaciones prácticas sobre los protocolos de monitoreo y control ambiental, estos resultados introducen interesantes cuestionamientos teóricos en torno a los procesos cinéticos y termodinámicos que subyacen la aceleración del envejecimiento con el calor.

Una posible hipótesis podría ser el aumento exponencial de la tasa de reacciones químicas debilitantes en los materiales activos con la temperatura, según las ecuaciones de Arrhenius. No obstante, se requiere una investigación más profunda al respecto. La comparativa permite dimensionar el beneficio sustancial sobre la extensión de la vida útil que representa la gestión térmica activa para este tipo de tecnologías electroquímicas de almacenamiento, fundamentando la necesidad de su incorporación en sistemas basados en baterías de ion-litio.

4.2. Discusión

Sobre el objetivo de evaluar la profundidad de descarga y su relación con el número de ciclos, diversos autores coinciden en que una estrategia conservadora, evitando descargas profundas recurrentes, contribuye a extender la vida útil de las baterías de iones de litio (Han, Han, & Aki, 2017; Choi & Lim, 2002). De hecho, algunos fabricantes recomiendan no exceder una profundidad de descarga del 80% para lograr más de 6000 ciclos (Electropaedia, 2022). Los resultados obtenidos concuerdan con estas recomendaciones, con una baja profundidad promedio y ausencia de descargas profundas frecuentes.

En relación con la temperatura de operación, Raijmakers et al. (2021) señalan que a mayor temperatura se acelera el deterioro por estrés mecánico, recristalización y reacciones secundarias. De modo similar, Dubarry et al. (2021) advierten que operar sobre los 25°C reduce significativamente la vida útil prevista. Los hallazgos de temperaturas internas por encima de 25°C asociadas a mayor profundidad de descarga respaldan estas precauciones sobre el efecto negativo de altas temperaturas.

Sobre la elaboración del perfil de carga, Laresgoiti et al. (2015) destacan la importancia de distinguir las etapas de carga constante, saturación y listo para un correcto mantenimiento y operación. El perfil obtenido reveló estas etapas esperadas, evidenciando un adecuado comportamiento energético. No obstante, Ji et al. (2019) recomiendan optimizar la gestión de carga ante variabilidad en la demanda, tal como se observó en los datos analizados.

Por lo tanto, la operación conservadora del acumulador, el efecto de la temperatura y la utilidad del perfil de carga concuerdan con las recomendaciones y hallazgos reportados en bibliografía especializada reciente sobre baterías de iones de litio en aplicaciones fotovoltaicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Conclusión 1: Se realizó el análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más de 3800 msnm Illpa – Puno este acumulador de iones de litio de 5.0kWh, donde nos los siguientes resultados.

Conclusión 2: El análisis del comportamiento de la profundidad de descarga con relación al número de ciclos del acumulador de litio de 5.0kWh permite concluir que la estrategia operativa aplicada ha sido conservadora, con la mayoría de los ciclos presentando bajos valores de profundidad de descarga. Esta aproximación cautelosa, evitando descargas profundas reiteradas, es coherente con las recomendaciones técnicas para extender la vida útil de las baterías de iones de litio, al reducir el estrés electroquímico acumulado. La baja profundidad de descarga promedio calculada (0.85%) predice, según las especificaciones del fabricante, una prolongada vida útil cercana a los 9000 ciclos.

Conclusión 3: En cuanto a la temperatura de operación y su vínculo con la longevidad del sistema, el análisis efectuado no halló una correlación estadísticamente significativa entre la temperatura ambiente exterior y la profundidad de descarga. Sin embargo, se observó que el aumento de la temperatura interna por encima de los 25°C se asocia con una leve tendencia al incremento de la profundidad de descarga promedio. Aunque modesta, esta tendencia podría acortar ligeramente la vida útil prevista, por lo que se recomienda monitorear la temperatura interna y aplicar medidas correctivas en caso de desviaciones que comprometan el rendimiento.

Conclusión 4: La elaboración del perfil de carga en base a la tensión y corriente permitió distinguir con claridad las etapas esperadas del proceso de carga de iones de litio: constante, saturación, listo y espera. Esto evidencia un comportamiento energético adecuado del sistema. Asimismo, se advierte una variabilidad en los ciclos de carga y descarga atribuible a fluctuaciones en la demanda o las condiciones operativas. El perfil desarrollado constituye una herramienta valiosa para seguir optimizando el desempeño del acumulador.

5.2. Recomendaciones

- Continuar con la estrategia conservadora en la profundidad de descarga para preservar la vida útil del acumulador de litio. Evitar descargas profundas recurrentes.
- Monitorear regularmente la temperatura interna y aplicar medidas para mantenerla dentro del rango recomendado por el fabricante. Por ejemplo, mejorar la ventilación o aislación térmica.
- Analizar la posibilidad de ajustar los ciclos de carga de acuerdo con las fluctuaciones en la demanda y condiciones operativas, para optimizar el perfil de carga.
- Seguir investigando si el uso continuo y discontinuo de la batería afecta su período de vida.
- Verificar periódicamente que las etapas del proceso de carga se completen adecuadamente. Calibrar los parámetros si fuera necesario.
- Continuar registrando datos operativos para detectar desviaciones del perfil esperado. Actualizar el modelo con los nuevos datos.
- Realizar mantenimientos preventivos y pruebas de capacidad para monitorear la salud del acumulador. Planificar el reemplazo al final de la vida útil.
- Documentar las lecciones aprendidas en la operación del sistema para mejorar continuamente el rendimiento y la longevidad del acumulador.
- Investigar tecnologías emergentes en baterías que puedan mejorar la relación costo-beneficio del sistema en el futuro.
- Difundir los resultados positivos de este análisis para incrementar la confianza en el uso de acumuladores de litio en proyectos fotovoltaicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, C. (2016). *Energia Solar Aplicada aos Centros Comunitários de Produção. Rio de Janeiro: Consultora IICA.*
- Choi, S. S., & Lim, H. S. (2002). Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-ion cell based on LiCoO₂. *Journal of Power Sources*, 111(1), 130-136.
- Dávila Tafur, R. C., & Villalobos Gomez, A. L. (2021). *Estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de Ion Litio de vehículos eléctricos: Una revisión sistemática.* Universidad César Vallejo.
- Dubarry, M., Devie, A., & Liaw, B. Y. (2021). Synthesize battery aging data for commercial Li-ion batteries and predict lifespan. *Journal of Energy Storage*, 40, 102707.
- Earth, G. (2022). *Google earth.* Obtenido de Google earth: <https://earth.google.com/web/@-15.66813628,-70.09000567,3822.96826184a,530.36030483d,35y,0h,0t,0r>
- Electropaedia. (2022). Battery Life (and Death). <https://www.mpoweruk.com/life.htm>
- Francisco Tomás, M. (2015). *Repositorio Académico de la Universidad de Chile.* Obtenido de Repositorio Académico de la Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132045>
- Guo, M., Sikha, G., & White, R.E. (2011). Single-particle model for a lithium-ion cell: Thermal behavior. *Journal of the Electrochemical Society*, 158(2), A122. <https://doi.org/10.1149/1.3515357>
- Han, X., Han, X., & Aki, H. (2017). A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle. *eTransportation*, 1, 100005.
- Han, X., Ouyang, M., Lu, L., & Li, J. (2014). A comparative study of commercial lithium-ion battery cycle life in electrical vehicle: Aging mechanism identification. *Journal of Power Sources*, 251, 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.029>

