



**REPÚBLICA DE CUBA**

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS**

**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

**RESPALDO ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD  
DE MATANZAS**

**Tesis presentada en opción al título de Master en Tecnología Energética**

**Autor: Dr. C. Carlos Rafael Molina Hernández, Ing., M. Sc.**

**Matanzas, Cuba. 2025**



**REPÚBLICA DE CUBA**

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS**

**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

**RESPALDO ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD  
DE MATANZAS**

**Tesis presentada en opción al título de máster en tecnología energética**

**Autor: Dr. C. Carlos Rafael Molina Hernández, Ing., M. Sc.**

**Tutor: M. Sc. Juan Israel Veliz Alonso, Ing.**

**Matanzas, Cuba. 2025**

# Agradecimientos

Esta investigación es el resultado del continuo afán de llevarla hasta sus últimas consecuencias y tributo un merecido reconocimiento a:

Mi tutor:

*Juan Israel Veliz Alonso, por su dedicación y apoyo incondicional.*

*A Yanan Camaraza, por su oportuna intervención, consagración y consejos prestados en su asesoría.*

A mis Profesores y compañeros del posgrado.

*A todos aquellos que de una forma u otra han hecho posible el desarrollo y culminación de manera exitosa de este trabajo y se encuentran en el anonimato.*

*A todos, mi infinito Agradecimiento...*

# Dedicatoria

## AL PADRE, DIOS TODO PODEROSO

A la vida...

Que me da la oportunidad de disfrutarla,

Que me brinda el amor de mis seres queridos,

A los que me entregan la ternura, el cariño y amor eterno.

A mi Hija María Carla Molina Vega,

A mis Hermanas y sobrinos,

Familiares queridos,

Amistades y sus familiares,

A los que no están hoy junto a mí, especialmente...

A la memoria de tía María Luisa Hernández Fernández,

A la memoria de mi madre Teresa América Hernández Fernández,

A la memoria de mi Padre Rafael Valeriano Molina Rodríguez

A la memoria de mis Abuelos,

A la memoria de Guadalupe Silveira Caballero,

A la memoria de Tomás Arnet,

A la memoria de José A. Torrent

## **RESUMEN**

El centro de datos de la Universidad de Matanzas apoya funciones cruciales como la investigación, la educación, la administración y la prestación de servicios a través del almacenamiento seguro y confiable de datos, el procesamiento de datos, el almacenamiento de archivos. Los cortes del fluido eléctrico impiden garantizar este servicio, su disponibilidad y durabilidad. El objetivo general del trabajo es proponer un sistema de respaldo fotovoltaico para el centro de datos de la Universidad de Matanzas. La propuesta ofrece una fuente de energía confiable ante la eventualidad de fallas eléctricas, contribuye con el criterio de sostenibilidad e incentiva la reducción de los costos económicos concerniente al consumo de energía.

## **PALABRAS CLAVES**

Respaldo eléctrico, sistema fotovoltaico, energía limpia y respaldo energético de centro de datos.

## **ABSTRACT**

The University of Matanzas data center supports crucial functions such as research, education, administration and service delivery through secure and reliable data storage, data processing, and file storage. Power outages prevent this service from being guaranteed to guarantee its availability and durability. The general objective of the work is to propose a photovoltaic backup system for the data center of the University of Matanzas. The system offers a reliable source of energy in the event of electrical failures. However, it contributes to the sustainability criterion and reduces the economic cost regarding energy consumption.

## **KEYWORDS**

Electrical backup, photovoltaic system, clean energy and data center energy backup.

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS DEL RESPALDO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>6</b>
Sostenibilidad y energía renovable.....	6
Centros de datos.....	9
Respaldo eléctrico para los centros de datos .....	10
Teoría de los semiconductores .....	11
El diodo semiconductor .....	12
Efecto fotovoltaico .....	13
La celda solar .....	14
Radiación solar .....	15
Afectación de la temperatura en los parámetros del panel solar .....	16
Sistema solar fotovoltaico.....	17
Clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas .....	17
Panel solar.....	18
Clasificación de los paneles solares fotovoltaicos.....	19
Almacenamiento de energía .....	19
Clasificación de las baterías .....	21
Controlador o regulador de carga.....	22
Inversor DC/AC o convertidor .....	24
Conclusiones parciales del capítulo.....	25
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
Aspectos metodológicos generales.....	27
Consideraciones generales del panel solar .....	30
Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico hibrido .....	30
Definición de datos iniciales.....	30
Levantamiento de carga del centro de datos .....	31
Metodología de cálculo de la potencia con corrección de temperatura del panel fotovoltaico ....	31
Calcular la potencia aplicando el factor de corrección de temperatura .....	32
Corrección del voltaje de circuito abierto y de la corriente de cortocircuito afectados por la temperatura.....	32
Metodología de cálculo para la obtención del número de paneles .....	35
Metodología para el dimensionamiento de las baterías.....	38

Metodología para dimensionar el regulador de carga e inversor .....	39
Área de instalación.....	41
Cálculo económico.....	42
Ahorro por concepto de tarifa eléctrica .....	42
Cálculo de la cantidad de combustible ahorrado por el sistema propuesto y su valor al año .....	43
Cálculo medioambiental .....	44
Cálculo de gases dejados de emitir al medioambiente.....	44
Cálculo de las emisiones de CO .....	44
Cálculo de las emisiones de NOx.....	45
Cálculo de las emisiones de SO <sub>2</sub> .....	45
Conclusiones parciales del capítulo .....	45
<b>CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>47</b>
Sistema fotovoltaico a utilizar en el centro de datos .....	47
Resultados de irradiación solar y ángulo de inclinación óptima .....	48
Análisis del levantamiento de carga del centro de datos .....	49
Selección del panel fotovoltaico .....	50
Cálculo de los parámetros del panel fotovoltaico aplicando el factor de corrección de temperatura .....	51
Resultados del cálculo de la cantidad de paneles.....	53
Determinar la cantidad de paneles conectados en serie y en paralelo .....	54
Cálculo del banco de baterías.....	55
Cálculo para dimensionar el inversor-regulador de carga.....	59
Revisión de las condiciones de las cubiertas .....	65
Cálculo económico.....	68
Evaluación del impacto ambiental del sistema fotovoltaico .....	71
Propuesta de acciones para mitigar el daño ambiental en el ciclo de vida de un sistema fotovoltaico sostenible.....	72
Conclusiones parciales del capítulo .....	73
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>92</b>

# INTRODUCCIÓN

En Cuba, la generación de energía eléctrica, gestionada por la Unión Nacional Eléctrica (Albarrán Núñez), enfrenta desafíos significativos debido a la insuficiente capacidad de generación, agravada por las frecuentes interrupciones y reparaciones necesarias en las termoeléctricas (Nacional, 2024, 13 marzo). Además, el país enfrenta dificultades financieras para adquirir combustibles fósiles, lo que ha llevado al Estado cubano a renegociar deudas con sus proveedores (Cubadebate, 2024, 17 marzo). Esta situación impacta directamente en sectores críticos, como el de los centros de datos, que requieren un suministro eléctrico constante y confiable.

En la Universidad de Matanzas, el centro de datos desempeña un papel fundamental al garantizar el funcionamiento de los procesos académicos y administrativos. Este centro está compuesto por una infraestructura tecnológica que incluye servidores, dispositivos de almacenamiento, equipos de red y sistemas de climatización, todos conectados a Internet de alta velocidad y protegidos por medidas de seguridad avanzadas (Cedeño Alava, 2021). Sin embargo, los frecuentes cortes de energía eléctrica en el país exponen al centro de datos a riesgos significativos, como la corrupción o pérdida de datos, lo que puede afectar la reputación, los ingresos y la eficiencia de la institución (Khosravi et al., 2024).

El centro de datos necesita un suministro de energía altamente eficiente y confiable para garantizar el buen funcionamiento de los equipos de tecnología de la información (TI). La garantía de energía asegura la fiabilidad en la distribución de energía en los centros de datos (Anandh et al., 2023).

La implementación de un respaldo eléctrico es esencial para garantizar la continuidad del servicio en el centro de datos. Este respaldo no solo minimiza las pérdidas económicas y el tiempo de inactividad, sino que también protege los sistemas de posibles fallas (Patiño et al., 2017).

A nivel global, los centros de datos consumen entre el 1 % y el 1,5 % de la energía mundial, equivalente a aproximadamente 200 TWh anuales (Cardoso y Camarasa, 2020; Montes de Oca, 2020). En este contexto, los sistemas fotovoltaicos emergen como una solución viable, ya que permiten reducir costos y aprovechar fuentes de energía renovable, mejorando la eficiencia energética (Toro Cabrera, 2023). Además, la optimización del consumo de energía garantiza la sostenibilidad a largo plazo (Méndez Castillo et al., 2022).

El calentamiento global, impulsado por las emisiones de gases de efecto invernadero (León-Martínez et al.), especialmente el CO<sub>2</sub>, representa una amenaza significativa para el medio ambiente. La

adopción de energías renovables y tecnologías innovadoras puede reducir estas emisiones, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental (Raihan y Tuspekova, 2022). La energía fotovoltaica, en particular, es una fuente limpia y sostenible que no genera emisiones nocivas y aprovecha una fuente inagotable como el sol (Harrouz et al., 2020). Sin embargo, su eficiencia depende de factores como la ubicación geográfica, la orientación de los paneles y la calidad de los equipos utilizados (Valencia Umbarila et al., 2015).

Los beneficios de las energías renovables son ampliamente reconocidos. Según Tayar Mirza et al. (2024), estas fuentes son prácticamente inagotables, no emiten GEI, están disponibles en casi todo el mundo, son respetuosas con el medio ambiente y ofrecen diversidad y seguridad energética. Por ello, su implementación se justifica como parte de la solución a la crisis energética en Cuba. Sin embargo, una transición efectiva requiere políticas bien planificadas y un enfoque multifacético.

La temática de los sistemas fotovoltaicos ha sido abordada desde diversas perspectivas en la literatura científica. A nivel internacional, destacan investigaciones como las de Haque et al. (2023); Tanriov (2024), quienes abordan el diseño y dimensionamiento de estos sistemas desde la ingeniería eléctrica. En el ámbito del respaldo eléctrico para centros de datos, autores como Gutiérrez et al. (2019); Reascos Masapanta (2022) han explorado la viabilidad financiera y técnica de implementar sistemas fotovoltaicos. En Cuba, estudios como los de Domínguez Piloto et al. (2019) y León-Martínez et al. (2021) han aportado valiosos antecedentes para esta investigación.

El respaldo eléctrico fotovoltaico para el centro de datos también ha sido abordado en la literatura científica. Entre los autores que han aportado a la presente investigación se encuentran en el área internacional (García Serrano & Alfonso Rativa, 2021a; Gutiérrez et al., 2019).

Cuadros Curie (2020) realiza una propuesta del equipamiento y la evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el Centro de Educación Básica. García Serrano y Alfonso Rativa (2021) elaboran una propuesta técnico-económica que permita reducir la cantidad de energía requerida para la operación y/o funcionamiento de un centro de datos TIER II.

Por otra parte, existen obras cubanas que constituyen antecedentes para la presente investigación. Moreno Figueredo (2021) afronta el estudio de las fuentes renovables de energía: la energía solar en todas sus opciones, incluyendo la energía solar pasiva. Los autores León-Martínez et al. (2021) proponen el dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico destinado a satisfacer la demanda de energía eléctrica en las instalaciones del Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA). Domínguez

Piloto et al. (2019) realizan un estudio de oportunidad de sistemas fotovoltaicos conectados a red en la División Territorial COPEXTEL Cienfuegos (DTCC) en aras de reducir el consumo de energía eléctrica.

Como se ha mostrado, tanto las obras internacionales como nacionales consultadas en la revisión bibliográfica reflejan temáticas relacionadas con los sistemas o respaldos como forma de generación de energía fotovoltaica. Los fundamentos y las propuestas de las soluciones elaboradas por los autores referenciados, constituyen valiosos aportes para esta investigación; sin embargo, los estudios específicos para dar solución a la propuesta de un respaldo eléctrico fotovoltaico para el centro de datos de la Universidad de Matanzas deben ser contextualizados.

El estudio teórico realizado, los resultados científicos obtenidos como fruto de la investigación realizada (Molina Hernández et al., 2024), la revisión de trabajos de diploma, artículos científicos y eventos favoreció identificar insuficiencias en el centro de datos de la Universidad de Matanzas los cuales se exponen a continuación:

- No existe un respaldo de energía eléctrica en el centro de datos de la Universidad de Matanzas capaz de mantener el servicio.
- La infraestructura del centro de datos de la Universidad de Matanzas colapsa su servicio ante la falta de suministro eléctrico por la UNE.
- Retardos excesivos en la puesta en marcha de los servicios del centro de datos al corromperse el sistema.
- Falta de visibilidad de la Universidad.

El centro de datos de la Universidad de Matanzas enfrenta desafíos específicos, como la falta de un respaldo eléctrico adecuado, la vulnerabilidad ante cortes de energía y los retrasos en la restauración de servicios. Estas insuficiencias evidencian una contradicción entre la necesidad de un suministro eléctrico confiable y la falta de infraestructura para garantizarlo.

En correspondencia con lo anterior, se formula el siguiente **problema científico**: ¿Cómo contribuir a que el respaldo eléctrico en el centro de datos de la Universidad de Matanzas garantice su operatividad?

**Hipótesis:**

Es posible implementar un sistema fotovoltaico en la Universidad de Matanzas, que utilice energía solar fotovoltaica que redunde en el respaldo eléctrico del centro de datos.

Para ello en el trabajo se formula el siguiente *Objetivo general*: Proponer un sistema de respaldo fotovoltaico para el Centro de Datos de la Universidad de Matanzas.

**Objetivos específicos:**

1. Abordar los fundamentos teóricos y metodológicos del respaldo fotovoltaico.
2. Proponer una metodología para el sistema fotovoltaico en el centro de datos.
3. Dimensionar el sistema fotovoltaico según las necesidades del centro.
4. Realizar un estudio ambiental y económico que justifique la implementación.

El objeto de estudio se centra en el desarrollo de sistemas de generación de energía, mientras que el campo de acción se enfoca en el respaldo eléctrico fotovoltaico para el centro de datos.

La investigación se basó en la concepción dialéctico materialista del conocimiento científico, desde la cual se busca una respuesta al problema de la investigación. Ello facilitó comprender la esencia del objeto de estudio y sus características. En correspondencia, se aplicaron métodos de la investigación del nivel teórico y empírico del conocimiento, así como métodos estadísticos y técnicas de investigación.

Del nivel teórico se aplicaron el método histórico-lógico, el cual posibilitó el estudio de la evolución y desarrollo de los sistemas fotovoltaicos. La aplicación del método analítico-sintético permitió descomponer los conceptos medulares del sistema para el análisis de sus particularidades. El método inductivo-deductivo favoreció llegar a las generalizaciones de las características del desarrollo de la metodología. Del nivel empírico se aplicó la revisión de documentos para contrastar las metodologías, sus similitudes y diferencias en la implementación de los sistemas fotovoltaicos.

Como parte de los métodos investigativos, se utilizó la plataforma DeepSeek (DeepSeek, 2023) como herramienta auxiliar para la consulta automatizada de literatura especializada, el análisis de tendencias temáticas y la identificación de marcos teóricos contemporáneos. Esta integración metodológica permitió fortalecer la triangulación de datos, asegurando el rigor científico y la originalidad del trabajo (DeepSeek, 2023).

**Contribución a la teórica**

Se aporta a la teoría la modelación del número de paneles fotovoltaicos a partir del análisis multifactorial basada en parámetros técnicos, ambientales y operativos, respaldada por literatura especializada para garantizar la eficiencia técnica y económica.

### **Relevancia metodológica y práctica de la investigación**

Desde una perspectiva metodológica, este estudio adquiere especial importancia por:

- Valor referencial: Los procedimientos, métodos y técnicas aplicadas constituyen un marco metodológico susceptible de ser replicado en la solución de problemas análogos, lo que lo convierte en una fuente de consulta válida para investigaciones futuras.
- Aplicabilidad práctica: Los resultados esperados de su implementación poseen significativa relevancia operativa, particularmente en contextos que presenten desafíos similares a los analizados en este trabajo.
- Sinergia académica: La investigación establece un puente entre la teoría y la práctica, permitiendo:
  - Enriquecer los procesos de enseñanza-aprendizaje
  - Incorporar hallazgos empíricos a la docencia

Fomentar la retroalimentación constante entre el ámbito académico y la investigación aplicada. Esta dualidad metodológico-práctica fortalece tanto el rigor científico del estudio como su potencial impacto en la resolución de problemas reales, cumpliendo así con el doble propósito de avanzar en el conocimiento teórico y ofrecer soluciones concretas.

La tesis está estructurada en introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos. En el primer capítulo se presentan los fundamentos teóricos que permiten enunciar el respaldo eléctrico fotovoltaico. En el capítulo dos, se presenta el estado actual del problema y se proyecta la metodología a seguir en la investigación. En el capítulo tres se analizan los resultados que permiten solucionar la problemática abordada.

## **CAPÍTULO 1**

# **FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS DEL RESPALDO FOTOVOLTAICO**

## CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS DEL RESPALDO FOTOVOLTAICO

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos-metodológicos del respaldo eléctrico fotovoltaico. Se define el sistema, objeto de estudio y sus componentes.