- Huawei. (04 de 08 de 2020). *Huawei fusion solar*. Obtenido de Huawei fusión solar: <https://support.huawei.com/>
- Huawei. (2022). *Novum Solar*. Obtenido de Novum Solar: <https://novumsolar.com/equipos/convertidor-dc-dc-para-modulos-de-bateria-huawei-luna2000-5kw-c0/>
- Huawei. (22 de 02 de 2022). *Novum Solar*. Obtenido de Nuvum Solar: <https://novumsolar.com/que-es-el-huawei-backup-box-y-como-incluirlo-en-tus-proyectos-conectados-a-la-red/>
- Ji, Y., Zhang, Y., & Wang, C. (2019). Lithium-Ion Battery Charging Management Considering Optimal Charging Profile and Schedulable Demand. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(6), 2645–2652.
- Laresgoiti, I., Käbitz, S., Ecker, M., & Sauer, D. U. (2015). Modeling mechanical degradation in lithium-ion batteries during cycling: Solid electrolyte interphase fracture. *Journal of Power Sources*, 300, 112-122.
- Martínez Bertran, J. (20 de 04 de 2017). *Universitat Politecnica de Catalunya* . Obtenido de Universitat Politecnica de Catalunya : <http://hdl.handle.net/2117/104855>
- Miao, Y., Hynan, P., von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1074. <https://doi.org/10.3390/en12061074>
- Morente Fernández, C. (05 de 03 de 2015). *Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid: <http://hdl.handle.net/10016/23050>
- N. C. Rosolem, M., dos Reis Marques, F., M. S. Aranha, J., Beck, R., do Nascimento, R., Rocha dos Santos, S., Basquera Jr. , M. (2018). Desenvolvimento de batería de Lítio-Íon nacional para sistemas fotovoltaicos. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar* .
- Pardo, L., & Victoria, P. (2018). *Las baterías de litio: El futuro motor del planeta*. Universidad Nacional de La Matanza.

- Perpiñan La Migueiro, O., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2012). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. España: Creative Commons.
- Puntoenergia. (2019). *Punto energia*. Obtenido de Punto energia: <https://www.puntoenergiashop.it/es/huawei/m%C3%B3dulo-de-control-bms-para-bater%C3%ADas-de-litio-huawei-serie-luna2000.html>
- Quispe Yapo, J. H., & Condori Huancapaza, M. (2020). *Determinación de la Remoción de Cromo (VI) de aguas mediante la adsorción por carbono a partir de las baterías de litio recicladas modificadas con MnO₂*. Universidad Peruana Unión.
- Raijmakers, L. H., Danilov, D. L., van Lammeren, J. P., Lammers, M., & Notten, P. H. (2021). Sensorless temperature estimation models for cylindrical Li-ion cells. *Journal of Energy Storage*, 33, 102192.
- Ren, H. K., Mcculloch, M., & Wallom, D. (2023). Optimal sizing of solar photovoltaic and lithium battery storage to reduce grid electricity reliance in buildings. Arxiv.org. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2306/2306.03581.pdf>
- Romo V, Milton Gustavo. (2019). Implementación de un modelo de batería híbrida Ni-Mh en Simulink, para verificar los estados de carga y salud. Edu.ec. Recuperado el 8 de diciembre de 2023, de <https://dSPACE.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9844/1/15474.pdf>
- Taco, C., & Sandro, Y. (2022). *Diseño de un banco de baterías para mejorar la autonomía de funcionamiento de bicicletas eléctricas - Moquegua 2022*. Universidad César Vallejo.
- Trejos Betancur, M. (2016). *Univesidad Tecnologica de Pereira*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira: <https://repositorio.utp.edu.co/items/2ec391a9-b37b-42a1-98fd-739759f060a3>
- Valenzuela Guzmán, R. D., Poma Montes, I., Polo Orellana, J. L., Canchari Porto, H. D., & Baquerizo Basurto, R. (2022). *Evaluación de generación de energía eléctrica*

mediante un sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento de energía con baterías (BEES- Storage) en la zona sur del país. Universidad ESAN.

Vivanco, G., & de Luren, F. J. (2022). *Diagnóstico del estado de salud y pronóstico de la vida útil remanente en baterías de iones de litio utilizando regresión de procesos gaussianos.* Universidad Nacional de Ingeniería.

Zheng, Y., Ou, X., Yan, X., & Zhang, X. (2020). Life cycle assessment of lithium-ion batteries for greenhouse gas emissions. *Resources, Conservation and Recycling, 150*, 104428. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104428>

Zilles, R., Negrao Macedo, W., Barros Galhardo, M., & Ferreira de Oliveira, S. (2012). *Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Electrica.* Brasil: Conselho.

ANEXOS

Anexo 1 *diagrama del Matriz de consistencia*

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE OPERACIÓN DE UN ACUMULADOR DE LITIO DE 5.0 KWH EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO CONECTADO A LA RED A MÁS 3800 MSNM ILLPA – PUNO

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		OBJETIVOS		HIPÓTESIS		VARIABLES		METODOLOGÍA	
Problema general		Objetivo general		Hipótesis general		Variables independientes:		Tipo de investigación:	
¿Será posible determinar el rendimiento de operación de un acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?	Evaluar el rendimiento de operación de un acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.	En la operación del acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red se determinará el rendimiento a más de 3800 msnm Illpa-Puno.	Profundidad de descarga	Ah	La presente investigación será de tipo aplicada. El nivel es descriptivo aplicando un diseño de investigación no experimental. Se tendrá un único grupo muestral que estará constituido por 01 batería de litio incorporado con su convertidor DC/DC, instalado en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica en el cual se medirán las variables identificadas.				
Problemas específicos ¿Será posible evaluar el comportamiento de la profundidad máxima de descarga en relación a número de ciclos del acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?	Objetivos específicos Evaluar el comportamiento de la profundidad de descarga en relación a número de ciclos del acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno	Hipótesis específicas La profundidad máxima de descarga en relación al número de ciclos del acumulador de 5,0 kWh permitirá saber el comportamiento en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.	Capacidad nominal Capacidad extraída Sensor de temperatura PT100 Resistencia interna	Ah Ah °C mΩ	El análisis de principios, normativas, documentación e información de cada componente, además de realizar un diagrama unifilar para el montaje de los equipos de medición y programación.				
¿Cómo influirá la temperatura de operación en relación a la vida útil del acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?	Determinar la temperatura de operación en relación a la vida útil del acumulador de litio 5,0kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno	La temperatura de operación del acumulador de litio 5,0kWh influye en la vida útil en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a red a más de 3800 msnm Illpa - Puno.	Tensión de carga	V.	La población del estudio será el sistema análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5.0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red en Moro – Illpa – Puno.				
¿Será posible elaborar el perfil de carga de un acumulador de litio 5,0kWh en función a la tensión y corriente en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno?	Elaborar el perfil de carga del acumulador de litio 5,0kWh en función a la tensión y corriente en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno	La tensión y la corriente de entrada al acumulador de litio 5,0kWh es empleado para elaborar el perfil de carga en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno	Corriente de carga	A.	Debido a las particularidades del proyecto y al tamaño de la población en estudio, la muestra será considerada el acumulador de litio del cual se hará el análisis del rendimiento de operación de un acumulador de litio de 5,0 kWh en un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red a más 3800 msnm Illpa – Puno.				
			Dependientes: Número de ciclos de carga y descarga Temperatura de operación Vida útil	Cn °C %					
			Rendimiento	%					

Anexo 2 Imagen de la batería de ion de litio y con inversores a red



Anexo 3 Imagen del tablero de PLC y sensores de voltaje y temperatura que se usaron en el proyecto





EOS POLY

por Eco Green Energy

340W

Celda de 156.75 mm - 72 Celdas

Fundada en el 2008, Eco Green Energy es una empresa de marca francesa fabricante de paneles fotovoltaicos y distribuyendo ahora sus módulos en más de 60 países alrededor del mundo. Los módulos solares Eos poly están fabricados solo con celdas Grado A para la máxima generación de energía, LCOE más bajo, y garantizando más de 25 años de vida útil.

CARACTERÍSTICAS CLAVE

PERC Tecnología de células PERC

Menor LCOE y BOS

anti PID / Bajo nivel de LID Protección Anti PID / Bajo nivel de LID

Menor riesgo de puntos calientes por efectos de sombreado

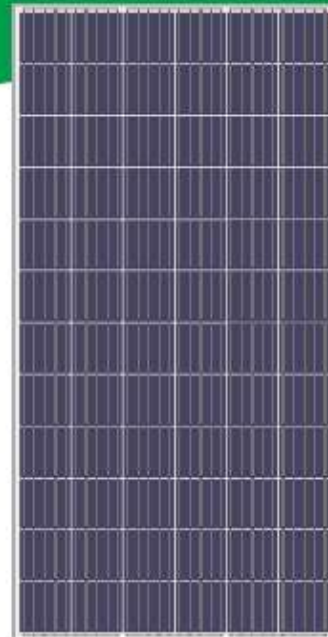
Bajo coeficiente de temperatura

72-Celdas
MÓDULO POLICRISTALINO

17.52%
EFICIENCIA MÁXIMA

0~+5W
TOLERANCIA DE POTENCIA POSITIVA

GRADO A
CÉLULAS GARANTIZADAS

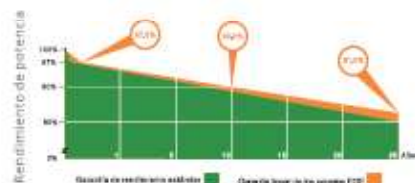


Módulo de calidad francesa



GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

12 años de garantía de producto - 25 años de garantía de potencia lineal



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. Reservados todos los derechos.
Dir.: 299 Xing Cheng Road, Chong Chuan District, Nanjing, Jiangsu, China.
Tel.: +86 513 86690088 / E-mail: info@eco-greenenergy.com

CERTIFICADOS INTEGRALES

IEC 61215/ IEC 61730 / IEC 61701/ UL 61730
ISO 9001 : Sistemas de gestión de la calidad



Facebook: www.facebook.com/EGE_Nanjing
LinkedIn: www.linkedin.com/company/eco-green-energy/
Website: www.eco-greenenergy.com



INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN STC*

Potencia máxima (Pmax)	340 W
Tolerancia de potencia	0-+5 W
Eficiencia del módulo	17.52 %
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	38.42 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	8.85 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	46.58 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.23 A

*Condiciones Estándar de Medida (STC) : Radiación : 1.000 W/m² · Temperatura de las celdas : 25°C · AM : 1.5