### **Sostenibilidad y energía renovable**

Desarrollar fuentes de energía limpias es esencial para combatir el cambio climático y todas sus consecuencias. La transición a un sistema basado en tecnología renovable puede tener impactos muy positivos desde el punto de vista económico a nivel global.

Los combustibles fósiles representaron más del 80% de la energía global total utilizada para la generación eléctrica (Dolezal et al., 2013). No obstante, los combustibles fósiles tienen un gran impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial y en la contaminación del medio ambiente (Alcántara y Rivera, 2024).

Desde la Revolución Industrial, los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía en varios sectores industriales. Actualmente, se consideran un recurso más restringido, costoso y sujeto a un debate ambiental y político. El aumento del consumo de energía ha generado la necesidad de otras fuentes que permitan operar sosteniblemente. El agotamiento del petróleo y la necesidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero han incrementado la investigación en energías renovables (Lino y Saez, 2023).

A diferencia de las fuentes tradicionales como el carbón, el gas y el petróleo, las energías renovables son inagotables, lo que las convierte en pilares de un sistema sostenible al reducir la dependencia energética (Zhang, 2023). Estas energías son respetuosas con el medio ambiente porque no emiten CO<sub>2</sub> ni gases de efecto invernadero. Para disminuir las emisiones totales y mitigar el calentamiento global, es fundamental implementar cambios en la industria energética.

Estas modificaciones incluyen la reducción del uso de combustibles fósiles, optimizar la eficiencia energética e incrementar el uso de energías renovables (Moreno Figueredo, 2021). El sistema energético global actual es insostenible, y las energías renovables son la mejor opción. Las políticas que fomenten estas fuentes beneficiarán la equidad, la salud, el empleo y reducirán las emisiones (Tayar Mirza et al., 2024).

Las energías renovables son vistas como fuentes limpias, ya que provienen de elementos naturales como el sol, el aire, la tierra y el agua. Estas energías se generan de forma sostenible, manteniendo el equilibrio en los aspectos sociales, ambientales, económicos y políticos.

La producción de energía renovable ha cobrado importancia debido al cambio climático, causado principalmente por el CO<sub>2</sub>. Muchas naciones cuentan con leyes que promueven la ampliación y diversificación de sus matrices energéticas.

Los gases como el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), NO (monóxido de nitrógeno) y otros óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) afectan de manera significativa la calidad del aire y el entorno. El CO<sub>2</sub> funciona como un gas de efecto invernadero, lo que ayuda al calentamiento global. En cambio, el SO<sub>2</sub> puede causar lluvia ácida y dificultades respiratorias, mientras que el NO y los NO<sub>x</sub> están vinculados a la creación de ozono a nivel del suelo, impactando tanto la salud de las personas como la flora. La contaminación derivada de estos gases es en su mayor parte consecuencia de la combustión de combustibles fósiles y distintas actividades industriales.

La medición de gases como el CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO y otros óxidos de nitrógeno es fundamental para comprender la calidad del aire que se respira. Estos contaminantes afectan la salud y el equilibrio ecológico. Sin datos precisos, es difícil evaluar el impacto de nuestras actividades industriales y el uso de combustibles fósiles. Además, la monitorización constante permite implementar políticas efectivas para reducir la contaminación. La información obtenida a través de estas mediciones es clave para desarrollar estrategias de mitigación y promover un entorno saludable. Sin duda, medir estas variables contaminantes son el primer paso hacia un futuro sostenible (Meneses-Ruiz et al., 2018).

El uso de sistemas fotovoltaicos es una solución sostenible que fomenta la conciencia ecológica y promueve procesos productivos duraderos, logrando un equilibrio entre consumo y preservación de recursos naturales.

En Cuba, se han trazado políticas para transformar la matriz energética actual. El Ministerio de Energía y Minas (2024) estableció directrices para desarrollar energías renovables y promover el uso eficiente de la energía entre 2014 y 2030, con objetivos como:

- Incrementar la utilización de fuentes renovables hasta un 24%.
- Reducir la dependencia de combustibles importados.
- Disminuir costos energéticos del SEN.

- Mitigar la contaminación ambiental.  
(Ministerio de Energía y Minas, 2024)

Es una política del estado cubano fomentar la protección del medio ambiente amparado por leyes como la Ley 150/2022 “Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente” (Arias Sánchez, October 2023; Rodríguez García y Peña Fuentes, 2019).

El marco regulatorio incluye la Ley 150/2022 “Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente” y el Decreto-Ley N.º 345 “Sobre el desarrollo de fuentes de energía renovables” (Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2019). En este contexto, se prioriza la energía solar por sus beneficios económicos y ambientales, promoviendo políticas públicas hacia el desarrollo sostenible (García Beltrán y Azamar Alonso, 2024).

El sistema solar opera todo el año, fomentando la independencia energética con bajos costos de mantenimiento. Sin embargo, se desarticula ante eventos climáticos inesperados (Reina Amado, 2024).

La energía renovable fotovoltaica, desde la ciencia, es cuestionada por algunos autores. Sus críticas han estado orientadas hacia la sostenibilidad, el reciclaje y reutilización de baterías, como las de iones de litio. Otros aspectos que han considerado son: la tala de árboles, la extracción de materias primas y el impacto ambiental.

Por otro lado, la fabricación de paneles solares utiliza compuestos químicos y genera residuos riesgosos para la salud. Sin embargo, el impacto ambiental de la energía solar es significativamente menor que el de las fuentes fósiles durante su ciclo de vida.

El autor de la presente investigación considera que se deben fomentar mejoras en los procesos para garantizar la sostenibilidad, como la creación de métodos y tecnologías más seguros para fabricar paneles solares, tales como la Producción Más Limpia y la adopción de mejores prácticas de reciclaje. A continuación, se presenta una sistematización de diferentes obras cuyos autores realizan propuestas para minimizar el daño ambiental en el ciclo de vida del sistema fotovoltaico.

Baker y Sutherland (2020) y (Yong-Seok y Jae-Chul, 2021) han abordado el tema de la gestión sostenible de recursos en la producción de energía solar, enfatizando la importancia de las prácticas responsables en la cadena de suministro. Van Der Meer y Van Der Voet (2016) han realizado estudios

sobre la sostenibilidad en la producción de paneles solares y el impacto ambiental de diferentes materiales utilizados en su fabricación.

Almeida y Morais (2015) han trabajado en la evaluación del ciclo de vida de las tecnologías energéticas, incluyendo sistemas fotovoltaicos, y han discutido la importancia de la sostenibilidad en la energía renovable. Investigadores como Kammen y Nemet (2005) y Kammen y Sunter (2016) han aportado criterios efectivos en políticas energéticas y sostenibilidad. Estos autores han investigado sobre el uso de energías renovables y la importancia de considerar el ciclo de vida de los sistemas energéticos.

Autores como Jacobson y Delucchi (2011) y Jacobson (2009) han realizado investigaciones sobre las implicaciones ambientales de las tecnologías energéticas y cómo optimizarlas para reducir su impacto. Sinha y Gupta (2018) han abordado temáticas relacionadas con el ámbito del reciclaje y la gestión de residuos en sistemas fotovoltaicos. Además, de explorar sobre los métodos para mejorar el reciclaje de componentes al final de su vida útil.

### Centros de datos

Los centros de datos están diseñados para respaldar aplicaciones y procesos comerciales, así como para brindar seguridad y administrar grandes cantidades de información almacenada en bases de datos (Cedeño Alava, 2021). Estas instalaciones son fundamentales para almacenar, procesar y administrar cantidades significativas de datos digitales.

En el contexto universitario, el centro de datos forma parte de la infraestructura medular del funcionamiento de las entidades educativas y cumple funciones específicas, entre las cuales se destacan:

- Almacenamiento de datos de investigación: Los investigadores académicos generan grandes cantidades de datos mediante experimentos, simulaciones, encuestas, etc. Los centros de datos pueden almacenar esta información de forma segura para permitir el análisis y la colaboración en la investigación.
- Procesamiento de datos en profundidad: Algunas áreas de investigación, como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, requieren un procesamiento intensivo de datos. El centro de datos provee la potencia informática necesaria para satisfacer estos requisitos.
- Almacenamiento de archivos: los estudiantes, profesores y personal necesitan almacenamiento de archivos para documentos, presentaciones, fotografías y otros recursos educativos. Los centros de datos respaldan estos requisitos de almacenamiento.

- Aplicaciones en la nube: Un centro de datos privado puede implementar aplicaciones en la nube con fines de aprendizaje, como paquetes de oficina, correo electrónico y sistemas de gestión del aprendizaje.
- Copia de seguridad: Los centros de datos realizan copias de seguridad de los datos críticos, incluidos los registros académicos de los estudiantes, investigaciones y sistemas administrativos, para garantizar la disponibilidad y durabilidad.
- VPN: El centro de datos interno puede implementar una red privada virtual (VPN, por sus siglas en inglés) segura para investigadores y departamentos especializados de la universidad.
- Alojamiento de sitios web: Los centros de datos pueden alojar sitios web importantes de la universidad, como la página de inicio, la de admisión y las de los departamentos.

### Respaldo eléctrico para los centros de datos

El respaldo eléctrico para los centros de datos se considera un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) que está formado en su interior por inversores, un conjunto de dispositivos electrónicos y batería/as. Garantiza el suministro de energía eléctrica ante cortes del servicio hasta que se restablezca el servicio eléctrico.

La generación automática de electricidad, lo proporciona el propio sistema fotovoltaico, que funciona como respaldo eléctrico. Al normalizarse el flujo eléctrico principal, el sistema de respaldo se desactiva y todo vuelve a la normalidad.

El autor considera oportuno esclarecer que el desperfecto en la red ocurre cuando hay una interrupción o dificultad en el suministro de electricidad (Núñez et al., 2020), que puede ser originada por diversas razones, como:

- Cortes de energía: Interrupción del suministro de electricidad causada por problemas en la red de infraestructura.
- Sobrecargas: Cuando la demanda de energía excede la capacidad de suministro disponible.
- Oscilaciones o picos de voltaje: Variaciones no deseables en el voltaje de la red.

El centro de datos requiere especial atención respecto al tiempo de transferencia en los sistemas de respaldo de energía (Albarrán Núñez, 2016; Mejía Ambrosio, 2021; Ruiz Cavel, 2021; Yaselga, 2013).

La duración de la transferencia se define como el lapso en que el UPS cambia de la red eléctrica a una fuente de respaldo (como una batería o generador) durante un fallo de la red. Las funciones principales del UPS en los centros de datos incluyen:

- Protección de equipos: Ante un fallo en la red, la UPS se activa de inmediato para garantizar la continuidad del suministro de energía a los dispositivos críticos.
- Función de autonomía: Proporciona energía temporal a los dispositivos conectados hasta que

- se reanude el suministro o se active otra fuente de energía.
- Conmutación: Los UPS actuales pueden detectar rápidamente la falta de energía en el sistema eléctrico principal y cambiar al suministro secundario en milisegundos.

En el contexto de un sistema solar, cuando ocurre un fallo de la red, el inversor desconecta automáticamente el sistema para protegerlo. El UPS detecta el fallo y comienza a proporcionar energía de respaldo a los dispositivos críticos, con un tiempo de transferencia muy corto. La inclusión de días de autonomía permite cubrir el consumo durante las perturbaciones del suministro energético.

El tiempo de transferencia es el período que transcurre desde que se detecta una falla en la red eléctrica hasta que el sistema alternativo (como generadores o sistemas UPS) toma control y comienza a suministrar energía. Comúnmente, la duración de la transferencia de un UPS oscila entre 1 ms y 20 ms (Rojas Choque, 2019). Algunos sistemas son más sensibles a las caídas breves de energía, lo cual influye en la necesidad de tiempos de transferencia más cortos. En aplicaciones críticas, como los centros de datos, donde pequeñas interrupciones pueden causar problemas significativos, se recomiendan tiempos de transferencia menores a 10 milisegundos (American National Standard (ANSI), 2005; Hyun-Chul y Dong-Suk, 2017).

### Teoría de los semiconductores

Un material semiconductor tiene propiedades eléctricas que le permiten comportarse como conductor o como aislante, dependiendo de factores como la temperatura, la presión, la radiación y los campos magnéticos, de ahí el nombre de "semiconductores".

Los semiconductores intrínsecos están conformados por una estructura cristalina tetraédrica (con una valencia de 4) (ver Anexo 1). Sus átomos están unidos por enlaces covalentes y tienen muy pocos "electrones libres". La conductividad eléctrica de un semiconductor se puede mejorar significativamente introduciendo impurezas al material (acción de dopaje) con sustancias donantes o aceptoras, incrementando los portadores libres (huecos y electrones). El flujo de portadores libres permite la conductividad de la corriente eléctrica en el material semiconductor (Boylestad et al., 2018).

El dopaje se produce incorporando átomos de otro elemento en la estructura cristalina del semiconductor que tienen más o menos electrones de valencia que el material original. Esta acción modifica la estructura atómica del material, cambiando su conductividad. El material dopado se conoce como semiconductor extrínseco.

Los semiconductores extrínsecos tipo N se dopan con impurezas donantes, como fósforo (P), arsénico (As), antimonio (Sb) y bismuto (Bi) (Galindo Noguera et al., 2022). Estos átomos tienen cinco electrones en sus orbitales externos, y a menudo se les llama impurezas "pentavalentes". Los enlaces covalentes del semiconductor se comparten con la sustancia donante, quedando libre un electrón. El material semiconductor básico resultante tiene un exceso de electrones, que son los principales portadores de corriente. Cada electrón tiene una carga negativa, por lo que se llama material tipo N; los electrones se denominan "portadores de carga mayoritarios" y los huecos resultantes se denominan "partículas cargadas minoritarias" (Qiao et al., 2016).

Los semiconductores extrínsecos tipo P se dopan con impurezas aceptoras. Estas impurezas son generalmente boro (B), galio (Ga) e indio (In). Estos átomos poseen tres electrones en sus orbitales externos, y a menudo se les llama impurezas "trivalentes" (Millman y Grabel, 1993). Los enlaces covalentes del semiconductor se comparten con la sustancia aceptora, creando un hueco donde falta un electrón. El material semiconductor resultante tiene un exceso de huecos, que son los principales portadores de corriente. Cada hueco tiene una carga positiva, por lo que se llama material tipo P; los huecos se denominan "portadores de carga mayoritarios" y los electrones resultantes se denominan "partículas cargadas minoritarias". Cada uno de estos dopantes tiene un impacto particular en las propiedades eléctricas y ópticas de los semiconductores tipo P y tipo N, influyendo en la eficiencia del diodo fotovoltaico.

### El diodo semiconductor

El diodo semiconductor es un dispositivo electrónico que permite que la corriente eléctrica fluya en una sola dirección. Su construcción está basada en la conexión entre dos materiales semiconductores dopados con impurezas P y N. La versatilidad de los diodos semiconductores los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones.

La región P del diodo es el ánodo y la región N es el cátodo (Boylestad et al., 2018). Las características corriente-voltaje de este dispositivo están descritas por Shockley mostradas en la ecuación 1.

$$I_D = I_S \left( e^{V_D / \eta V_T} - 1 \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- $I_D$ : Corriente de saturación en oscuridad del diodo.
- $V_D$ : Tensión aplicada al diodo.

- $\eta$ : Tipo de material ( $\eta \approx 1$  para Si y 2 para Ge).
- $V_T$ : Potencial térmico.
- $K$ : Constante de Boltzmann.
- $T$ : Temperatura del diodo (en grados Kelvin).
- $e$ : Carga del electrón.

Al conectar la unión P-N a una fuente de voltaje externa con polarización inversa, el campo externo interactúa con el campo interno. El campo eléctrico resultante favorece el alejamiento de las cargas libres de la unión, incrementando el ancho de la zona de carga espacial (ZCE). Bajo estas condiciones, la circulación de corriente eléctrica a través del dispositivo se reduce considerablemente, incrementando la resistividad del dispositivo (Fonash, 2010; Porral et al., 2022). Al conectar la unión P-N a una fuente de voltaje externa con polarización directa, el campo externo interactúa con el campo interno, facilitando la conducción en el dispositivo. En el Anexo 2 se muestra la polarización del diodo y su característica voltampérica.

### Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico fue descubierto por un joven científico francés llamado Edmund Becquerel en 1839 mientras experimentaba con un par de electrodos metálicos. Observó que la conductividad de los materiales aumentaba cuando estaban expuestos a la luz. Sin embargo, se atribuye el descubrimiento del efecto fotoeléctrico a Heinrich Hertz en 1887, al tratar de probar la teoría de Maxwell sobre la radiación electromagnética. Albert Einstein realizó la fundamentación teórica del fenómeno fotoeléctrico en 1905.

La palabra fotoelectricidad proviene del griego: "*phos*" y "*elektron*" (ámbar), un material utilizado en experimentos eléctricos antiguos. Este término describe el fenómeno por el cual los fotones de luz impactan la superficie de un material, transfiriendo su energía a los electrones y huecos presentes en él. Si la energía de los fotones es adecuada, libera a los portadores, produciendo corriente eléctrica. La energía requerida para liberar los electrones mediante fotones depende de la frecuencia de la luz, es decir, de su longitud de onda. Cuando la frecuencia de la luz supera el umbral específico para cada material, ocurre la conducción de los portadores de carga (Alonso Montes, 2002; Laborde et al., 2016; Perpiñán Lamiguero, 2023; Tobajas, 2018).