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN NOCT**

Potencia máxima de salida (Pmax)	251.53 W
Capacidad máxima de voltaje (Vmp)	35.48 V
Capacidad máxima de corriente (Imp)	7.08 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	43.24 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7.49 A

**Temperatura Nominal de Operación de la Celda (NOCT) : Irradiación : 800W/m² · Temperatura ambiente : 20°C · AM : 1.5 · Velocidad del viento : 1m/s

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipo de celdas	Policristalino (156,75x156,75 mm)
Número de celdas	72
Dimensiones	1,956x992x35mm
Peso	22.8 kg
Vidrio	3.2 mm Vidrio Templado, Alta Transmisión (> 94%), Revestimiento Antirreflectante
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	Clasificación IP68 (3 diodos de paso)
Cable	4.0 mm ² , 900mm (+) 900mm (-); La longitud se puede personalizar
Conector	Compatible con MC4 o MC4
Máxima carga frontal (ejem. nieve)	5,400 Pa
Máxima carga posterior (ejem. viento)	2,400 Pa

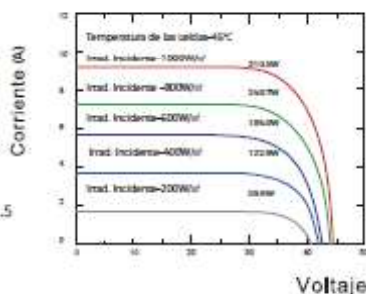
CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA RANGO MÁXIMO

NOCT	41 °C ±3 °C	Rango de temperatura de operación:	-40 °C -+85 °C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.35%/°C	Máximo voltaje del sistema	1,500V/DC(IEC) 1,500V/DC(UL)
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.30%/°C	Rango máximo de capacidad del fusible	25 A
Coefficiente de temperatura de Isc	+0.05%/°C		

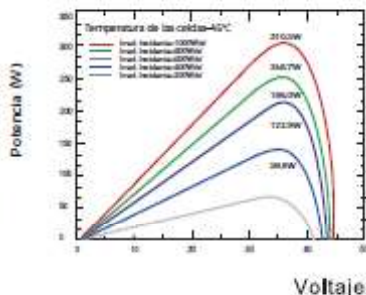
EMBALAJE (1,956x992x35mm)

Tipo	Cantidad	Peso
Paleta	31 pzas	738 kg
Contenedor 40HQ	816 pzas	19.43 t

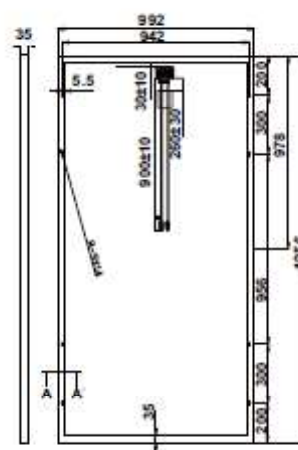
MÓDULO FV : EGE-340P-72



MÓDULO FV : EGE-340P-72



Dimensión del módulo fotovoltaico (mm)



Las especificaciones incluidas en esta hoja de datos están sujetas a cambios sin previo aviso. Consulte nuestro sitio web para obtener más información o póngase en contacto con uno de nuestros personal de ventas. www.eco-greenenergy.com

Anexo 5 Ficha técnica del módulo fotovoltaico de 400Wp TRINA SOLAR

Vertex S

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

PRODUCT: TSM-DE09.08
POWER RANGE: 390-405 W

405 W+

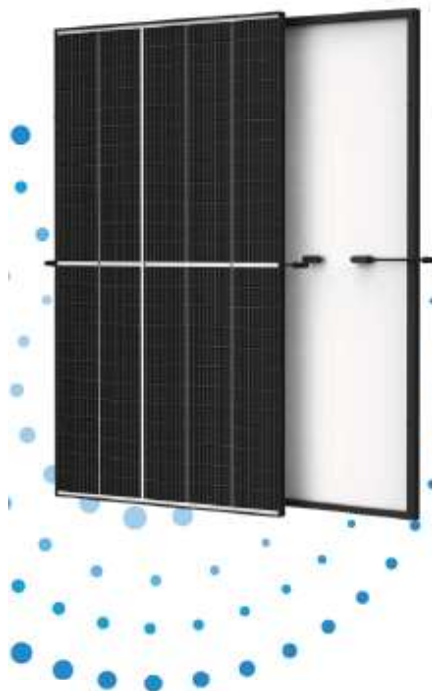
MAXIMUM POWER OUTPUT

0/+5 W

POSITIVE POWER TOLERANCE

21.1 %

MAXIMUM EFFICIENCY



Small in size, big on power

- Generates up to 405W, 21.1 % module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping, lower series resistance, improved current collection and enhanced reliability
- Excellent low light performance (IAM) with cell process and module material optimization



Universal solution for residential and C&I rooftops

- Designed for compatibility with existing mainstream inverters, optimizers and mounting systems
- Perfect size and low weight for easy handling. Optimized transportation cost
- Reduces installation cost with higher power bin and efficiency
- Flexible installation solutions for system deployment



High Reliability

- 6,000 Pa snow load (test load)
- 4,000 Pa wind load (test load)

Extended Vertex S Warranty

- 2 %**
1st year max. degradation
- 0.55 %**
Max. annual degradation from year 2 to 25
- 15 Years**
Product Workmanship Warranty