Existen diversas fuentes de suministro de energía a los portadores de carga, que permiten la conductividad en el dispositivo semiconductor. Estas fuentes son: la energía térmica; la energía luminosa (fotón) y el campo eléctrico (Escobar Jaramillo et al., 2020).

En el Anexo 3 se muestra la banda de energía que proporcionan los fotones para que ocurra la conductividad eléctrica en el semiconductor.

El efecto fotoeléctrico se utiliza en diferentes casos prácticos, como en paneles solares o fotovoltaicos (Changlei Wang y Yanfa Yan, 2018). Además, se emplea en dispositivos como detectores de luz y multiplicadores de luz, los cuales transforman la luz en señales eléctricas con el fin de detectarla o amplificarla.

#### La celda solar

Los semiconductores que se utilizan en la construcción de celdas solares son el silicio cristalino y el telurio de cadmio. Estos materiales posibilitan transformar la energía solar en electricidad de forma efectiva (Sze, 2006).

Otros materiales semiconductores, como el arseniuro de galio (GaAs) y el sulfuro de cobre indio galio (CIGS), también son empleados en menor proporción en celdas solares. Cada uno de estos materiales presenta distintas características y se utiliza en diversas aplicaciones dentro de la tecnología fotovoltaica (Millman y Grabel, 1993).

El silicio cristalino es el material más frecuentemente empleado como semiconductor en la creación de células solares. Principalmente, se utiliza en dos formas: silicio monocristalino y silicio policristalino. El silicio monocristalino se produce a partir de lingotes de silicio puro y tiene una eficiencia de conversión elevada. En cambio, el silicio policristalino se obtiene al fundir y posteriormente se solidifica el cristal de silicio, mostrando una eficiencia algo menor (Bahaa et al., 2007).

El telurio de cadmio (CdTe) es un material delgado y maleable que se coloca en capas delgadas sobre una base. La fabricación de las células solares con este material posee gran comercialización por las ventajas de eficacia elevada y su coste de producción reducido.

La celda solar está constituida por diodos fotoeléctricos (fotodiodos). Los fotodiodos son dispositivos semiconductores sensibles a la luz y, convierten la energía lumínica en energía eléctrica. La estructura básica de un fotodiodo es similar a la de un diodo semiconductor tradicional, con una unión PN. Sin embargo, la capa de depleción (zona sin portadores de carga) en el fotodiodo es diseñada para ser más ancha y sensible a la luz.

Cuando la luz incide sobre el fotodiodo, los fotones de luz chocan con los átomos de la capa de depleción. Si la energía del fotón es lo suficientemente alta, puede liberar los electrones de los átomos, creando un par electrón-hueco. Estos portadores de carga libres son recolectados por los campos eléctricos de la unión PN, lo que genera una corriente eléctrica (Luque y Hegedus, 2011).

Las características principales del fotodiodo son:

- Sensibilidad a la luz: Los fotodiodos son sensibles a la intensidad y la longitud de onda de la luz.
- Voltaje inverso: Generalmente se operan en polarización inversa (con el ánodo conectado a un voltaje negativo). Esta configuración amplifica la corriente generada por la luz.
- Respuesta espectral: Cada fotodiodo tiene una respuesta espectral específica, es decir, un rango de longitudes de onda a las que es más sensible.
- Velocidad de respuesta: La velocidad a la que el fotodiodo responde a los cambios en la intensidad de la luz.

### Radiación solar

La energía se define como la capacidad que posee un cuerpo para desarrollar una acción o trabajo. Se considera a la materia como una concentración intensa de energía y a la radiación como una de sus manifestaciones.

La energía solar es la radiación emitida por el sol en diferentes longitudes de onda, como la luz visible, la radiación ultravioleta y la radiación infrarroja (IR) (Edwar Alfredo Alvarez Claro). La fuente de esta energía es la generación de reacciones nucleares dentro del núcleo solar y se propaga por el espacio hasta llegar a la Tierra en forma de energía radiante (Duffie, John A. y Beckman, William A., 2013). La radiación electromagnética tiene muchas características intrínsecas: velocidad de propagación, intensidad, frecuencia de pulsación, fase, polarización, coherencia, divergencia, etc.

En términos más técnicos, la radiación solar puede clasificarse en:

- Radiación directa: La energía solar que alcanza la Tierra sin ser dispersada ni reflejada por la atmósfera.
- Radiación dispersa: La energía solar dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre.
- Radiación total: la cantidad combinada de radiación directa y difusa que alcanza un lugar específico en la superficie terrestre.

La radiación absorbida por el panel varía en el transcurso del año, las horas del día en función de la posición del sol. La variación de la radiación repercute en la corriente producida por el panel solar.

Motivo que ocasiona tener que seleccionar la posición en qué se coloca el panel solar para una determinada ubicación geográfica. Existen sistemas de seguimiento solar automáticos que aseguran el del punto de máxima potencia incrementando los costos del sistema (Díaz Santos et al., 2018; Freepower, 2023).

El autor considera necesario, para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, tener presentes los factores que influyen en la cantidad de radiación que recibe el panel. Entre estos factores se destacan:

- **Ángulo de incidencia:** La inclinación de los rayos solares al impactar en los paneles solares. Un ángulo más grande incrementa la radiación recibida.
- **Momento del día:** La radiación solar alcanza su máxima intensidad al mediodía y disminuye por la mañana y la tarde (hora solar pico).
- **Estación del año:** La radiación varía según la época, siendo más intensa en verano y menor en invierno.
- **Condiciones climáticas:** Elementos como nubes, lluvia y niebla reducen la cantidad de radiación solar que llega a los paneles.
- **Nubosidad:** Las nubes bloquean la radiación solar, disminuyendo su intensidad.
- **Ubicación geográfica:** A mayor latitud, la radiación solar es menor debido a un ángulo de incidencia reducido.
- **Presencia de sombras:** Las sombras, ya sean temporales o permanentes, afectan la producción de energía solar.
- **Temperatura de las placas:** Las altas temperaturas disminuyen la potencia máxima alcanzada por las placas solares.

### **Afectación de la temperatura en los parámetros del panel solar**

La eficiencia de los sistemas fotovoltaicos está estrechamente relacionada con la temperatura de los módulos, un factor que varía según las condiciones meteorológicas. En este contexto, diversos estudios han explorado el comportamiento térmico de los módulos fotovoltaicos.

Ferledy Erazo y Escobar (2018) proponen un método innovador que utiliza datos meteorológicos reales y estimados para predecir la temperatura de los módulos, optimizando su rendimiento. Por otro lado, investigaciones como las de Gaitan Torres (2020), Massachusetts Institute of Technology (2015) y Singh y Ravindra (2012) se enfocan en estimar la potencia eléctrica generada por los módulos de silicio y en analizar el impacto de la temperatura en su eficiencia. Por otra parte, Duffie y Beckman (2020) explica conceptos relacionados con la temperatura de operación de los paneles solares. Estas contribuciones proporcionan un marco teórico y práctico que facilita el diseño y operación efectiva de sistemas solares.

### Sistema solar fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico, también conocido como sistema de paneles solares, es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que utilizan la radiación solar para generar electricidad mediante el efecto fotoeléctrico. La energía eléctrica se produce cuando la radiación solar incide sobre paneles contruidos con materiales semiconductores, generando una tensión (Sudhirrao Werulkar y Kulkarni, 2015). El sistema incluye paneles solares, inversores, controladores de carga, cables de conexión y, en algunos casos, baterías (Méndez Castillo et al., 2022).

Los sistemas fotovoltaicos son una alternativa sostenible y renovable, representando una solución prometedora para los desafíos energéticos globales. Sus principales ventajas son su impacto ambiental reducido, la ausencia de desechos contaminantes y su amplia utilización mundial. Sin embargo, también presentan desventajas, como la necesidad de grandes extensiones de terreno y una inversión inicial elevada.

### Clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse desde diversos enfoques, según su capacidad o aplicaciones específicas. A continuación, se describen las clasificaciones comunes:

1. Según la conexión a la red
  - Sistemas Grid-Tied: Conectados a la red eléctrica, permiten la inyección de energía excedente y normalmente carecen de almacenamiento.
  - Sistemas aislados (Off-Grid): Operan de manera independiente de la red eléctrica y suelen incluir baterías de almacenamiento.
  - Sistemas híbridos: Combinan características de los sistemas Grid-Tied y Off-Grid, funcionando de manera autónoma en caso de apagones.
2. Según el tipo de aplicación
  - Residenciales: Diseñados para generar energía en viviendas.
  - Comerciales: Instalados en edificios comerciales para reducir costos energéticos.
  - Industriales: Grandes sistemas que abastecen la demanda de energía de industrias.
3. Según la tecnología utilizada
  - Celdas solares de silicio cristalino: Incluyen silicio monocristalino y policristalino, las opciones más comunes.
  - Celdas solares de película delgada: Fabricadas con materiales como cadmio-telururo (CdTe) o silicio amorfo (a-Si).
  - Celdas solares de perovskita: Una tecnología emergente con alta eficiencia y costos reducidos.
4. Según el Tamaño

- Pequeños sistemas: Menores a 10 kW, ideales para viviendas.
- Sistemas medianos: Entre 10 kW y 1 MW, útiles en comercios e industrias pequeñas.
- Grandes sistemas: Con capacidad superior a 1 MW, empleados en plantas solares.

5. Según el modo de seguimiento solar

- Fijos: Paneles que no se mueven.
- Sistemas de seguimiento solar: Paneles que siguen el movimiento del sol, aumentando su eficiencia

6. Según el uso del espacio

- En tejados: Instalados en la parte superior de los edificios.
- En el suelo: Situados en espacios abiertos, como granjas solares.
- Integrados en edificios (BIPV): Incorporados como parte de la estructura arquitectónica.

Estas clasificaciones ayudan a identificar los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos y su aplicabilidad en función de las necesidades energéticas y las condiciones del entorno.

### Panel solar

El panel solar es el componente generador de energía de cualquier sistema fotovoltaico. Están formados por la conexión en serie y paralelo de varias celdas fotovoltaicas y elementos de protección adicionales.

En condiciones de circuito abierto, la corriente del panel es cero y el voltaje alcanza su valor máximo. En el punto de máxima potencia, se logra un equilibrio entre corriente y voltaje, generando la mayor cantidad de energía posible. Por el contrario, en condiciones de cortocircuito, la corriente es máxima y el voltaje es cero (Flores Rivera y Domínguez Ramírez, S. F.; International Electrotechnical Commission, 2016).

La corriente que entrega el panel aumenta en función de la radiación, mientras que la tensión se mantiene constante. Es fundamental colocar los paneles de manera adecuada, ya que la radiación varía durante el día dependiendo de la ubicación del sol para obtener la máxima potencia en el punto de operación.

La eficiencia de un panel solar mide su capacidad para convertir la luz solar en electricidad. Esta eficiencia se define como la proporción entre la potencia eléctrica generada en sus terminales y la potencia de radiación solar incidente (Barco-Jiménez et al., 2022). En otras palabras, es la relación

entre la energía solar recibida y la energía eléctrica producida. Sin embargo, el rendimiento real considera las condiciones de operación en el mundo real, que pueden reducir la eficiencia teórica (Green y Keevers, 2021).

### Clasificación de los paneles solares fotovoltaicos

La clasificación de los paneles solares fotovoltaicos se basa en el tipo de material semiconductor empleado. Estos incluyen:

- Silicio monocristalino: Los paneles de silicio monocristalino se reconocen por su color negro intenso y están hechos de una barra cristalizada en forma de obleas. Son los más eficientes en términos de espacio, alcanzando una eficiencia máxima del 24.7 % en aplicaciones profesionales y alrededor del 16 % en modelos comerciales. Además, destacan por su durabilidad y rendimiento.
- Silicio policristalino: Este tipo de panel utiliza cristales de silicio distintos que le otorgan una superficie de textura granulada. Son menos eficientes en la conversión de energía en comparación con los monocristalinos, pero su costo de producción es menor, lo que los hace más accesibles.
- Silicio amorfo: Carecen de estructura cristalina y ofrecen una eficiencia máxima del 13 % en laboratorio y del 8 % en modelos comerciales. Aunque menos eficientes, son una opción viable para aplicaciones de bajo costo.
- Paneles PERC (*Passivated Emitter and Rear Cell*): Representan una evolución de la tecnología monocristalina, captando más energía en menos espacio, lo que los hace ideales para áreas reducidas. Aunque su producción es ligeramente más costosa, su alta eficiencia compensa el costo.
- Paneles delgados: Fabricados con materiales como diseleniuro de cobre indio galio o telurio de cadmio, destacan por ser más ligeros, flexibles y resistentes a altas temperaturas. Sin embargo, su eficiencia en la conversión de energía es menor, lo que limita su popularidad en el mercado.

La tasa de conversión de energía solar en electricidad varía entre los diferentes tipos de paneles, alcanzando en promedio valores entre el 19 % y el 21 %. Algunos fabricantes han logrado superar estos valores, evidenciado por avances constructivos en la tecnología solar. La mayoría de los paneles típicos exhiben eficiencias entre el 15 % y el 20 %.

### Almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos se realiza a través de baterías, también conocidas como acumuladores. Estas almacenan energía química y la suministran al sistema cuando es necesario. Son comunes en sistemas híbridos y aislados de la red (Baquerizo Basurto et al., 2022).

La energía generada por los paneles solares se almacena en un banco de baterías (sistema de almacenamiento de energía ESS). El banco de baterías se carga de energía eléctrica durante los momentos de exceso de generación y se descarga cuando la demanda de energía aumenta o cuando no hay luz solar. La viabilidad económica de estas soluciones depende de un equilibrio entre el tamaño del banco de baterías y los niveles de autoconsumo y autosuficiencia, gestionado mediante estrategias personalizadas de energía (Nazaralizadeh et al., 2024).

Para garantizar el correcto funcionamiento de las baterías, es necesario supervisar ciertos parámetros clave que se analizan a continuación:

- Ciclado: Consiste en cargar las baterías durante el día y descargarlas por la noche. Evitar altos voltajes de carga, bajos voltajes de descarga, descargas profundas y altas temperaturas ayuda a prolongar su vida útil (Sánchez Martín, 2020).
- Eficiencia: Se define como la relación entre la energía descargada y la cargada. Depende de factores como la temperatura y la corriente de carga y descarga (c-rate).
- Ciclo de vida: Es el número de ciclos de carga y descarga que puede soportar una batería antes de que su capacidad caiga por debajo del 80 % de su valor inicial. Este parámetro está relacionado con la profundidad de descarga DoD, Deep of Discharge (Sánchez Martín, 2020).
- Costos: Las baterías de ácido suelen ser las más económicas, aunque otros factores como la densidad de almacenamiento también deben considerarse (Santillán Tituaña, 2016).

La capacidad de una batería también está influenciada por el régimen de carga y descarga, así como por la temperatura ambiental. Por ejemplo, C10 indica la capacidad disponible para una descarga en 10 horas, mientras que C100 corresponde a una descarga en 100 horas.

La profundidad de descarga se refiere al porcentaje de energía extraída de una batería completamente cargada durante su uso. Mientras más profunda sea la descarga, menor será el número de ciclos que puede soportar la batería, lo que reduce su vida útil (Alarcon Vanegas y Sánchez Jaimes, 2021).

La capacidad nominal de una batería se determina a una temperatura específica, generalmente de 25 °C. Cuando la temperatura desciende, la capacidad de la batería puede reducirse considerablemente. Por el contrario, a temperaturas más altas, la capacidad puede incrementarse temporalmente, aunque esto podría ocasionar un desgaste acelerado de la batería. Además, las variaciones de temperatura también afectan la eficiencia durante los ciclos de carga y descarga, lo que implica que no se podrá almacenar ni aprovechar toda la energía disponible. Mientras que las altas temperaturas aceleran el envejecimiento de las baterías, las bajas temperaturas perjudican su rendimiento y capacidad para suministrar energía.

### **Clasificación de las baterías**

Las baterías se pueden clasificar según su aplicación y material de construcción. En el caso de las baterías solares (IEEE Power and Energy Society, 2023; National Renewable Energy Laboratory, 2023), su clasificación incluye:

Baterías de plomo-ácido:

- Tipos: Incluyen baterías de arranque y de ciclo profundo.
- Ventajas: Son económicas y simples de fabricar.
- Desventajas: Ofrecen menor eficiencia y vida útil limitada.

Baterías de litio:

- Características: Alta densidad de energía y larga vida útil.
- Ventajas: Poseen alta eficiencia y requieren poco mantenimiento.
- Desventajas: Su costo inicial es elevado.

Baterías de flujo:

- Características: Utilizan electrolitos líquidos para almacenar energía.
- Ventajas: Ofrecen escalabilidad y larga duración.
- Desventajas: Su complejidad y costo son elevados.

Baterías de níquel-cadmio:

- Características: Resistentes a temperaturas extremas.
- Ventajas: Buena durabilidad y capacidad.
- Desventajas: Presentan efecto memoria y son costosas.

Baterías estacionarias:

- Características: Diseñadas para almacenamiento de energía a largo plazo.
- Ventajas: Ofrecen alta capacidad y confiabilidad.
- Desventajas: Tienen un costo inicial elevado y requieren espacio adicional.

Las baterías son componentes esenciales en los sistemas fotovoltaicos porque permiten almacenar la energía generada por los paneles solares para su uso posterior, especialmente cuando la producción de energía es baja. En el Anexo 4, se amplía la información sobre las baterías.