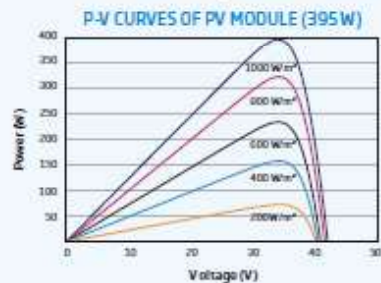
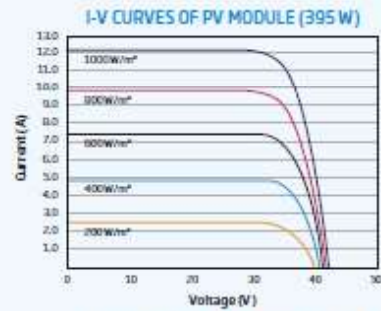
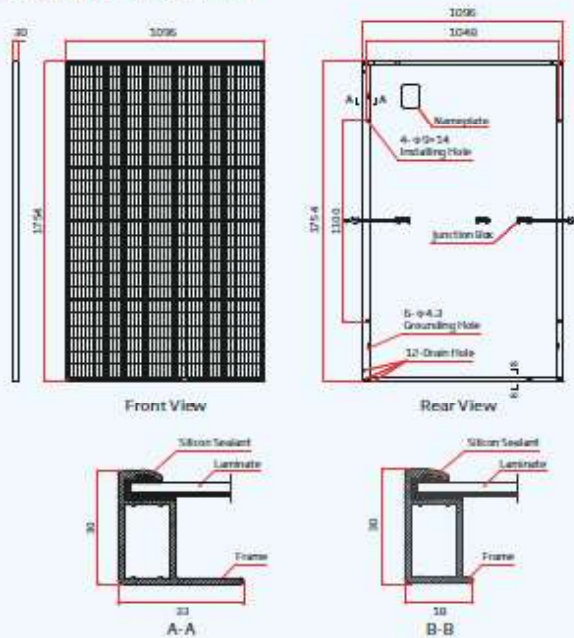


Comprehensive Product and System Certificates

- IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
- ISO 9001: Quality Management System
- ISO 14001: Environmental Management System
- ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
- ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



DIMENSIONS OF PV MODULE (mm)



ELECTRICAL DATA (STC)	TSM-300 DE05.08	TSM-305 DE00.08	TSM-400 DE00.08	TSM-405 DE00.08
Peak Power Watts- P_{max} (W)*	300	305	400	405
Power Tolerance- P_{max} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	33.8	34.0	34.2	34.4
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	11.54	11.62	11.70	11.77
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	40.8	41.0	41.2	41.4
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	12.14	12.21	12.28	12.34
Module Efficiency η_m (%)	20.3	20.5	20.8	21.1

STC: irradiance 1000W/m², air temperature 25°C, AM1.5 Global, *Measuring tolerance: ±1%

ELECTRICAL DATA (NOCT)	TSM-300 DE05.08	TSM-305 DE00.08	TSM-400 DE00.08	TSM-405 DE00.08
Maximum Power- P_{max} (Wp)	295	298	392	396
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	31.8	32.0	32.2	32.5
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	9.26	9.32	9.38	9.41
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	38.4	38.6	38.8	38.9
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	9.78	9.84	9.90	9.95

NOCT: irradiance 800W/m², Air temperature 45°C, wind speed 1m/s

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	120 cells
Module Dimensions	1754*1096*30 mm
Weight	21.0 kg
Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coating Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA/POE
Backsheet	White
Frame	30 mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² Landscape: 1100/1100 mm Portrait: 280/280 mm*
Connector	TSM/MC4 EV02*

*optional rating

TEMPERATURE RATINGS

NOCT ambient operating temperature	43°C (±2K)
Temperature Coefficient of P_{max}	-0.34%/K
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.25%/K
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.04%/K

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1500 VDC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

15 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year Degradation
0.55% Annual Power Degradation

(Please refer to our applicable literature warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per pack	36 pieces
Modules per 40 container	936 pieces

Smart Energy Center



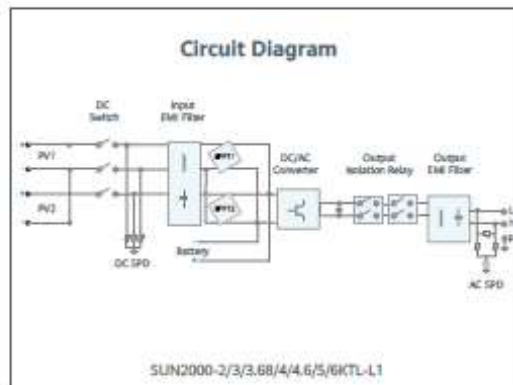
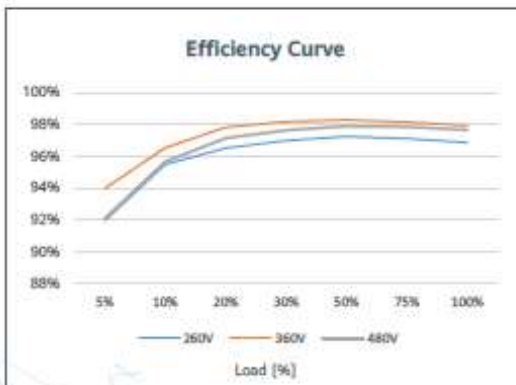
Active Safety
AI Powered
Active Arcing Protection