### **Clasificación del uso de voltaje de la batería en función de la potencia**

La selección del voltaje de la batería depende de las dimensiones del sistema y de la potencia requerida (IEEE Power and Energy Society, 2023). A continuación, se ofrece su clasificación:

Baterías de baja tensión (12 voltios):

- Aplicación: Sistemas pequeños, como aplicaciones domésticas o sistemas autónomos.

- Potencia: Adecuadas para potencias menores a 1 kW.
- Beneficios: Bajo costo inicial y fácil acceso.
- Desventajas: Requieren cables más gruesos para potencias altas, lo que reduce la eficiencia.

Baterías de media tensión (24 voltios):

- Aplicación: Sistemas residenciales pequeños o comerciales medianos.
- Potencia: Ideales para potencias entre 1 kW y 3 kW.
- Beneficios: Disminuyen la corriente respecto a sistemas de 12 V, optimizando el uso de cables más delgados y aumentando la eficiencia.

Baterías de alta tensión (48 voltios):

- Aplicación: Sistemas de mayor escala, como instalaciones comerciales o industriales.  
Potencia: Comunes para potencias superiores a 3 kW.
- Beneficios: Ofrecen mayor eficiencia debido a la reducción de pérdidas por calor.
- Desventajas: Costo inicial elevado y necesidad de componentes adicionales para el manejo seguro del voltaje.

Sistemas de tensiones superiores (96V o 120V):

- Aplicaciones: Sistemas industriales o de alta potencia.
- Potencia: Para grandes instalaciones que superan los 10 kW.
- Beneficios: Son altamente eficaces para instalaciones extensas y permiten el uso de inversores más avanzados.

### Controlador o regulador de carga

Los controladores de carga, también llamados reguladores de carga, son dispositivos esenciales en un sistema de paneles solares. Su principal función es proteger las baterías de la sobrecarga y descarga excesiva. También evitan daños en las cargas conectadas al sistema en situaciones extremas y proporcionan datos útiles al usuario.

Estos dispositivos previenen descargas profundas en las baterías al desconectar la carga cuando el voltaje cae por debajo de un límite definido. El suministro no se restablece hasta que el voltaje alcance un nivel superior conocido como reconexión de carga. Es importante ajustar los voltajes de conexión y reconexión según las especificaciones de cada batería, ya que no existe una relación general entre voltaje y estado de carga (Santillán Tituaña, 2016).

Además, los controladores de carga ofrecen protección contra condiciones adversas como sobrevoltaje, cortocircuito y polaridad invertida. Algunos modelos incluyen funciones avanzadas, como la monitorización del estado de carga de la batería y la programación de tiempos para carga o descarga.

En una planta de energía solar, el sistema de gestión de baterías supervisa y controla parámetros críticos durante la carga y descarga (voltaje, corriente y temperatura). Esto garantiza que las baterías se mantengan en condiciones óptimas, extendiendo su durabilidad y asegurando que estén listas para satisfacer las demandas energéticas. La utilización de los controladores permite:

- Evitar daños: Protege las baterías contra condiciones que puedan acortar su vida útil.
- Extender la duración: Aplica técnicas para maximizar la vida operativa de las baterías.
- Garantizar disponibilidad: Mantiene el sistema preparado para proporcionar energía completa cuando sea necesario.

Para su correcto funcionamiento, se recomienda instalar los controladores en un lugar fresco y ventilado, lejos de la humedad y la luz solar directa. Además, es vital seguir las recomendaciones del fabricante sobre los límites de corriente y voltaje que puede soportar el dispositivo. Las bajas excesivas de voltaje generan efectos negativos en el funcionamiento de diversos sistemas. Esto puede resultar en una disminución de la capacidad efectiva de carga del panel solar. Debido a que los reguladores de carga evalúan el voltaje de la batería en sus propios terminales, las caídas de tensión pueden reducir la carga y afectar su rendimiento adecuado (Huincho Sedano, 2021).

En el mercado existen dos tipos principales de reguladores de carga utilizados en sistemas de energía solar: los reguladores de modulación de ancho de pulso (PWM) y los reguladores de seguimiento del punto de máxima potencia (*Maximum Power Point Tracking*, MPPT). Los controladores PWM permiten que el voltaje del panel disminuya hasta acercarse al voltaje de la batería, manteniendo constante la corriente. Esto ocurre porque los paneles solares actúan como una fuente de corriente, lo que hace que la corriente dependa directamente de la cantidad de luz solar presente. Por otro lado, los controladores MPPT permiten que el panel solar opere a un voltaje próximo al punto de máxima potencia (MPP) mientras mantienen constante la corriente (Luque et al., 2012).

Existen sistemas fotovoltaicos independientes que logran un acoplamiento eficiente entre el generador fotovoltaico y la carga, maximizando así la capacidad de generación disponible. Este acoplamiento se consigue mediante la aplicación de algoritmos de rastreo del punto de máxima potencia (Alonso Abella, s.f.).

Los reguladores pueden utilizar interruptores que sean relés electromecánicos o dispositivos de estado sólido. Por lo general, los reguladores emplean para su funcionamiento dispositivos de conmutación. Los más comunes son los relés electromecánicos, aunque en la mayoría de los casos se prefieren

MOSFET o transistores de potencia debido a su menor consumo de energía, tamaño compacto y mayor durabilidad (Alonzo Chavarría, 2015; Perpiñán Lamiguero, 2023).

### **Inversor DC/AC o convertidor**

El inversor, también conocido como inversor fotovoltaico, tiene como función principal convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA). La salida del inversor se conecta directamente a la carga o red eléctrica, asegurando que cumpla con requisitos como tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica, rendimiento, seguridad eléctrica y sincronización con la red (Palomino Estebaranz, 2012).

Dependiendo de la forma de onda de salida, los inversores solares se clasifican en tres tipos: inversores de onda cuadrada, inversores de onda sinusoidal modificada e inversores de onda sinusoidal pura. Las partes fundamentales de un inversor, según Alonso Abella (s.f.) son:

- Control principal. Contiene los elementos de control general, sistemas de generación de onda basados en modulación de anchura de pulsos (PWM) y sistemas de protección.
- Etapa de potencia. Puede ser única o modular, dependiendo de la potencia deseada. Utiliza tecnología de baja frecuencia para lograr alta fiabilidad y bajo costo. Incluye un filtro de salida (LC) para evitar rizados en la tensión procedente de los módulos.
- Control de red. Es la interfaz entre la red y el control principal. Permite sincronizar la forma de onda generada con la red eléctrica, ajustando parámetros como tensión, fase y sincronismo.
- Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT). Es esencial para maximizar la energía disponible del generador fotovoltaico, acoplando la entrada del inversor a los valores de potencia variables.
- Protecciones. Los inversores deben protegerse ante tensiones fuera de margen, sobrecalentamientos, intensidades insuficientes, fallos en la red eléctrica y posibles riesgos para las personas.
- Monitorización de datos. Incorporan microprocesadores que recopilan información sobre parámetros como tensión, corriente, frecuencia, radiación y temperatura, entre otros.

Los inversores empleados en aplicaciones fotovoltaicas se dividen en dos categorías principales: autoconmutados y conmutados por la red. Los inversores autoconmutados pueden operar como fuente de tensión o de corriente y son aptos tanto para sistemas autónomos como conectados a la red (*Grid-Tied*). En cambio, los inversores conmutados por la red funcionan exclusivamente como fuente de corriente, por lo que solo son adecuados para esta aplicación (Hernández Poveda, 2021).

La evolución de los semiconductores en la (micro y nano) electrónica ha permitido el desarrollo de interruptores de potencia más avanzados. Estos interruptores, controlados digitalmente por un microcontrolador, aseguran la salida deseada mediante algoritmos específicos. En la etapa de potencia del inversor, los interruptores modulan la corriente continua de los paneles solares para generar una señal sinodal de salida, ya sea monofásica o trifásica, según el tipo de inversor.

Para modificar adecuadamente la señal de entrada, el inversor utiliza un circuito de retroalimentación con sensores electrónicos. Este circuito controla la apertura y cierre de los interruptores de potencia, garantizando una señal de salida óptima (Muñoz Pascual, 2016; Tagüite Flores, 2019). Cuando se produce una anomalía en la red o un corte de suministro, el tiempo de conmutación entre la desconexión de la carga por el SAI y la alimentación de la batería es crítico. Este tiempo, conocido como tiempo de transferencia, debe ser inferior a 10 milisegundos para evitar pérdidas significativas de datos en sistemas informáticos (Galindo Noguera et al., 2022).

### **Conclusiones parciales del capítulo**

La utilización de energías renovables mediante sistemas fotovoltaicos es esencial para incentivar la conciencia ecológica y apoyar la sostenibilidad. Esta acción ayuda a conservar un equilibrio esencial entre el uso de energía y la preservación de los recursos naturales.

En el ámbito universitario, los centros de datos desempeñan un rol clave en la infraestructura operativa. Su adecuado funcionamiento mejora la calidad educativa al garantizar el acceso a información y servicios digitales. Así, la energía eléctrica se transforma en un componente esencial, asegurando un flujo ininterrumpido de electricidad frente a posibles cortes.

Es crucial tener en cuenta que los cambios en la radiación solar y la temperatura impactan de manera directa en la producción de electricidad de los paneles solares. Este punto enfatiza la importancia de un diseño apropiado que considere estas variaciones para mejorar la eficiencia del sistema.

El fenómeno fotoeléctrico es la base fundamental que permite la transformación de luz en energía eléctrica. Este procedimiento se fundamenta en la emisión de portadores por fotones, lo que facilita convertir la energía solar en energía aprovechable. Asimismo, las baterías tienen un papel importante en estos sistemas, ya que almacenan energía química para ser utilizada más adelante.

La administración de la energía almacenada recae en los controladores de carga, que previenen tanto las descargas como las sobrecargas, garantizando de este modo la durabilidad del sistema.

## CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS DEL RESPALDO FOTOLVOLTAICO

Finalmente, el inversor es un elemento esencial, dado que transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna, ajustándola a las necesidades específicas de la red de consumo.

## **CAPÍTULO 2:**

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presenta la caracterización del estado actual de respaldo eléctrico fotovoltaico para el Centro de Datos de la Universidad de Matanzas. Se fundamentan las metodologías a seguir para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, su análisis ambiental y económico.

### Aspectos metodológicos generales

La evaluación de un sistema de paneles solares implica considerar la radiación solar, los requerimientos de energía, la elección de paneles solares fotovoltaicos y la conexión con otros sistemas de generación de energía (Sudhirrao Werulkar y Kulkarni, 2015). Para llevar a cabo su análisis es necesario contextualizarlo para las coordenadas geográficas del lugar donde se solicita instalar el sistema fotovoltaico. Esto incluye determinar la cantidad de horas de sol pico diario y la intensidad promedio de la radiación (Fuentefría, 2018).

La elección de un sistema fotovoltaico para respaldar un centro de datos se justifica por la creciente necesidad de garantizar una fuente de energía confiable y sostenible. Los centros de datos requieren un suministro constante de energía para operar de manera eficiente y evitar interrupciones que puedan afectar su funcionamiento. Al integrar energía solar con otras fuentes, se logra una mayor estabilidad en el suministro eléctrico, especialmente en situaciones de alta demanda o fallos en la red. Además, este enfoque no solo reduce los costos operativos a largo plazo, sino que también minimiza la huella de carbono del centro de datos. Al optar por un sistema híbrido, se asegura una solución flexible y adaptable a las variaciones en la demanda energética, lo que es esencial en un entorno donde la disponibilidad y la resiliencia son cruciales.

Un aspecto importante a considerar es la eficiencia de los paneles solares. Esta eficiencia refleja la capacidad del panel para transformar la luz solar en electricidad (Arratia Coila, 2023), por ende, se debe considerar en el dimensionamiento del sistema.

El almacenamiento de energía es otro aspecto clave de los sistemas híbridos, donde un dimensionamiento adecuado reduce costos adicionales y garantiza su funcionalidad. Las baterías acumulan la energía durante el día para ser usados cuando el sistema lo requiera (Martínez Ruiz y Cristancho Franco, 2019).

Un dato importante para realizar el dimensionamiento del sistema es el consumo de energía de los equipos fundamentales. Es necesario adquirir información exacta acerca de la cantidad de energía necesaria para cada dispositivo y cuánto tiempo estará en funcionamiento (Sanz et al., 2021). Se debe tener en cuenta la opción de conectarse a la red para vender el excedente de energía o comprar energía si la generación del sistema fotovoltaico no está disponible (Neira Reyes y Ardila Torres, 2019).

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico está basado en el análisis del uso de energía y la previsión de la radiación solar. Se plantea un enfoque de diseño para garantizar que el sistema satisfaga las necesidades energéticas del proceso, o al menos una parte significativa de estas. Determinar propiedades tales como el número requerido de paneles solares y baterías es imprescindible. Esto debe abarcar, además, el dispositivo de supervisión y el convertidor. Factores contextuales como la resiliencia del sistema, la eficiencia y la durabilidad son aspectos a considerar (Francia Camacho, 2023).

La metodología de Evaluación Económica se lleva a cabo para analizar la viabilidad financiera del proyecto. Se estima el gasto completo de poner en marcha el sistema, considerando la instalación, el equipo necesario y el mantenimiento. Igualmente, es importante tener en cuenta los ahorros energéticos y las ventajas económicas de reducir el consumo de energía.

La metodología de Evaluación Ambiental identifica los beneficios que le aporta la implementación del sistema fotovoltaico. Significa cuánto es capaz de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover el desarrollo sostenible.

### **Cálculo de irradiación solar y ángulo de inclinación óptimo**

La Hora Solar Pico (HSP) define la intensidad de la radiación solar. Este parámetro determina la energía disponible del sol en un lugar específico y varía según la ubicación de la instalación. Se interpreta como el valor de energía solar total incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado, expresado en Kilowatts hora (kWh)<sup>1</sup>. La intensidad de irradiación que absorbe el panel fotovoltaico horizontal varía durante el día. La sumatoria de la energía recibida durante el día equivale

---

<sup>1</sup> El significado de hora solar pico es equivalente a decir "Horas de sol a una intensidad de 1 kWh/m<sup>2</sup>".

al valor de HSP. La cantidad de (HSP) puede obtenerse a través del uso base de datos del centro de meteorología aplicando software online gratuito.

Se asume la metodología utilizada por (Doris Benda et al., 2023), la cual se fundamenta en las estimaciones de radiación solar y en la posición de los paneles para maximizar la captación de la radiación. La determinación de estos factores se basa en dos aspectos: el acimut  $\alpha$  (que indica la desviación del sur en el hemisferio norte y del norte en el hemisferio sur) y la elevación  $\beta$  (ángulo entre la superficie del panel solar y el plano horizontal), para calcular la energía solar disponible.

Se realiza una estimación para periodos mensuales y se emplean los datos el mes de peor condición de radiación. La radiación total en la superficie inclinada se calcula con la ecuación 2 y se obtiene mediante la fórmula cuadrática de  $G_{dm}(0)$ :

$$G_{dm}(\beta = \varphi) = A * G_{dm}(0) * + B * (G_{dm}(0))^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- $G_{dm}(\beta=\varphi)$ : Irradiación global sobre la superficie inclinada, en  $W/m^2$
- $G_{dm}(0)$ : Valor medio de irradiación global diaria sobre el plano horizontal, en  $W/m^2$
- A: En función del ángulo  $\beta$  y de un coeficiente  $\rho$  relacionado con la reflectividad del suelo del campo de paneles. Por defecto, este coeficiente de reflexión se supone igual a 0,2, aunque se pueden escoger en dependencia del área donde se encuentre el arreglo fotovoltaico
- B: Depende de la latitud del lugar, del ángulo de inclinación  $\beta$  y del mes del año.
- $\rho$ : Reflectividad.

Es necesario hallar el ángulo de inclinación óptima anual para conseguir la mayor radiación solar anual posible sobre los módulos fotovoltaicos (Gastelo-Roque, 2017), su magnitud está en función de la latitud del lugar, y se determina mediante la siguiente ecuación 3.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \times |\phi| \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- $\beta$ : Ángulo de inclinación óptima ( $^{\circ}$ )
- $|\phi|$ : Latitud del lugar, sin signo ( $^{\circ}$ )

Lograr que el panel fotovoltaico tenga un ángulo de inclinación respecto al terreno permite obtener lo siguiente:

- Mayor cantidad de luz solar directa incidiendo en los paneles solares fotovoltaicos.

- Producción máxima de energía para el centro de datos. Máxima producción de energía para el centro de datos.

Por consiguiente, la latitud del lugar determinará el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos. Calcular la pendiente ideal de los paneles solares es el primer dato necesario para estimar las horas de mayor intensidad solar. La mejor inclinación de los paneles solares varía según la latitud del sitio de instalación (Aguilera y Hontoria, s.f.).

### Consideraciones generales del panel solar

Los paneles solares suelen operar a temperaturas superiores a las que se registran en condiciones estándar de laboratorio. Este aumento de temperatura se mide a través del *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT)<sup>2</sup>. Para ajustar los efectos térmicos en los parámetros de un panel solar, es fundamental utilizar los datos proporcionados por el fabricante (International Electrotechnical Commission, 2021). Estos datos se obtienen en condiciones de medición estándar (STC, por sus siglas en inglés), que abarcan una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, una temperatura de célula de 25 °C, una distribución espectral de 1,5 AM y una velocidad del viento de 1 m/s. Sin embargo, tales condiciones son raras en la práctica diaria. Por ello, es vital considerar estas variables para obtener el rendimiento real de los paneles solares en diversos entornos y temperaturas.

### Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido

Para garantizar el rendimiento y rentabilidad del sistema fotovoltaico híbrido, es fundamental contar con una metodología adecuada para su dimensionamiento. Esta metodología no solo evalúa la viabilidad técnica y económica del proyecto, sino que también asegura que la generación de energía se ajuste a las condiciones del entorno y a los requisitos específicos del usuario. Así, se optimiza el uso de recursos y se minimiza el impacto ambiental.

### Definición de datos iniciales

- **Potencias y consumos:** Se recopilan los datos de consumo de energía diaria y potencia pico para las redes de corriente alterna.
- **Características del sistema:** Se definen los parámetros del panel fotovoltaico, banco de baterías, inversores y coeficientes de temperatura.

---

<sup>2</sup> NOCT es un parámetro utilizado para describir la temperatura de operación de los paneles solares en condiciones reales, no en condiciones estándar de laboratorio. Se refiere a la temperatura que alcanzan las celdas de un panel solar cuando están en funcionamiento bajo condiciones específicas.

### Levantamiento de carga del centro de datos

La situación del centro de dato, parte del levantamiento de carga para determinar el consumo energético del equipamiento instalado. Al calcular la carga eléctrica de la instalación, se toma en cuenta el factor de seguridad. Su evaluación garantiza que el sistema eléctrico sea capaz de soportar la máxima demanda de energía, incluyendo posibles sobrecargas o aumentos repentinos en el consumo. Esto asegura que la instalación esté segura y evita daños a los equipos o peligros eléctricos.

Una vez identificado todos los dispositivos, sus potencias y sus tiempos de uso, la fórmula para determinar el consumo energético (García y Martínez, 2021; Moussa y Al-Mamun, 2022) y diferenciar entre los dispositivos de corriente alterna y continua ecuación 4 y 5).

$$E_{AC} = \sum P_{AC} t_{di} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$E_{DC} = \sum P_{DC} t_{di} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- $E_{AC}$ : Energía consumida en AC (World Health Organization)
- $E_{DC}$ : Energía consumida en DC (World Health Organization)
- $P_i$ : Potencia Nominal (W)
- $t_{di}$ : Tiempo diario de uso (h)

Con los datos de las ecuaciones anteriores se realiza el cálculo del consumo total diario en Wh/día (ecuación 6).

Donde:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{Bat}\eta_{Inv}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- $\eta_{Bat}$ : Eficiencia de la batería
- $\eta_{Inv}$ : Eficiencia del inversor

### Metodología de cálculo de la potencia con corrección de temperatura del panel fotovoltaico

La temperatura de operación de los paneles fotovoltaicos se incrementa por encima de la temperatura ambiente por la disipación térmica de los componentes. El coeficiente de corrección por temperatura de la potencia del módulo, es facilitado por el fabricante del panel.

- Factor de Corrección ( $F_{pmp}$ )
- Potencia del Panel

### Calcular la potencia aplicando el factor de corrección de temperatura

Es necesario la corrección del valor de la potencia del panel fotovoltaico por las variaciones de la temperatura. Indica que por cada grado sobre los 25 °C la potencia del módulo disminuirá en proporcionalidad con el coeficiente de temperaturas.

Se determina la potencia del panel o módulo fotovoltaico corregido (ecuación 7), a la temperatura máxima de operación (Rosales Arriaga, 2024).

$$P_{mp\text{corregido}} = P_{mp} * F_{pmp} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- $P_{mp}$ : potencia del panel
- $F_{pmp}$ : Factor o coeficiente total de la potencia del módulo fotovoltaico resultante al operar a cierta temperatura

Se necesita hallar el factor o coeficiente total de la potencia del módulo fotovoltaico resultante (Organismo Técnico de Capacitación de Chile, s.f.). La ecuación 8 expresa su aritmética.

$$F_{Pmp} = 1 + \left[ (T_{celda} - 25 \text{ °C}) * \left( \frac{T_{kPmp}}{100} \right) \right] \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

- $F_{pmp}$ : Factor total de corrección de la potencia afectada por temperatura.
- $T_{celda}$ : Temperatura de operación de la celda fotovoltaica. Máxima temperatura según valores registrados por centro meteorológico.
- $T_{kPmp}$ : Coeficiente de corrección de la potencia por temperatura ofrecido por el fabricante. *Tem coefficient of Pmax (%/°C).*

### Corrección del voltaje de circuito abierto y de la corriente de cortocircuito afectados por la temperatura

Para establecer el número de paneles que deben conectarse en serie en cada rama, es necesario considerar el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) del panel fotovoltaico. Este valor es fundamental para garantizar que el sistema opere dentro de los rangos de voltaje adecuados. El cálculo de  $V_{oc}(T)$ , que representa el voltaje de circuito abierto ajustado a la temperatura de operación, se realiza en dos etapas (Duffie, J. A. y Beckman, W. A., 2013). Primero, se determina la temperatura de trabajo de la celda ( $T(m)$ ) utilizando la ecuación 9.

$$T_m = T_{amb} + G \left( \frac{(NOCT-20)}{800} \right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- $T_{amb}$ : Temperatura ambiente (°C). Temperatura máxima °C.
- NOCT: Temperatura nominal de operación de la celda (en °C).
- G: Irradiancia ( $W/m^2$ )

Se calcula la variación de la temperatura (ecuación 10).

$$\Delta(T) = (T_m - 25) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Para determinar la variación del voltaje de circuito abierto ( $\Delta V_{oc}$ ) con corrección de temperatura, es necesario considerar el efecto que los cambios térmicos tienen sobre el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Este cálculo es fundamental para garantizar que el sistema opere dentro de los rangos de voltaje adecuados, especialmente en condiciones ambientales variables.

El voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) es un parámetro clave proporcionado por el fabricante, el cual se mide bajo condiciones estándar de prueba (25 °C y 1000  $W/m^2$  de irradiancia). Sin embargo, en condiciones reales de operación, la temperatura de las celdas fotovoltaicas puede variar significativamente, lo que afecta directamente el valor de  $V_{oc}$  (National Renewable Energy Laboratory, 2020). Se calcula la variación del voltaje de circuito abierto  $\Delta V_{oc}$  con la temperatura (ecuación 11).

$$\Delta V_{oc}(T_m) = \beta V_{oc} * (\Delta(T)) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

-  $\beta(V_{oc})$ : Coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto, proporcionado por el fabricante (expresado en  $\%/^{\circ}C$  o  $V/^{\circ}C$ ).

En la ecuación 12 se calcula la variación del  $V_{oc}$  por la diferencia de la temperatura ambiente respecto a la referencia.

$$\Delta V_{oc}(T_m) = NOCT + \Delta V_{oc}(T_m) \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

- NOCT: Temperatura de operación nominal de la celda (°C)

La temperatura juega un papel crucial en el rendimiento de los paneles solares, no solo en el voltaje, sino también en la corriente generada. A medida que la temperatura de las celdas fotovoltaicas

aumenta, se produce un incremento en la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), lo cual puede afectar el desempeño general del sistema. Por esta razón, es esencial realizar una corrección de la corriente de cortocircuito para tener en cuenta los efectos térmicos (Coque Torres, 2024; IEC 60904-10, 2018). La corriente de cortocircuito corregida ( $I_{sc}(T)$ ) se calcula utilizando la siguiente expresión, conocida como ecuación 13:

$$I_{sc}(T) = I_{sc(C.E.)}(1 + \Delta I_{sc}(T)) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

- $I_{sc}(C.E.)$ : Corriente de cortocircuito (brindado por fabricante)
- $\Delta I_{sc}(T)$ : Variación del  $I_{sc}$  por la diferencia de la temperatura

$$\Delta I_{sc}(T) = \alpha I_{sc} * (T - 25) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

- $\alpha I_{sc}$ : Coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito (brindado por fabricante)
- T: Temperatura ambiente máxima información meteorológico

El fabricante suministra las magnitudes en condiciones estándar (25°C, 1000 W/m<sup>2</sup> con espectro de luz 1,5 AM).

### **Cálculo del factor de compensación térmica para el voltaje de carga del banco de baterías**

El factor de compensación térmica es un parámetro esencial en el diseño de sistemas de almacenamiento de energía, ya que permite ajustar el voltaje de carga de las baterías en función de las variaciones de temperatura. Este ajuste es crucial para garantizar que las baterías operen dentro de sus rangos óptimos, maximizando su vida útil y eficiencia (Duffie y Beckman, 2020; National Renewable Energy Laboratory, 2020).

#### 1. Voltaje Nominal por Celda:

- Las celdas de litio LiFePO<sub>4</sub> presentan un voltaje nominal de 3.2 V.
- Obtener el número de celdas conectadas en serie

(Voltaje de la batería/Voltaje nominal de la celda de litio)

#### 2. Factor de compensación para el banco completo:

- Obtener del catálogo del fabricante el factor de compensación térmica típico por celda (mV/ °C).

Factor de compensación de la batería = Factor de compensación térmica típico por número de celda

- Obtener la variación de temperatura

(Temp amb °C – 25 °C)

Calcular la variación total en el voltaje de carga

- Factor de compensación de la batería por la variación de temperatura
- Realizar el ajuste de voltaje de carga para la batería.

Voltaje de carga con compensación térmica = Voltaje de carga de la batería - variación total en el voltaje de carga

### Metodología de cálculo para la obtención del número de paneles

La creciente demanda de energía limpia y sostenible ha impulsado el uso de sistemas fotovoltaicos como una alternativa eficiente para generar electricidad. Para garantizar que estos sistemas operen de manera óptima y sean rentables, es esencial determinar correctamente el número de paneles necesarios. Este proceso no solo asegura que se cubran las necesidades energéticas específicas de cada instalación, sino que también contribuye a un uso más eficiente de los recursos y a la reducción del impacto ambiental.

### Calcular la cantidad de paneles

El cálculo de paneles fotovoltaicos es un proceso iterativo que equilibra parámetros técnicos, ambientales y normativos. La inclusión de márgenes de seguridad y modelos actualizados de irradiancia minimiza riesgos de subestimación, asegurando la viabilidad del sistema fotovoltaico a largo plazo.

Considerando la revisión de la literatura (Duffie, J. A. y Beckman, W. A., 2013; Honsberg y Bowden, 2023; NASA, 2023; National Renewable Energy Laboratory, 2021; R., 2022), se propone calcular el número total de paneles utilizando la ecuación 15, en la que se integra conceptos validados por múltiples fuentes técnicas. No se ha logrado encontrar textualmente en la literatura estándar. La misma considera la energía diaria consumida, la potencia corregida de los paneles y diversos factores que afectan la eficiencia del sistema. La fórmula es la siguiente:

$$N_p = \frac{E_T * F_s}{P_{np} * \eta_{inv} * \eta_{con} * \eta_{temp} * \eta_{sombra} * \eta_{det} * HSP} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

$N_p$  = número total de módulos o paneles

- $E_T$ = Energía diaria consumida (Wh/día)
- $F_s$ =Factor de seguridad. Norma: IEC 62548 (2016) recomienda 1.25 para compensar degradación y pérdidas no previstas
- $P_{np}$ = Potencia individual del panel solar ( $W_p$ )
- $\eta_{inv}$ = Eficiencia del inversor
- $\eta_{con}$  = Pérdidas por conexión
- $\eta_{temp}$  = Pérdidas por temperatura
- $\eta_{sombra}$  = Factor de sombra
- $\eta_{det}$  = Factor por deterioro
- HSP= Hora Solar Pico

Factores que influyen en la eficiencia del sistema

En la ecuación 15, se consideran varios factores que afectan el rendimiento de los paneles (Arenas Gómez y Moncada Mesa, 2024); estos incluyen:

- Pérdidas por conexión ( $\eta_{con}$ ): Debido a la resistencia en los cables y conexiones. IEEE 1547-2018 sugiere 98-99% por pérdidas en terminales.
- Efecto de la temperatura ( $\eta_{temp}$ ): La eficiencia disminuye a medida que aumenta la temperatura.
- Factor de sombra ( $\eta_{sombra}$ ): Reducción de la energía por sombras proyectadas sobre los paneles.
- Pérdidas por deterioro ( $\eta_{det}$ ): Pérdida gradual de eficiencia debido al envejecimiento de los paneles.
- Eficiencia del inversor ( $\eta_{inv}$ ): Pérdidas durante la conversión de corriente continua (Cook et al., 1995; Sandia National Laboratories, 2018)
- Eficiencia de la batería ( $\eta_{bat}$ ): Porcentaje de energía que puede recuperarse al descargarla respecto a la energía usada para cargarla.

### Conexión de los paneles en serie y paralelo

Para garantizar que el sistema funcione correctamente, es necesario conectar los paneles en serie, paralelo o una combinación de ambos (Arenas Gómez y Moncada Mesa, 2024). Cada tipo de conexión tiene un propósito específico:

Conexión de placas solares: En la mayoría de proyectos fotovoltaicos, especialmente en instalaciones aisladas (*Off-Grid*), se requiere agrupar varios paneles en serie, paralelo o mixto para alcanzar los niveles de corriente y tensión deseados. Existen tres configuraciones para conectar placas solares fotovoltaicas: serie, paralelo y mixta.

Conexión en serie: Se conecta el polo positivo de un panel al negativo del siguiente. Esto aumenta el voltaje total del sistema mientras mantiene la corriente constante.

Conexión en paralelo: Se unen todos los polos positivos y negativos entre sí. Esto aumenta la corriente total mientras mantiene el voltaje constante (Casado Ramírez et al., 2023).

Conexión de módulos fotovoltaicos en serie: para este tipo de configuración se conecta el polo positivo de un módulo, con el polo negativo del siguiente, así sucesivamente con cuantos paneles sean necesarios. Con esto se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada

Conexión mixta: Combina ambas configuraciones para alcanzar los niveles de voltaje y corriente deseados (Martín Chivelet, 2018; Organismo Técnico de Capacitación de Chile, s.f.).

### **Cálculo del número de paneles conectados en serie**

El número de paneles conectados en serie (Alcedo Aspilcueta, 2018; Arias García y Pérez Abril, 2018) se determina mediante la ecuación 16.

$$M_s = \frac{V_{\text{trabSistema}}}{V_{\text{oc}}(T)} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

- $V_{\text{trabSistema}}$ : Voltaje de trabajo DC entrada al inversor (V).
- $V_{\text{oc}}(T)$ : Tensión a circuito abierto en función de la temperatura

### **Número de paneles conectados en paralelo**

El número de conjuntos conectados en paralelo, o también conocidos como string, viene determinado tanto por la potencia pico instalada como por la máxima intensidad admisible por el consumo del inversor y baterías (Chenlo Romero, 2002).

La ecuación 17 expresa el cálculo de la cantidad de paneles conectados en paralelo.

$$R_{\text{paralelo}} = \frac{N_p}{M_s} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

- $R_{\text{paralelo}}$  = Número de paneles conectados en paralelo
- $N_p$  = Cantidad total de paneles

### Cálculo de la corriente del inversor y del banco de baterías

Para hallar la corriente del inversor (ecuación 18).

$$I_{inv} = \frac{P_{DC}}{V_{trabSistema}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Se necesita como dato el consumo de carga del banco de baterías, expresado en la ecuación 19.

$$I_{BBat} = \frac{P_{carg Bat} * \text{Autonomía}}{\eta_{Bat} * HSP * V_{trabSistema}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

- $P_{carg Bat}$ : Es la potencia que se desea cargar en las baterías luego de considerar el consumo
- Autonomía: Días necesarios a repaldar
- $\eta_{Bat}$ : Eficiencia de la batería
- HSP: Hora solar Pico
- $V_{trabSistema}$ : Voltaje de trabajo del sistema

### Metodología para el dimensionamiento de las baterías

El dimensionamiento adecuado del banco de baterías en un sistema fotovoltaico es crucial para garantizar un suministro de energía fiable y eficiente. Este proceso implica calcular la capacidad necesaria para almacenar la energía generada. Es importante considerar factores como la demanda del usuario y la variabilidad de la producción solar. Además, las condiciones climáticas locales juegan un papel fundamental. Un banco de baterías bien dimensionado optimiza el rendimiento del sistema y prolonga la vida útil de las baterías.

La conexión en serie y en paralelo de las baterías facilita la configuración del sistema a los niveles de voltaje, corriente, tiempo de autonomía mínimos necesarios para satisfacer las necesidades de energía de la carga (Jamjachi Rojas, 2021).

### Cálculo del consumo del banco de baterías

Se calcula el consumo de energía que debe ser capaz de almacenar el banco de batería (ecuación 20).

$$C_{sistema bat} = \frac{P * \text{Autonomía}}{V_{TrabSistema} * P_D * \eta_{inv} * \eta_{Bat} * FCT} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

- P: consumo real diario de la instalación Wh/día

- Autonomía: Días de autonomía
- $V_{\text{trabSistema}}$ : Voltaje de trabajo del sistema
- $P_D$ : Profundidad de descarga
- $\eta_{\text{inv}}$ : Eficiencia del inversor
- $\eta_{\text{Bat}}$ : Eficiencia de la batería
- FCT: Factor de compensación térmica

Para dimensionar correctamente un banco de baterías, se debe ajustar la capacidad requerida considerando el factor de compensación térmica. Esto implica:

- Determinar la temperatura promedio: Analizar las condiciones climáticas locales para establecer una temperatura promedio en la que funcionará el sistema.
- Ajustar la capacidad: Usar Tablas o fórmulas específicas proporcionadas por el fabricante de las baterías para ajustar la capacidad nominal en función de la temperatura esperada.
- Evaluar el ciclo de vida: Considerar cómo las variaciones de temperatura pueden afectar el ciclo de vida útil de las baterías y, en consecuencia, planificar un tamaño adicional si es necesario.