Higher Yields
Up to 30% More
Energy with Optimizer



2x POWER Battery Ready
5KW AC Output plus
5KW Battery Charge



Anexo 7 ficha técnica del acumulador de litio de LUNA2000-5-50

Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 ¹⁾
Efficiency							
Max. efficiency	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
European weighted efficiency	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
Input (PV)							
Recommended max. PV power ²⁾	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Max. input voltage				600 V ³⁾			
Start-up voltage				100 V			
MPPT operating voltage range				90 V - 560 V ⁴⁾			
Rated input voltage				360 V			
Max. input current per MPPT				12.5 A			
Max. short-circuit current				18 A			
Number of MPP trackers				2			
Max. number of inputs				2			
Input (DC Battery)							
Compatible Battery	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Operating voltage range	350 - 450 Vdc						
Max operating current	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Max charge power	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Max discharge Power @7H_R	2,200 W	3,300 W	3,580 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Max discharge Power @10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Compatible Battery	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh - 30kWh ¹⁾						
Operating voltage range	350 - 560 Vdc						
Max operating current	15 A						
Max charge Power	5,000 W ⁴⁾						
Max discharge Power	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Output							
Grid connection	Single phase						
Rated output power	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W ⁶⁾	6,000 W
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA ⁶⁾	5,500 VA ⁷⁾	6,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz						
Max. output current	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A ⁶⁾	25 A ⁶⁾	27.3 A
Adjustable power factor	0.8 leading - 0.8 lagging						
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %						
Backup power output	Yes (via Backup Box-5000 ¹⁾)						
Protection & Feature							
Anti-islanding protection	Yes						
DC reverse polarity protection	Yes						
Insulation monitoring	Yes						
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
Residual current monitoring	Yes						
AC overcurrent protection	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
AC overvoltage protection	Yes						
Over-heat protection	Yes						
Arc fault protection	Yes						
Battery reverse charging from grid	Yes						
General Data							
Operating temperature range	-25 - +60 °C (Derating above 45°C @ Rated output power)						
Relative operating humidity	0 %RH - 100 %RH						
Operating altitude	0 - 4,000 m (Derating above 2,000 m)						
Cooling	Natural convection						
Display	LED indicators; Integrated WLAN + FusionSolar APP						
Communication	RS485, WLAN via inverter built-in WLAN module Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional); 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)						
Weight (incl. mounting bracket)	12.0 kg (26.5 lb)						
Dimension (incl. mounting bracket)	365mm * 365mm * 156 mm (14.4 x 14.4 x 6.1 inch)						
Degree of protection	IP65						
Optimizer Compatibility							
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P						
Standard Compliance (more available upon request)							
Safety	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Grid connection standards	GB8, GB9, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/T11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

¹⁾ Available in 2020 Q3.

²⁾ Inverter max input PV power is 10,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizer.

³⁾ The maximum input voltage and operating voltage upper limit will be reduced to 480 V when inverter connects and works with LG battery.

⁴⁾ 2,500 W @ 5AH HUAWEI ESS battery

⁵⁾ AS4777.2-4899W, ⁶⁾ VDE-AR-N-4105:4800VA / AS4777.2-4899VA, ⁷⁾ AS4777.2-4899VA, ⁸⁾ AS4777.2-317A.

Version No.03-(20200408)

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

LUNA2000-5/10/15-S0
Especificaciones técnicas

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Especificaciones técnicas			

Características			
Módulo de potencia	LUNA2000-5KW-C0		
Número de módulos de potencia	1		
Módulo de batería	LUNA2000-5-E0		
Energía por módulo de batería	5 kWh		
Número de módulos de batería	1	2	3
Energía útil de la batería ¹	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Potencia máxima de salida	2.5 kW	5 kW	5 kW
Potencia pico de salida	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Tensión nominal (sistema monofásico)	360 V		
Rango de tensión de operación (sistema monofásico)	350 – 560 V		
Tensión nominal (sistema trifásico)	600 V		
Rango de tensión de operación (Sistema trifásico)	600 – 980 V		

Comunicación	
Display	Indicador del estado SOC, indicador LED
Comunicación	RS485 / CAN (solo para funcionamiento en paralelo)

Especificaciones generales			
Dimensiones (Ancho x Profundo x Alto)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Peso (Kit de herramientas para soporte de suelo incluido)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Dimensión del módulo de potencia (Ax Dx x A)	670 * 150 * 240 mm (26.4 * 5.9 * 9.4 inch)		
Peso del módulo de potencia	12 kg (26.5 lb)		
Dimensión del módulo de batería (Ax Dx x A)	670 * 150 * 360 mm (26.4 * 5.9 * 14.0 inch)		
Peso del módulo de batería	50 kg (110.2 lb) ²		
Instalación	Soporte de suelo (estándar), montaje en pared (opcional)		
Rango de temperatura en operación	-20°C ~ +55°C (-4°F ~ 131°F) ³		
Altitud de operación	0 - 4,000 m (13,123 ft.) (Derating por encima de 2,000 m)		
Medio ambiente	Exterior ⁴ (*Consulte el manual de usuario para las condiciones de instalación)		
Humedad relativa	5% ~ 95%		
Ventilación	Convección natural		
Grado de protección	IP 66		
Emisión de sonidos	<29 dB		
Tecnología de célula	Litio-ferrofosfato (LiFePO4)		
Garantía	10 años ³		
Escalabilidad	Max. 2 sistemas funcionando en paralelo		
Compatibilidad con inversores	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 ⁵ , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		

Cumplimiento de normas (más disponibles a pedido)	
Certificados	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3

Pedido y pieza entregable	
Product ordering model ⁶	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket

- ¹ condiciones del est: profundidad del 100% de la descarga (DoD), carga y descarga de la tarifa 0.2C 25°C, en el comienzo de la vida. Si no se instalan módulos fotovoltaicos o el sistema no ha detectado la luz solar durante al menos 24 horas, el final mínimo de descarga SOC es 15%.
- ² El peso del módulo de la batería está sujeto al producto real, con una tolerancia del ±3%.
- ³ Consulte la carta de garantía de la batería para la aplicación condicional.
- ⁴ La instalación inadecuada del sistema de almacenamiento puede comprometer la garantía del producto y la seguridad de la operación. Por favor, siga el manual del usuario durante la instalación, uso y mantenimiento del sistema de almacenamiento.
- ⁵ Póngase en contacto con el ingeniero local para la compatibilidad entre el SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 con el LUNA2000.
- ⁶ El Sistema de almacenamiento se solicitará y enviará para módulos de potencia y módulos de batería por separado con sus respectivas cantidades.
SOLAR.HUAWEI.COM/ES/

Anexo 8 Ficha técnica del transductor de corriente DC



Introduction:

- ELCT-10 AC/DC current transducer, adopts Hall Principle to directly convert the high-current signal from the industrial field into the standard analog signal, and the input and output signals are linear.
- No need for transformers, the input, output, and power supply are reliably isolated from each other.