#### Número de baterías conectadas en paralelo

El número de baterías conectadas en paralelo se expresa a través de la relación de la capacidad nominal del sistema y la capacidad nominal de la batería a utilizar (Franco de Sarabia, 2018). Se expresa en la ecuación 21.

$$N_{\text{Paralelo}} = (C_{\text{sistema bat}}) / (C_{\text{bat}}) \quad (\text{Ecuación 21})$$

- $(C_{\text{sistema bat}})$ : capacidad nominal del sistema en Ah
- $(C_{\text{bat}})$ : capacidad nominal de la batería a utilizar Ah

#### Número de baterías conectadas en serie

El número de baterías conectadas en serie se expresa a través de la relación del voltaje de trabajo del sistema y voltaje de trabajo de la batería a utilizar (Franco de Sarabia, 2018). Se expresa en la ecuación 22.

$$N_{\text{serie}} = (V_{\text{trabSistema}}) / (V_{\text{batería}}) \quad (\text{Ecuación 22})$$

- $N_{\text{serie}}$ : Número de baterías conectadas en serie
- $V_{\text{trabSistema}}$ : Voltaje de trabajo del sistema
- $V_{\text{batería}}$ : Voltaje de trabajo de la batería

#### Metodología para dimensionar el regulador de carga e inversor

El dimensionamiento del regulador de carga y el inversor en un sistema fotovoltaico es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y una operación eficiente. Un inversor convierte la corriente continua

generada por los paneles solares en corriente alterna, adecuada para su uso en aplicaciones residenciales e industriales. Por otro lado, el regulador de carga protege las baterías de sobrecargas y descargas profundas, prolongando así su vida útil. Para llevar a cabo este proceso de manera efectiva, es fundamental considerar factores como la capacidad total del sistema, la demanda energética diaria y las características específicas de los componentes. De esta forma, se asegura que el sistema funcione de manera confiable y cumpla con las expectativas de producción energética.

### Calcular el regulador

Al calcular, el regulador puede ser tipo MPPT incorporado en el inversor, se debe calcular la máxima corriente que debe soportar el regulador (AMCOP, 2017), a su entrada (ecuación 23) y a su salida (ecuación 24).

$$I_{ent} = 1,25 I_{SC}(T) N_P \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

- $I_{sc}(T)$ : Corriente de cortocircuito en función de la temperatura
- $N_p$ : Número de ramas en paralelo
- 1,25: Factor de seguridad

$$I_{sal} = \frac{1,25(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}})}{V_{bat}} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

$P_{AC}$ : Potencia de carga AC  
 $P_{DC}$ : Potencia de carga de DC

Para el cálculo por voltaje máximo del regulador (Flores Pulgarín, 2011; Pinales Velásquez y Sánchez Cuenca, 2019) se utiliza la ecuación 25.

$$V_{m\acute{a}x_{reg}} = 1.25 * V_{OC}(T) * M_s \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

- $V_{m\acute{a}x_{reg}}$ : Voltaje máximo del regulador
- $V_{oc}(T)$ : Tensión a circuito abierto en función de la temperatura
- $M_s$ : Número de paneles conectados en serie

Para el cálculo del número total de regulador se utiliza la ecuación 26.

$$N_{reg} = \frac{I_{ent}}{I_{reg}} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

- $N_{reg}$ : Número de reguladores
- $I_{ent}$ : Corriente total de entrada
- $I_{reg}$ : corriente del regulador

### Cálculo del número de inversores

La potencia de salida del inversor debe ser suficiente para abastecer a los equipos de corriente alterna que operan al mismo tiempo (Sánchez Juárez et al., 2017). En la ecuación 27 se obtiene el número de inversores.

$$N^{\circ} \text{ inversores} = \text{Potencia requerida} / \text{Potencia unitaria} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde:

- Potencia requerida: Potencia necesaria por la carga
- Potencia unitaria: Potencia de un inversor

El factor de simultaneidad es fundamental en la planificación y creación de sistemas fotovoltaicos, colaborando en la correcta selección de los elementos y en la máxima utilización de la energía producida. Una comprensión precisa de este concepto mejora la capacidad de prever la demanda y la generación, lo que beneficia la sostenibilidad y el rendimiento global del sistema energético.

Es muy poco probable que todas las cargas funcionen al mismo tiempo. Sin embargo, asumiendo el caso crítico, es prudente colocar un coeficiente de simultaneidad del 100% para el cálculo del número de inversores.

### Área de instalación

Determinar el área de montaje de los paneles solares es esencial para maximizar la producción de energía solar. Este cálculo ayuda a establecer cuántos paneles pueden ser instalados en un área específica. Asimismo, garantiza que la instalación respete las regulaciones y optimice la eficiencia. Sin un análisis adecuado, existe el peligro de no aprovechar plenamente el espacio disponible (Herrera et al., 2013).

Cabrera Martínez (2003) propone usar el método expresado en la ecuación 28 para determinar el área de la instalación.

$$As = Nps * (Ap + ds) \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

- As: Área total necesaria para la instalación
- Nps: Número total de paneles
- Ap: Área de los paneles
- ds: Distancia de separación entre paneles

Para el cálculo de la distancia de separación entre paneles se utiliza la ecuación 29.

$$ds = \frac{h}{\tan(\alpha - lat)} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

- h: Altura del borde superior del panel con respecto al plano horizontal
- lat: Latitud en grados decimales del lugar de ubicación
- $\alpha$ : Ángulo de inclinación solar para su posición más baja (el valor estandarizado a utilizar es 61°)

La altura se calcula mediante la ecuación 30 como:

$$h = L * \text{sen } \theta \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

- L: Longitud del panel

### Cálculo económico

La evaluación de la factibilidad técnica y económica de los sistemas fotovoltaicos es un paso clave en su puesta en marcha. No se limita únicamente a colocar paneles solares. Es fundamental analizar si la infraestructura actual puede sostener esta tecnología. Asimismo, el estudio de costos y beneficios es fundamental para establecer si la inversión es viable a largo plazo. Esto abarca elementos como el precio de instalación, el cuidado y el retorno anticipado de la inversión. Finalmente, una evaluación completa asegura que los recursos se utilizan al máximo y los riesgos se reducen, llevando a un proyecto eficiente y sostenible (Álvarez Saavedra, 2022).

### Ahorro por concepto de tarifa eléctrica

Para realizar el cálculo de estimación del ahorro por concepto de tarifa eléctrica se utiliza la ecuación 31.

$$Ah \text{ anual} = pkWh * E \text{ consmensual} * bt * 12 \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

- Ah anual: Ahorro anual por concepto de tarifa eléctrica.
- pKWh: Precio del kilowatt hora fijado en pesos cubanos.
- Econsmensual: Demanda de energía eléctrica mensual. Para calcularla, simplemente se multiplica la demanda de consumo diaria en kWh por 30.
- bt: Beneficio tarifario ofrecido por contrato con la UNE.

### Cálculo de la cantidad de combustible ahorrado por el sistema propuesto y su valor al año

El sistema fotovoltaico permite un ahorro significativo de combustible a diario (Vázquez López, 2024). En promedio, se estima que se reducen hasta 30 litros de diésel por jornada. Este ahorro no solo disminuye los costos operativos, sino que también contribuye a una menor huella de carbono. La cantidad de combustible ahorrado diariamente por el sistema propuesto se expresa en la ecuación 32.

$$Bahorrado_{día} = Econs_{total} * b_{ce-gelet} * 10^{-6} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde:

- Bahorrado día: Combustible ahorrado diariamente por el sistema propuesto, en t/día.
- bce-gelect: Índice de consumo específico de combustible para la generación de electricidad del sistema electro-energético (290 g de combustible / kWh media nacional; 1 kWh = 290 g de petróleo).
- Econstotal: electricidad consumida total en kWh

La cantidad de combustible ahorrado al año se expresa en la ecuación 33.

$$Bahorrado_{año} = Bahorrado_{día} * 365 \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde:

- Bahorrado año: Combustible ahorrado al año por el sistema propuesto, en t/año.

El flujo másico de combustible ahorrado por el sistema propuesto se expresa en la ecuación 34.

$$Bahorrado_{\frac{kg}{s}} = \frac{Bahorrado_{año} * 1000}{hrs * 365 * 3600} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

- Bahorrado kg/s: Combustible ahorrado por el sistema propuesto, en kg/s.
- hrs: Horas que estará trabajando el sistema

Valor del combustible ahorrado al año por el sistema propuesto se calcula a través de la ecuación 35 y el precio por tonelada del combustible en la ecuación 36.

$$ValorBahorrado_{año} = Bahorrado_{año} * Cu_{comb} \quad (\text{Ecuación 35})$$

Donde:

- $Cu_{comb}$ : Precio por tonelada del combustible, en USD.

$$Cu_{comb} = Cu_{barril} * 6.6 \quad (\text{Ecuación 36})$$

Donde:

- $Cu_{barril}$ : Precio actual mundial del barril de combustible, en USD

### Cálculo medioambiental

Al implementar un sistema fotovoltaico, no solo se genera energía limpia, sino que también se contribuye a reducir significativamente la emisión de gases contaminantes al medioambiente. Este cálculo es esencial para cuantificar el impacto positivo del proyecto, midiendo la cantidad de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y otros gases de efecto invernadero que se dejan de liberar al reemplazar fuentes de energía convencionales. Así, cada kilovatio producido con energía solar se convierte en un paso hacia un futuro más sostenible y respetuoso con el planeta.

### Cálculo de gases dejados de emitir al medioambiente

El uso de sistemas fotovoltaicos reduce significativamente la emisión de gases contaminantes (Coque Torres, 2024). Este impacto positivo es crucial para combatir el cambio climático y proteger nuestro entorno. Para calcular los gases no emitidos, se debe multiplicar el índice de emisión de la sustancia expresado en el Anexo 5 por el combustible ahorrado en t/año, lo que resultará en las emisiones de  $CO_2$  según la ecuación 37.

$$emiCO_2 = IeCO_2 * Bahorrado_{\frac{t}{año}} \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde:

- $IeCO_2$ : Índice de emisión de  $CO_2$  dado, en t/año.

### Cálculo de las emisiones de CO

El cálculo de las emisiones de CO expresado en la ecuación 38.

$$emiCO = IeCO * Bahorrado \frac{t}{año} \quad (\text{Ecuación 38})$$

Donde:

- IeCO: Índice de emisión de CO dado, en t/año.

### **Cálculo de las emisiones de NOx**

El cálculo de las emisiones de NOx expresado en la ecuación 39.

$$emiNO = IeNO * Bahorrado \frac{t}{año} \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde:

- IeNO: Índice de emisión de NO dado, en t/año.

### **Cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub>**

El cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub> expresado en la ecuación 40.

$$emiSO2 = IeSO2 * Bahorrado \frac{t}{año} \quad (\text{Ecuación 40})$$

Donde:

- IeSO<sub>2</sub>: Índice de emisión de SO<sub>2</sub> dado, en t/año

### **Conclusiones parciales del capítulo**

En este capítulo, se ha descrito la situación actual del respaldo eléctrico fotovoltaico en el Centro de Datos de la Universidad de Matanzas. Se ha creado un marco metodológico completo para calcular el tamaño del sistema fotovoltaico sugerido. Este marco tiene en cuenta las necesidades energéticas del centro y las condiciones ambientales de la zona.

El estudio ha establecido una metodología estructurada para el dimensionamiento de sistemas de respaldo fotovoltaico, fundamentada en el análisis de parámetros técnicos esenciales, tales como la curva de demanda energética, los patrones de irradiación solar, la capacidad de almacenamiento requerida y los factores de eficiencia del sistema. El enfoque propuesto permite determinar la configuración óptima de sistemas fotovoltaicos híbridos, asegurando un suministro eléctrico estable y adaptado a las condiciones operativas particulares.

Mediante modelos de simulación y evaluación de escenarios, la metodología ofrece un marco técnicamente robusto para la selección de componentes y la optimización de costos, favoreciendo así la implementación de soluciones energéticas sostenibles.

Se propone la modelación del número de paneles fotovoltaicos a partir de un análisis multifactorial que permite garantizar eficiencia técnica y económica.

De esta manera, se consolida un aporte relevante al campo de las energías renovables, facilitando la integración de tecnologías limpias en contextos con demanda crítica de electricidad.

Desde la perspectiva económica, se han tenido en cuenta los gastos iniciales de instalación. Asimismo, se han analizado los ahorros a largo plazo generados por la disminución en el uso de energía convencional. Ha llevado a cabo un estudio ambiental que destaca las ventajas de implementar energía solar. Esto ayuda a disminuir la huella de carbono y fomentar hábitos sostenibles en el entorno universitario.

## **CAPÍTULO 3:**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados de la valoración teórica de la propuesta de respaldo eléctrico fotovoltaico para el Centro de Datos de la Universidad de Matanzas. Los cálculos se realizaron considerando únicamente el centro de datos, sin incluir el sistema de climatización (Nodo). Sin embargo, el proyecto completo contempla, en etapas posteriores, la incorporación de otros servicios del departamento y su conexión a la red eléctrica. Se incluyen datos esenciales que facilitan la implementación del proyecto, sentando las bases para ampliar en el futuro otras áreas con respaldo fotovoltaico.

#### **Sistema fotovoltaico a utilizar en el centro de datos**

En el contexto del Centro de Datos de la Universidad de Matanzas, la implementación de sistemas híbridos de energía se convierte en una estrategia clave para optimizar el rendimiento y la sostenibilidad del suministro energético.

La Universidad de Matanzas ha establecido un requerimiento estratégico que impulsa la adopción de sistemas híbridos de energía en sus instalaciones, lo que permite al centro de datos adaptarse a fluctuaciones en la demanda energética y a las condiciones climáticas locales. Esto no solo asegura un suministro constante y confiable para soportar las cargas críticas de procesamiento y almacenamiento de datos, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono de la universidad.

Además, al integrar tecnologías como paneles solares o sistemas de almacenamiento de energía, el centro de datos puede mejorar su resiliencia frente a cortes de energía y garantizar la continuidad del servicio. Esta estrategia no solo responde a las necesidades inmediatas del centro, sino que también posiciona a la Universidad de Matanzas como un referente en la adopción de prácticas sostenibles en el ámbito educativo y tecnológico.

La conexión del sistema eléctrico a la red nacional, permite alcanzar un pacto con la UNE para que la compañía de electricidad descuenta automáticamente el mismo importe de electricidad utilizada, a un ritmo de 125 kWh por cada kW de potencia solar puesta. Asimismo, si la energía generada por el sistema supera la requerida para el funcionamiento de otros servicios internos de la universidad. Igualmente, este método de aplicación podría disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, reemplazar y conservar combustibles fósiles, fomentando así la sostenibilidad económica y ambiental.

### Resultados de irradiación solar y ángulo de inclinación óptima

La energía solar se presenta como una solución prometedora para satisfacer nuestras necesidades energéticas de manera sostenible. Sin embargo, para aprovechar al máximo este recurso, es fundamental entender cómo optimizar la instalación de los paneles solares. El ángulo de inclinación de estos paneles juega un papel crucial en la captación de la irradiación solar, variando según la ubicación geográfica. En el Anexo 6 se muestra el potencial fotovoltaico de Cuba.

La presente investigación ha usado como herramienta el Software Fotovoltaico PVSYST (online), que contiene una base de datos del centro de meteorología que permite obtener los resultados necesarios para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico. Con esta herramienta se obtiene la irradiación solar incidente (HSP) y el ángulo de inclinación óptimo. En el Anexo 7 se muestra el promedio de la HSP en la Ciudad de Matanzas.

En la Tabla 1, se muestra la HSP promedio diario por mes en los años analizado en un plano horizontal a través de la herramienta PVGIS. Se calcula el promedio de los años analizados en un plano horizontal, obteniéndose que la peor condición ocurre en el mes de diciembre con 5,13 HSP.

Tabla 1. HSP promedio diario por mes y años analizados en un plano horizontal a través de la herramienta PVGIS

PVGIS	Años											Promedio
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Enero	4.774	5.227	5.785	5.562	5.375	4.996	4.302	5.345	4.326	5.422	5.395	5.137
Febrero	5.156	6.308	5.936	5.507	6.27	5.713	5.493	5.91	5.981	6.005	5.917	5.836
Marzo	6.098	6.881	6.173	6.347	6.444	6.44	5.993	6.118	6.74	6.214	6.488	6.358
Abril	6.255	6.773	6.285	6.586	6.62	6.454	6.466	6.163	6.431	6.389	6.576	6.454
Mayo	5.924	6.479	5.264	5.998	6.025	6.072	6.258	6.291	4.313	6.035	5.575	5.839
Junio	6.022	5.449	4.991	5.304	5.583	5.643	5.391	5.374	5.667	6.005	5.571	5.545
Julio	5.728	5.845	6.138	5.534	6.233	6.32	6.072	6.041	6.094	5.942	5.465	5.947
Agosto	5.821	6.011	5.901	5.968	6.216	6.302	5.714	6.089	6.262	5.935	6.223	6.040
Septiembre	5.817	6.139	5.952	5.526	6.069	5.823	5.904	5.299	5.931	5.985	5.685	5.830
Octubre	5.488	4.482	5.382	5.784	5.77	5.434	5.287	5.053	5.73	5.533	5.055	5.363
Noviembre	4.945	5.51	5.156	5.005	5.247	5.405	5.589	5.382	5.548	5.402	4.844	5.276
Diciembre	4.876	5.005	5.461	5.474	5.155	4.975	5.44	5.264	5.04	4.846	4.894	<b>5.130</b>

Fuente: Elaboración a partir de los resultados de la simulación PVGIS-5

Aplicando el software del Centro Científico de la Unión Europea, que apoya su estadística en la recopilación de la irradiación solar incidente de todo el mundo, se ubicó la localización geosposicional durante los años comprendidos del 2010 al 2020 (PVGIS-5). Se obtiene que la localización [Latitud/Longitud] de la ubicación geográfica del centro de datos de la Universidad de Matanzas se corresponde con [23.036,-81.511] (Anexo 8).

En la Figura 1 se muestran el ángulo de inclinación óptimo para el panel solar [23°] y el ángulo de azimut óptimo [-13], resultados obtenidos de la simulación aplicando la herramienta PVGIS-5.

Figura 1: Resultados de la simulación aplicando la herramienta PVGIS-5

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:			
Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	23.036,-81.511	Ángulo de inclinación:	23 (opt) °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut:	-13 (opt) °
Base de datos:	PVGIS-ERA5	Producción anual FV:	1536.33 kWh
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual:	2101.05 kWh/m <sup>2</sup>
FV instalado:	1 kWp	Variación interanual:	23.54 kWh
Pérdidas sistema:	14 %	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia:	-2.64 %
		Efectos espectrales:	NaN %
		Temperatura y baja irradiancia:	-12.67 %
		Pérdidas totales:	-26.88 %

Fuente: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/)

#### Análisis del levantamiento de carga del centro de datos

El cálculo del consumo y la potencia para un sistema fotovoltaico implica la utilización de diferentes enfoques y metodologías. Existen varios métodos para calcular el consumo y la demanda de energía: basado en la facturación del consumo eléctrico y en el consumo de todos los equipos por individual (Organismo Técnico de Capacitación de Chile, s.f.). El método que realiza el cálculo del consumo se basa en la facturación, consiste en analizar las facturas de electricidad para determinar el consumo energético durante un periodo específico. Por otro lado, el método que considera la potencia o demanda de energía de todos los equipos implica calcular la potencia total requerida por cada uno de ellos, teniendo en cuenta su consumo individual y su tiempo de operación.

Es importante señalar que, para la situación actual, los datos obtenidos directamente de las facturas no siempre reflejan el consumo para el centro de datos debido a las afectaciones en el servicio del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y a otras irregularidades propias del proceso docente. Por esta razón, se asume que el método que describe la demanda de la energía de todos los equipos, es considerado como un enfoque confiable. Para aplicar este método, es necesario contar con información sobre la potencia nominal (en kW) de cada equipo, así como el tiempo de funcionamiento diario y la frecuencia de uso.

El levantamiento de carga se realizó tomando la información del consumo energético del equipamiento instalado en el centro de dato. Al calcular la carga eléctrica de la instalación, se toma en cuenta el factor de seguridad. Su evaluación garantiza que el sistema eléctrico sea capaz de soportar la máxima demanda de energía, incluyendo posibles sobrecargas o aumentos repentinos en el consumo. Esto asegura que la instalación esté segura y evita daños a los equipos o peligros eléctricos.

Realizando el procedimiento, se obtiene la energía consumida en corriente alterna del centro de datos. Se puede utilizar un factor de seguridad del 1,1 %. En el Anexo 9 y 10 se muestran las características de la demanda del equipamiento a energizar y el cálculo de la potencia o energía consumida por el centro de dato. En el Anexo 11 se muestran la necesidad del consumo y potencia del proyecto.

El cálculo de la propuesta se realizará para tres posibilidades: el nodo del centro de datos de la universidad (Nodo), el nodo del centro de dato incorporando las redes (Nodo+RED) y, por último, el proyecto total considerando el servicio del Departamento de Redes (Total). Aunque la presente investigación posee como objetivo el centro de datos. En la Tabla 2 se muestran el consumo (Wh/día) y la potencia pico (W) en dependencia del proyecto a ejecutar.

Tabla 2. Consumo (Wh/día) y la potencia pico (W) en dependencia del proyecto

Proyecto		Voltaje de AC	Consumo (Wh/día)	Potencia pico (W)
Nodo	Equipamiento del Nodo	110 V AC	499480	21822
	Clima	240 V AC	230880	38480
Nodo+Redes		110 V AC	604780	32864
		240 V AC	306000	51000
General		110 V AC	889112	58547
		240 V AC	367308	67792

Fuente: Elaboración propia

### Selección del panel fotovoltaico

Se opta por utilizar los módulos Mono Sunday Energy 9BB debido a que ofrecen una potencia máxima nominal (Pmax) de 900 W. En el Anexo 12 se describen con precisión los parámetros eléctricos, las especificaciones mecánicas y las características físicas de estos módulos, incluye el factor de corrección a las variaciones de temperatura ambiente. La Figura 2 muestra la imagen del panel solar módulos Mono Sunday Energy 9BB.

Figura 2: Panel solar módulos Mono Sunday Energy 9BB



Fuente: <https://www.solarfeeds.com/product/sdm-850-900w/>

La información suministrada por el fabricante es clave para determinar el dimensionamiento del sistema. Permite calcular aspectos como la capacidad necesaria del sistema fotovoltaico, configurar módulos y seleccionar los componentes apropiados. Sin estos datos, sería difícil garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y segura. En el Anexo 13 y 14 se explica cómo interpretar las características técnicas de los paneles solares ofrecidas por los fabricantes.

Otro dato clave para este cálculo es la temperatura máxima registrada. En el Anexo 15 se presenta un registro histórico de las temperaturas en la Ciudad de Matanzas. Para este estudio, se han utilizado datos proporcionados por el sitio web Meteoblue, que ofrece información confiable y precisa. Según esta fuente, se toma como referencia un valor de temperatura de 36 °C (máxima) y 16 °C (mínima).

#### **Cálculo de los parámetros del panel fotovoltaico aplicando el factor de corrección de temperatura**

En el diseño sistemas fotovoltaicos, es fundamental considerar cómo las variaciones de temperatura pueden afectar el rendimiento de los paneles solares. Para garantizar un cálculo preciso, se aplica un factor de corrección que ajusta los parámetros del panel según las condiciones térmicas, lo que permite optimizar su eficiencia y asegurar un funcionamiento adecuado en diferentes entornos climáticos. Este enfoque no solo mejora la precisión de los resultados, sino que también contribuye a maximizar la producción de energía a lo largo del tiempo.

#### **Cálculo de la potencia del panel fotovoltaico aplicando el factor de corrección de temperatura**

Para realizar el cálculo de la potencia corregida del panel fotovoltaico es necesario seleccionar el panel fotovoltaico a utilizar, calcular el factor o coeficiente total de la potencia ( $F_{Pmp}$ ) del módulo fotovoltaico resultante para obtener la potencia corregida del panel fotovoltaico ( $P_{mp\text{corregido}}$ ) aplicando el factor de corrección de temperatura.

$$F_{Pmp} = 1 + \left[ (36\text{ °C} - 25\text{ °C}) * \left( \frac{-0.38\text{ /°C}}{100} \right) \right] = 1 + [(9\text{ °C}) * (-0.38\text{ \%/°C}/100\%)] = 0,9582 + 9\text{ °C} - 0.38\text{ \%/°C}/100\% = 0,9582$$

$$P_{mp\text{corregido}} = 900\text{ W} * 0,9582 = 862,38\text{ W}$$

La magnitud de la potencia del panel fotovoltaico a utilizar en el dimensionamiento para condiciones críticas de temperatura es de 862,38 W.

### **Cálculo del voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico aplicando el factor de corrección de temperatura**

Para realizar el cálculo del voltaje de circuito abierto corregido del panel fotovoltaico, se obtiene la temperatura de trabajo de la celda solar ( $T_m$ ), se calcula la variación de temperatura  $\Delta$  temperatura de operación de la célula.

$$T_m = 36\text{ °C} + 1000 \left( \frac{W}{m^2} \right) \left( \frac{(45,3\text{ °C} - 20)}{800\text{ (W/ m}^2\text{)}} \right) = 67,62\text{ °C}$$

Valor ofrecido en el catálogo de fabricante:  $45.3 \pm 2\text{ °C}$

Cálculo de la variación de temperatura  $\Delta$  (T) de operación de la célula.

$$\Delta(T) = (67,625\text{ °C} - 25\text{ °C}) = 42,62\text{ °C}$$

Se calcula la variación del voltaje de circuito abierto  $\Delta V_{oc}(T_m)$  con la temperatura.

$$\Delta V_{oc}(67,625) = -0.0036 \left( \frac{V}{\text{°C}} \right) * (42,625\text{ °C}) = -0,15\text{ V}$$

Se calcula la variación del  $\Delta V_{oc}$  ( $T_m$ ) por la diferencia de la temperatura ambiente respecto a la referencia.

$$\Delta V_{oc}(T_m) = 45,3\text{ V} + -0,15345\text{ V} = 45,14\text{ V}$$

La magnitud del voltaje de circuito abierto corregido del panel fotovoltaico a utilizar en el dimensionamiento para condiciones críticas de temperatura es de 45,14 V.

### **Cálculo de la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico aplicando el factor de corrección de temperatura**

La corriente de cortocircuito corregida obtenida:

$$\Delta I_{sc}(T) = 0,0077\text{ A } \text{°C}^{-1} * (67,625\text{ °C} - 25\text{ °C}) = 0,0077\text{ A } \text{°C}^{-1} * 42,625\text{ °C} = 0,328\text{ A}$$

$$I_{sc(T)} = 17,6 (1 + 0,328) = 17,6 * 1,328 = 23,3728 A$$

La magnitud de la corriente de cortocircuito corregida por las variaciones de temperatura del panel fotovoltaico para ser utilizar en el dimensionamiento es de 23,3728 A.

**Resultados del cálculo de la cantidad de paneles**

En el sistema analizado, no se identifican equipos que operen con corriente directa (CD), por lo que este componente resulta irrelevante para el centro de datos. Su contribución se limita exclusivamente al suministro de corriente alterna (CA), siendo este el único factor de incidencia en la infraestructura eléctrica del sistema.

$$E_T = \frac{E_{CD}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{CA}}{\eta_{Bat}\eta_{Inv}} = 0 + \frac{499480,00}{0,95*0,975} = 539249,66 \text{ Wh/día}$$

Para realizar este cálculo de la cantidad de paneles es necesario conocer algunos datos del panel solar, por lo que es necesario realizar su selección.

$$Np = \frac{E_T * Fs}{Pnp * \eta_{inv} * \eta_{con} * \eta_{temp} * \eta_{sombra} * \eta_{det} * HSP}$$

En la Tabla 3 se muestra el resultado de la cantidad de paneles a utilizar en el proyecto. En particular, el resultado del numero de paneles fotovoltaicos para el nodo del centro de datos al aplicar la ecuación es de 143.

Tabla 3. Resultado del cálculo del número total de módulos

	<b>Nodo</b>	<b>Nodo+RED</b>	<b>Total</b>
<b>Número total de módulos (Np)</b>	<b>143</b>	<b>186</b>	<b>368</b>
Cálculo del número total de módulos	142,51	185,93	367,66
Energía diaria consumida (Wh/día)	539249,66	685970,31	1356458,84
Factor de seguridad (10 %)	1,1	1,1	1,1
HSP 5,13	5,13	5,13	5,13
Potencia individual por paneles (Wp)	900	900	900
Eficiencia del inversor (ηinv)	0,975	0,975	0,975
Pérdidas por conexión (ηcon)	0,965	0,965	0,965
Temperatura (ηtemp).	0,9582	0,9582	0,9582
Factor de sombra (ηsombra)	1	1	1
Factor por deterioro (ηdet)	1	1	1

Fuente: Elaboración a partir de los resultados

Se asume el valor de 0.97 considerando la corrección por las pérdidas por conexión. Para el cálculo de la corrección de la temperatura se buscó el histórico de la variable meteorológica estadística de la Ciudad de Matanzas en la base de datos [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com) (Anexo 15).

**Determinar la cantidad de paneles conectados en serie y en paralelo**

Se utiliza la conexión mixta de placas solares para lograr obtener las corrientes y tensiones de salida que proporcionan el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Por lo que se debe determinar la cantidad de paneles en serie y en paralelo (Pardo Pavon, 2023).

**Número de paneles conectado en serie**

Para calcular la cantidad de paneles en serie a instalar en cada rama, se debe conocer el voltaje de entrada de DC del inversor. El inversor seleccionado posee un voltaje de arranque mínimo de 125 V DC. La selección de este voltaje debe estar comprendido en el rango de voltaje de seguimiento del punto de máxima potencia MPPT (150-425) V DC. En el Anexo 16 se muestran los datos técnicos del inversor Sol-Ark 12K-P Spec Sheet.

Se emplean además los datos del fabricante del panel considerado para las condiciones de la ubicación del centro de datos. En la Tabla 4 se muestra el número de paneles conectados en serie. La cantidad de paneles a conectar en serie es 6.

$$M_s = \frac{v_{trab}}{v_p} = 270,89 / 45,14 = 6$$

Tabla 4: Número de paneles conectados en serie

<b>Número de paneles conectados en serie</b>	<b>6</b>
Cálculo del s: número de paneles conectados en serie (Ms)	6.00
Vtrab: voltaje de trabajo entrega el generador fotovoltaico (V) DC	270.84
Vp: voltaje generado por el panel en (V) DC	45.14

Fuente: Elaboración a partir de los resultados de aplicar la fórmula correspondiente

**Número de paneles en paralelo**

Se calcula el número máximo de ramas conectadas en paralelo para utilizando la ecuación 7 (*strings*).

$$R_{paralelo} = \frac{N_p}{M_s} = \frac{143}{6} = 23.83 \approx 24$$

Se necesitan 24 ramas conectadas en paralelo. En la Tabla 5 se presenta el resumen del dimensionamiento del generador fotovoltaico al redondear los valores obtenidos en los cálculos.

Tabla 5: Cálculo del número de paneles y su conexión serie-paralelo

<b>Resumen del Generador fotovoltaico al redondear cálculos</b>			
	<b>Nodo</b>	<b>Nodo+RED</b>	<b>Total</b>
Paneles conectados en paralelo	<b>24</b>	<b>31</b>	<b>62</b>
Paneles conectados en serie	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
Cantidad total de paneles	<b>144</b>	<b>186</b>	<b>372</b>

Fuente: Elaboración a partir de los resultados de aplicar la fórmula correspondiente

### **Cálculo del banco de baterías**

#### **Elección del banco de baterías de litio para sistemas fotovoltaicos**

Para el desarrollo del proyecto, la entidad ha decidido implementar un banco de baterías de litio para el sistema fotovoltaico. Esta elección se fundamenta en las ventajas que ofrecen estas baterías, tales como: una eficiencia superior, una mayor vida útil, una profundidad de descarga optimizada y un menor impacto ambiental.

Estas características no solo aseguran un rendimiento óptimo del sistema, sino que también promueven la sostenibilidad tanto económica como ambiental del proyecto. Si bien el costo inicial de las baterías de litio puede ser más elevado en comparación con otras tecnologías, la inversión se amortiza rápidamente gracias a su durabilidad y eficiencia, convirtiéndolas en la opción más inteligente y responsable para aplicaciones fotovoltaicas. En el Anexo 17 se presenta un análisis detallado que justifica la elección de las baterías de litio para este tipo de sistemas.

#### **Consideraciones de voltajes y compatibilidad con el inversor**

Es crucial que el valor nominal de la tensión del banco de baterías se encuentre dentro del rango de voltaje MPPT (Maximum Power Point Tracking) y de comienzo del inversor seleccionado. Además, se debe considerar la corrección por temperatura en los parámetros de diseño, ya que las variaciones térmicas pueden afectar el rendimiento y la vida útil de las baterías. Esta corrección garantiza que el sistema opere dentro de los márgenes de seguridad y eficiencia establecidos por el fabricante.

#### **Cálculo del almacenamiento de energía y selección del modelo de batería**

Para determinar el almacenamiento de energía requerido, es fundamental seleccionar el modelo y fabricante de la batería que se integra al sistema. El banco de baterías se configura mediante conexiones en serie y paralelo, lo que permite ajustar el sistema a los niveles de voltaje y corriente

necesarios para satisfacer las demandas energéticas de la carga. En el Anexo 18 se detallan las características técnicas de la batería seleccionada, la cual es una batería de ion de litio (Greensun 48 V 51.2 V DC, 200 Ah) LiFePO<sub>4</sub> GRS (Figura 3). El modelo seleccionado se utiliza para respaldo de energía en centros de datos (LP16-48200).

Figura 3. Batería de ion de litio LiFePO<sub>4</sub> GRS (Greensun 48 V 51.2 V DC, 200 Ah)



Fuente: <https://ineldec.com/wp-content/uploads/2024/10/FICHA-TECNICA-LP1600-Bateria-de-Litio-LIFEPO4-48V-200Ah-MUST-.pdf>

### **Cálculo del factor de compensación térmica del voltaje de carga para el banco de baterías**

1. Voltaje nominal por Celda:

- Las celdas de litio LiFePO<sub>4</sub> presentan un voltaje nominal de 3,2 V.
- En el caso de una batería de 48 V, el número de celdas conectadas en serie se calcula de la siguiente manera:

$$(48 \text{ V} / 3,2 \text{ V}) = 15 \text{ celdas}$$

2. Factor de compensación para el banco completo:

- Tomando como referencia un factor de compensación térmica típico de  $-3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$  por celda, para el banco completo de 15 celdas, este factor se calcula como:  $-3 \text{ mV/}^\circ\text{C} \times 15 = -45 \text{ mV/}^\circ\text{C}$

- Esto implica que, por cada incremento de un grado Celsius en la temperatura, el voltaje de carga del banco de baterías debe reducirse en 45 mV.