Selection Table				
ELCT-10	X	X	X	
Aperture				22, 25, 31mm
Input signal	A1			0-100A
	A2			0-500A
	A3			0-800A
	A4			Customized
Output signal	O1			4-20mA
	O2			0-20mA
	O3			0-5V
	O4			0-10V
	O5			Customized

Product Selection:

ELCT-10-X-XX

eg: ELCT-10-22-A1-O1, 22mm aperture, input 0-100A, output 4-20mA

Main technical parameters:

Input:

Input current range: AC/DC 0-1000A

Frequency range: 40-60HZ

Output:

Output signal: 4-20mA, 0-20mA, 0-10V, 0-5V etc

Load capacity: 6V (output is current signal)
5mA (output is voltage signal)

Essential Parameter:

Power supply: DC12V-24V, AC220V

Linearity: 0.5%

Accuracy: $\leq 0.5\%$ F.S.

Response time: ≤ 200 ms (0-90%) (TYP)

Temperature drift: ≤ 500 PPM/ $^{\circ}$ C

Band width: DC-20KHz

Working temperature: -10° C~ $+75^{\circ}$ C

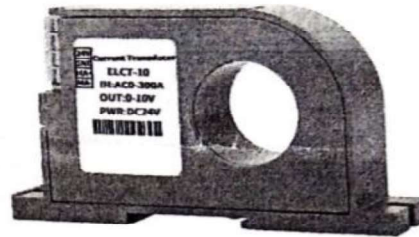
Withstand voltage isolation: 2.5K/50Hz, 1min

Offset voltage: ≤ 20 mV

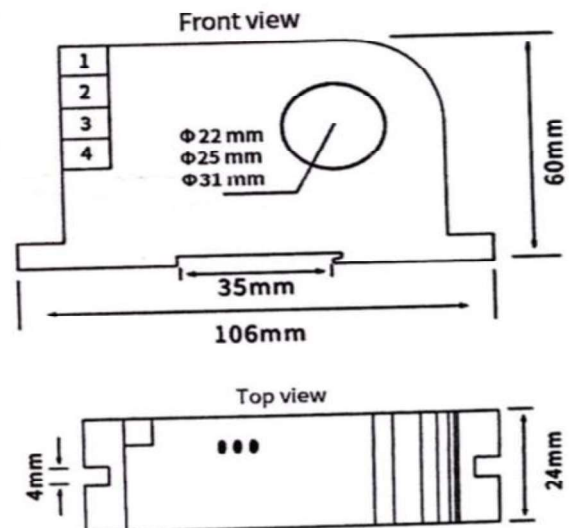
Zero output: ≤ 0.15 mA

di/dt follow: 50A/ μ S

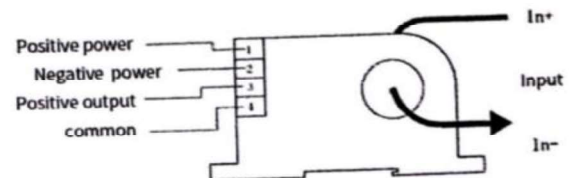
ELCT-10 Current Transducer



Dimension:



Wiring diagram:



Anexo 9 Ficha técnica del transductor de corriente DC



Introduction:

- ELVTB-7 AC/DC voltage transducer, adopts Electromagnetic isolation to directly convert the high-voltage signal from the industrial field into the standard analog signal, and the input and output signals are linear.
- No need for transformers, the input, output, and power supply are reliably isolated from each other.

Selection Table			
ELVTB-7	X	X	X
Input signal	A1		0-75mV
	A2		0-100V
	A3		0-500V
	A4		Customized
Output signal	O1		4-20mA
	O2		0-20mA
	O3		0-5V
	O4		0-10V
	O5		Customized

Product Selection:

ELVTB-7-X-XX

eg: ELVTB-7-A1-O1,input 0-75mV,output 4-20mA

Main technical parameters:

Input:

Input current range: AC/DC 0-1000V

Frequency range: 40-60HZ

Output:

Output signal: 4-20mA,0-20mA,0-10V,0-5V etc

Output load resistance: 6V (output is current signal)
5mA (output is voltage signal)

Essential Parameter:

Power supply: DC12V-24V, AC220V

Linearity:0.5%

Accuracy: $\leq 0.5\%$ F.S.

Response time: $\leq 200\text{ms}$ (0-90%) (TYP)

Temperature drift: $\leq 500\text{PPM}/^\circ\text{C}$

Band width:DC-20KHz

Workingtemperature: -10~+75

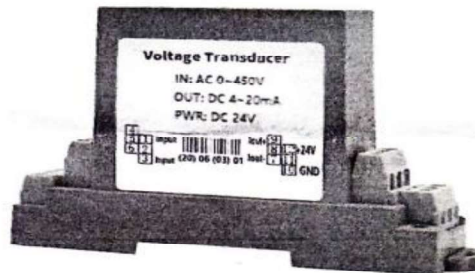
Withstand voltage isolation:2.5K/50Hz,1min

Offset voltage:20mvV

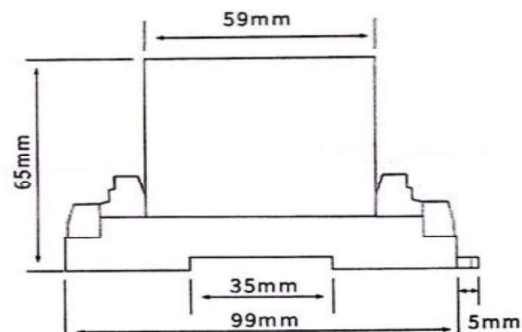
Zero output:0.15mA

di/dt follow:50A/ μs

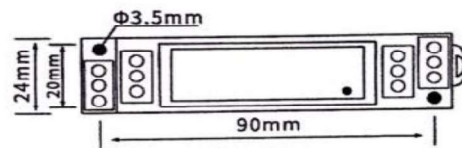
ELVTB-7 Voltage Transducer



Dimension:

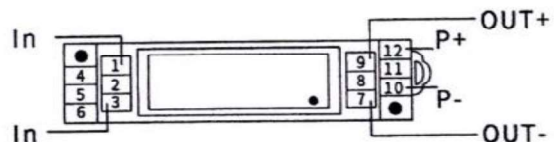


Front view





Top view

Wiring diagram:








Anexo 10 Ficha técnica del sensor de temperatura PT100

WWW.THERMOLASER.PE

BULBO CON SPRING LOAD - RETRACTIL
SENSOR DE TEMPERATURA RTDs PT100
TERMORESISTENCIA 0 - 100 OHMIOS



SENSOR RTD- THL PT100 BSL01

TIPO DE SENSOR	MODELO	Tipo de conexionado	RANGO DE OPERACIÓN	MATERIAL / COMPOSICION DEL BULBO		LONGITUD DEL BULBO	DIAMETRO DEL BULBO	CONEXIÓN A PROCESO		MATERIAL DEL CABEZAL	TAMAÑO DEL CABEZAL	CLASE DE PRESISION	PROTECCION
		Hilos		MATERIAL DEL BULBO	COMOPOSICION			TIPO DE ROSCA	DIAMETRO DE ROSCA				
TC: Termocupla	J	2	0 A 100°C	Acero Inox	AISI 316L	Desde 20mm	1/4" (6,4mm)	BSP	1/2"	Sin cabezal	DIN A	CLASE A	IP 65
PT: RTDs	K	3	0 A 1200°C	Acero refractario	AISI 304	Todas las longitudes	5mm	NPT	3/4"	Aluminio	DIN B	CLASE B	IP 67
	S	4	0 A 1600°C	Bronce	AISI 310		10mm		1"	Fierro Fundido	DIN C		IP 68
	R	6	0 A 1700°C	Ceramica	REFRACTARIO 446		3/8" (9,5mm)		1/4" Macho	Acero Inoxi.			
	PT100	Multipunto		Carburo de Silicio	FUNDA CERAMICA 1200°C		1/2" (21,3mm)		3/8"	Antiexplosivo			
	PT1000				FUNDA CERAMICA 1700°C		3/4" (26,7mm)						
	2X PT100				FUNDA CERAMICA 1400°C		1" (33,4mm)						
	PT100 MULTIPUNTO				FUNDA CARBURO DE SILICIO RECRISTALIZADO		8MM						
					PUNTA REFORZADA DE ACERO REFRACTARIO-BARRA		1"						

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7212-1BE40-0XB0



Figura 11.11.1

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU compacta AC/DC/relé, E/S INTEGRADAS: 8 DI DC 24V; 6 DO, relé 2 A; 2 AI 0-10V DC, alimentación: AC 85-264 V AC con 47-63 Hz, Memoria de programas/datos 75 KB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1212C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.5
Ingeniería con	
<ul style="list-style-type: none"> Paquete de programación 	STEP 7 V17 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	
<ul style="list-style-type: none"> 120 V AC 230 V AC 	SI
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
<ul style="list-style-type: none"> Rango admisible, límite inferior Rango admisible, límite superior 	47 Hz 63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	80 mA con 120 V AC; 40 mA con 240 V AC
Consumo, máx.	240 mA con 120 V AC; 120 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
I _T	0,8 A ² ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 000 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V 	20,4 a 28,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	11 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
<ul style="list-style-type: none"> integrada ampliable 	75 kbyte No
Memoria de carga	
<ul style="list-style-type: none"> integrada enchufable (SIMATIC Memory Card), máx. 	2 Mbyte con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
<ul style="list-style-type: none"> existente libre de mantenimiento sin pila 	SI SI SI

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7231-5PD32-0XB0



SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas, SM 1231 RTD, 4xAI módulo RTD

Información general	
Designación del tipo de producto	SM 1231, AI 4x16 bit RTD
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V
Intensidad de entrada	
Consumo, tip.	40 mA
de bus de fondo 5 V DC, tip.	60 mA
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	1,5 W
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	4; Termoresistencias
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	±35 V
Unidad técnica ajustable para medición de temperatura	Grados Celsius/grados Fahrenheit
Rangos de entrada	
<ul style="list-style-type: none"> • Tensión • Intensidad • Termopar • Termoresistencias • Resistencia 	No No No Si; Sensores resistivos: Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, NI100, NI120, NI200, NI500, NI1000, Cu10, Cu50, Cu 100 y LG-NI1000 Si; 150 Ω, 300 Ω y 600 Ω
Rangos de entrada (valores nominales), termoresistencias	
<ul style="list-style-type: none"> • Cu 10 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (Cu 10) • NI 100 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 100) • NI 1000 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 1000) • LG-NI 1000 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (LG-NI 1000) • NI 120 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 120) • NI 200 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 200) • NI 500 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 500) • Pt 100 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (Pt 100) 	Si 10 Ω Si 100 Ω Si 1 000 Ω Si 1 000 Ω Si 120 Ω Si 200 Ω Si 500 Ω Si 100 Ω

Anexo 13 Ficha técnica de la fuente de poder switching de 24V a 5A



FUENTE DE PODER SWITCHING
24V/5A-120W

¡Atención! Si lo utiliza para un trabajo continuo (24 horas), la corriente nominal de la fuente debe ser inferior al 85 % de la corriente máxima.

Nuestros productos cumplen con todos los estándares de calidad.



CARACTERISTICAS GENERALES:	
Marca	PEPTEL
Modelo	PE-120-24
Tecnología	Fuente conmutada
Garantía	1 Año
Material	Aluminio
Tamaño	199 x 98 x 38mm
INGRESO:	
Ingreso	200V - 220V AC
Rango	100V - 240V AC
Conectores de Ingreso	Bornera Baquelita
Fase	Monofásico
Frecuencia	50 - 60 Hz
SALIDA:	
Potencia Real	120W
Salida	24V DC (100% Estabilizado)
Rango	+/- 1%
Amperaje	5 Amp
Conectores de salida	Bornera Baquelita
Eficiencia	≥ 85%
Distorsión de onda	Nula
Distorsión Armónica	<3%
CONDICIONES DE TRABAJO:	
Altitud	4800 m.s.m
Temperatura de Trabajo	0° ~ 60 °C
Humedad Relativa	0 ~ 95 % Sin condensación
RECOMENDACIÓN:	
➤ No utilice este equipo fuera de sus parámetros de trabajo ni lo sobre cargue.	

Anexo 14 Diagrama eléctrica de oda la instalación del sistema fotovoltaico hibrido con su acumulador de litio