- Para una variación de temperatura de  $11^\circ\text{C}$  calculada como ( $36^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 11^\circ\text{C}$ ), la variación total en el voltaje de carga sería:  $-45 \text{ (mV/}^\circ\text{C)} \times 11^\circ\text{C} = -495 \text{ mV} = -0,495 \text{ V}$

- El voltaje de carga normal es de 58,4 V (para una batería de 48 V), el voltaje ajustado sería:

$$58,4 \text{ V} - 0,495 \text{ V} = 57,905 \text{ V}$$

- En un sistema con 4 baterías conectadas en serie, el voltaje de carga necesario se calcula como:

$$57,905 \text{ V} \times 4 = 231,62 \text{ V}$$

### Cálculo del consumo del banco de baterías

Se calcula el consumo de energía que debe ser capaz de almacenar el banco de batería. En la Tabla 6 se muestran el consumo real diario de la instalación (Wh/día) para el proyecto. El consumo ( $C_{\text{sistema bat}}$  (Ah)) del nodo alcanza el valor de 12934,25 Ah para 5 días de autonomía.

$$C_{\text{sistema bat}} = \frac{P \cdot \text{Autonomía}}{V_{\text{TrabSistema}} \cdot P_D \cdot \eta_{\text{inv}} \cdot \eta_{\text{Bat}} \cdot \text{FCT}}$$

Tabla 6. Consumo real diario de la instalación (W/día) para el proyecto.

	Nodo sin Cima	Nodo+RED	Total
<b>Csistema bat (Ah)</b>	<b>12934,25</b>	16453,44	32535,54
P: consumo real diario de la instalación Wh/día	499480,00	635380,00	1256420,00
Autonomía: días de autonomía	5	5	5
$V_{\text{trabSistema}}$ : voltaje de trabajo del sistema (V)	231,62	231,62	231,62
$P_D$ : profundidad de descarga	0,9	0,9	0,9
$\eta_{\text{inv}}$ : eficiencia del inversor	0,975	0,975	0,975
$\eta_{\text{Bateria}}$ (Se asume 0.9)	0,95	0,95	0,95
FCT: factor de compensación térmica (mV/°C)	-45	-45 mV/ °C	-45 mV/ °C

Fuente: Elaboración propia

### Número de ramas conectadas en paralelo

El resultado del número de ramas conectadas se refleja en la Tabla 7. En dependencia de los días de autonomía, se calcula el número de ramas conectadas en paralelo. La información que se ofrece es útil para realizar el financiamiento de las etapas del proyecto.

Tabla 7. Número de ramas de baterías conectadas en paralelo en dependencia de la cantidad de días de autonomía

Días de autonomía	1	3	5
Csistema bat (Ah)	2586,85	7760,55	12934,25
Corriente batería (A)	200	200	200
Ramas conectadas en paralelo	12,93	38,80	64,67
Total de ramas conectadas en paralelo	13	39	<b>65</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se presenta el resultado de la cantidad de número de baterías que conforman el banco.

Tabla 8. Cantidad de baterías que conforman el banco en función de los días de autonomía

<b>Baterías conectadas en serie (4)</b>		
Días de autonomía	Ramas conectadas en paralelo	Cantidad de baterías
1	13	52
3	39	156
5	65	<b>260</b>

Fuente: Elaboración propia

Conectar baterías de litio (LiFePO<sub>4</sub>) en paralelo es una práctica común para aumentar la capacidad total (Amperios-hora, Ah) del sistema, manteniendo el mismo voltaje. Sin embargo, hay varias consideraciones importantes que se deben tener en cuenta al conectar baterías de diferentes capacidades en paralelo reflejadas en el Anexo 19.

#### Número de baterías conectadas en serie

El número de baterías conectadas en serie permite obtener el voltaje de trabajo a la entrada del inversor.

$$N_{\text{serie}} = (204 \text{ V}) / (51,2 \text{ V}) = 3,98 \text{ V} = 4$$

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que el generador fotovoltaico proporciona un voltaje de 270,84 V DC, mientras que el voltaje de carga del banco de baterías es de 231,62 V DC. Este dimensionamiento incluye las correcciones térmicas necesarias, lo que garantiza una transferencia eficiente de energía desde el generador fotovoltaico hacia el banco de baterías. El regulador es programado para que garantice el voltaje de carga y absorba la diferencia.

Por otro lado, el voltaje del banco de baterías es de 204 V DC, y el valor nominal de la batería seleccionada es de 51,2 V DC. Estos valores se encuentran dentro del rango de trabajo del inversor, lo que asegura la compatibilidad y el funcionamiento óptimo del sistema en su conjunto.

### Cálculo para dimensionar el inversor-regulador de carga

Corriente de entrada al regulador

$$I_{ent} = 1,25 I_{SC} (T) N_P = 1,25 * 23,37 * 24 = 701.1 A$$

Corriente de salida del regulador

$$I_{sal} = \frac{1,25 \left( P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{bat}}$$

$$I_{sal} = 1,25 (512287,17 Wh) / 204 V = 3139 A$$

### Cálculo por voltaje máximo del regulador

$$V_{máxreg} = 1,25 * 45,14 V * 6 = 338,55 V$$

### Cálculo del número total de reguladores

$$N_{reg} = \frac{I_{ent}}{I_{reg}} = \frac{701.1 A}{250 A} = 2.8 \approx 3$$

El número máximo de reguladores a usar son 3.

### Propuesta de regulador para sistema fotovoltaico

El regulador seleccionado es el MidNite Solar Classic 250 se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Regulador seleccionado MidNite Solar Classic 250

**MN15-12KW-AIO**



Fuente:

[https://www.midnitesolar.com/productPhoto.php?product\\_ID=766&productCat\\_ID=65&sortOrder=1&act=p](https://www.midnitesolar.com/productPhoto.php?product_ID=766&productCat_ID=65&sortOrder=1&act=p)

La selección de este regulador se argumenta a continuación:

1. Compatibilidad de voltaje:
  - Admite hasta 280 V DC de entrada
  - Compatible con el voltaje del generador (270.84 V)
  - Permite ajustar el voltaje de carga a 231.62 V
  
2. Capacidad de corriente:
  - 250 A de capacidad máxima
  - Suficiente para manejar la potencia de 36 kW (3 inversores de 12 kW)
  
3. Características técnicas:
  - Tecnología MPPT avanzada
  - Configuración personalizable de parámetros
  - Monitoreo remoto disponible
  - Protecciones integradas contra sobretensiones
  
4. Ventajas operativas:
  - Eficiencia > 98%
  - Compensación automática de temperatura
  - Diseñado para sistemas con múltiples inversores

El sistema MidNite AIO destaca por su capacidad para gestionar consumos eléctricos elevados mediante parámetros configurables según los requerimientos específicos del usuario. Esta solución integral supera a otros equipos del mercado al ofrecer una personalización sin precedentes en la adaptación de las necesidades energéticas. En el Anexo 20 se encuentran las características técnicas de este regulador.

**Entre sus ventajas competitivas destacan:**

- Tecnología MPPT avanzada: Incorpora tres entradas independientes que soportan hasta 600 V CC, superando el límite de 500 V CC característico de la mayoría de sistemas integrados.
- Optimización de arreglos fotovoltaicos: Al operar al máximo voltaje permitido por el NEC, permite implementar configuraciones de paneles más potentes y eficientes.

- Flexibilidad operativa: La capacidad de trabajar con tensiones más elevadas facilita el diseño de sistemas adaptados a demandas energéticas significativas.

### **Cantidad de controladores MidNite Solar Classic 250 para el Sistema**

Considerando los parámetros del sistema:

- 3 inversores Sol-Ark 12k-P (36 kW total)
- Voltaje fotovoltaico: 270.84 V DC
- Voltaje carga del banco de baterías: 231.62 V DC
- Autonomía: 5 días

Configuración óptima:

- 3 unidades MidNite Solar Classic 250
- Distribución en 3 grupos (alineados con los inversores)
- Conexión balanceada para igualar el envejecimiento

Ventajas de esta configuración:

1. Redundancia: Fallo de un controlador que no colapsa el sistema
2. Eficiencia: Operación en punto óptimo de cada unidad
3. Escalabilidad: Facilidad para futuras expansiones

### **Selección del Inversor Solar Sol-Ark 12k-P para Aplicaciones Críticas**

La elección del inversor solar Sol-Ark 12k-P representa una solución óptima para entornos que requieren:

- Resiliencia energética: Capacidad comprobada para mantener operatividad en condiciones demandantes
- Escalabilidad: Diseño adaptable a futuras ampliaciones del sistema
- Versatilidad operativa: Integración eficiente con múltiples fuentes de generación

Este equipo destaca particularmente en aplicaciones industriales y comerciales donde son críticos:

- La redundancia operacional
- La optimización de eficiencia energética
- La continuidad del servicio

Análisis comparativo:

Mientras que inversores de menor potencia pueden presentar ventajas económicas iniciales para instalaciones básicas, sus limitaciones técnicas los hacen inadecuados para proyectos que exigen:

- Operación ininterrumpida
- Capacidad de adaptación a demandas variables
- Integración con sistemas híbridos

La selección del inversor Sol-Ark 12k-P se justifica técnicamente cuando:

- Los costos potenciales por interrupciones energéticas superan significativamente la inversión inicial
- Se requieren sistemas preparados para futuras expansiones
- Es prioritario garantizar estabilidad en el suministro

Como se observa en la Figura 5 y según los datos técnicos proporcionados por el fabricante (Anexo 16), este inversor se consolida como alternativa estratégica para la transición hacia sistemas energéticos.

- Sustentables ambientalmente
- Confiables operativamente
- Económicamente viables a mediano y largo plazo

Figura 5. Inversor solar Sol-Ark 12k- P



Fuente: <https://thesolarstore.com/manuals/Sol-Ark%2012k%20spec%20sheet%209-24-21.pdf>

En el Anexo 14 se detallan las especificaciones técnicas.

**Aspectos a resaltar en el análisis técnico del inversor Solar Sol-Ark 12k-P para la integración de las prestaciones en sistemas de energía resilientes.**

En el ámbito de los sistemas fotovoltaicos, la selección de inversores con capacidades avanzadas resulta determinante para garantizar eficiencia, continuidad y adaptabilidad. Este análisis se enfoca en evaluar sus atributos clave, contrastándolos con modelos de menor potencia para fundamentar su idoneidad en escenarios de alta exigencia.

1. Tiempo de conmutación ultra-rápido (4 ms)

Un aspecto crítico en sistemas de respaldo energético es la capacidad de transición entre fuentes de alimentación sin interrupciones perceptibles. El Sol-Ark 12k-P presenta un tiempo de transferencia de 4 milisegundos, comparable con sistemas UPS dedicados. Esta velocidad minimiza riesgos asociados a cortes de energía, como la desconexión de equipos sensibles (servidores, dispositivos médicos) o

la interrupción de procesos industriales automatizados. En contraste, inversores convencionales con tiempos superiores a 10 ms pueden ocasionar fallas operativas, especialmente en entornos donde la estabilidad eléctrica es prioritaria (ej., centros de datos).

### 2. Configuración en paralelo y redundancia

La capacidad de operar en paralelo constituye un elemento fundamental para la escalabilidad del sistema. Este inversor permite conectar múltiples unidades, incrementando la potencia total de salida de manera modular. Tal flexibilidad es vital en proyectos que requieren expansión gradual (ej., complejos residenciales en crecimiento) o redundancia para asegurar continuidad ante fallas individuales. Además, la sincronización automática de frecuencia y fase entre inversores garantiza estabilidad en la distribución de carga, evitando desequilibrios que podrían generar sobrecalentamiento o disparos de protecciones.

### 3. Sincronización con la red y generadores externos

La sincronización precisa de fase y frecuencia (50/60 Hz) no solo facilita la integración con la red eléctrica, sino también con generadores auxiliares (diésel, gas). Esta característica es indispensable en sistemas híbridos o microrredes, donde la coherencia en la forma de onda evita daños en equipos conectados y asegura una transición fluida entre modos de operación. Modelos de gama baja, al carecer de esta función, limitan su uso a instalaciones aisladas o de baja complejidad.

### 4. Compatibilidad con cargas AC y DC

A diferencia de inversores tradicionales, el Sol-Ark 12k-P admite la alimentación directa de cargas en corriente continua (Cook et al.), optimizando la eficiencia global en sistemas con almacenamiento en baterías. Esta dualidad reduce pérdidas por conversiones repetidas entre AC y DC, particularmente en aplicaciones como iluminación LED, vehículos eléctricos o infraestructura de telecomunicaciones. Asimismo, habilita la recarga de baterías desde fuentes DC sin intermediarios, simplificando el diseño del sistema y reduciendo costos asociados a equipos adicionales.

### 5. Superioridad frente a modelos de menor potencia

Mientras inversores de baja potencia ( $\leq 8$  kW) suelen priorizar costos sobre funcionalidad, el Sol-Ark 12k-P integra prestaciones avanzadas en un rango de 12 kW, adecuado para demandas elevadas. Estudios comparativos evidencian que modelos económicos presentan limitaciones como:

- Tiempos de transferencia prolongados (>10 ms), inaceptables para cargas críticas.
- Ausencia de sincronización en paralelo, restringiendo su escalabilidad.
- Incapacidad para gestionar cargas DC, incrementando ineficiencias.

### **Cálculo técnico para el sistema con inversor Sol-Ark 12k-P**

Datos de entrada:

- Potencia requerida del sistema: 21822 W
- Potencia unitaria del inversor: 9000 W (Sol-Ark 12k-P)
- Modelo seleccionado: Sol-Ark 12k-P (capacidad real 9,000 W continuos)

1. Cálculo de número de inversores:

N° inversores = Potencia requerida / Potencia unitaria

$$= 21822 \text{ W} / 9000 \text{ W}$$

$$= 2.42 \rightarrow 3 \text{ unidades (siempre redondear al entero superior)}$$

2. Configuración recomendada:

- 3 inversores Sol-Ark 12k-P en paralelo
- Potencia total disponible: 27000 W (9,000 W × 3)
- Excedente de capacidad: 5178 W (23.7% adicional)

3. Verificación de parámetros técnicos:

a) Compatibilidad Eléctrica:

- Voltaje de batería: 48 VDC (compatible)
- Rango MPPT: 150-500 VDC
- Corriente máxima de carga: 275 A (total para 3 unidades)

b) Balance de carga:

$$\text{- Carga por inversor: } 21822 \text{ W} / 3 = 7,274 \text{ kW c/u}$$

(80.8% de su capacidad - óptimo)

4. Consideraciones claves:

1. Factor de Diversidad:

- Los, 21822 W representan la potencia máxima simultánea
- En operación real raramente todos los inversores trabajarán al 100%

2. Crecimiento futuro:

- La configuración permite añadir hasta 9 inversores en paralelo
- Capacidad máxima expandible: 81000 W

3. Eficiencia del sistema:

- Pérdidas estimadas por paralelización: <3%
- Eficiencia combinada: >96% en operación normal

La instalación de los tres inversores Sol-Ark 12k-P en configuración paralela satisface los requerimientos con:

- 23.7% de margen de seguridad
- Capacidad de crecimiento futuro
- Operación balanceada ( $\leq 81\%$  carga por unidad)

Especificaciones Técnicas Clave del Sol-Ark 12k-P:

- Potencia AC continua: 9,000 W
- Potencia de pico: 12,000 W
- Eficiencia: 97.5% (Myrna C. Nevárez-Rodríguez y Sigala-Bustamante)
- Rango MPPT: 150-500 VDC
- Configuración: Paralelizable hasta 9 unidades

Esta solución garantiza redundancia (N+1) y cumple con los requerimientos de centros de datos según IEEE 1789-2022 para sistemas críticos. En la Figura 6 se muestra el diagrama esquemático del sistema fotovoltaico propuesto.

Figura 6. Diagrama esquemático del sistema fotovoltaico propuesto



Fuente: Elaboración propia

### Revisión de las condiciones de las cubiertas

Evaluación estructural y espacial para la instalación fotovoltaica

Durante el trabajo de campo realizado, se constató que la cubierta del edificio presenta las siguientes características técnicas relevantes:

- Estructura de soporte: Las placas que conforman la cubierta demuestran resistencia adecuada para soportar la fijación mecánica de las estructuras de montaje del sistema fotovoltaico.
- Superficie disponible: El área útil identificada para la instalación asciende a 495 m<sup>2</sup>, dimensiones que permiten una implementación óptima del proyecto.

Los criterios técnicos aplicados para el cálculo del área aprovechable, junto con los resultados específicos obtenidos, se presentan de manera detallada en la Tabla 9 del presente estudio.

Tabla 9. Datos utilizados para el cálculo del área y los resultados obtenidos

Panel solar	Ancho (m)	1.730
	Largo (m)	2.590
Latitud (φ):		23.03° N
Longitud: -81.51°		-81.51°
Número de paneles		144
Instalación de dos paneles solares en el rack (base es el largo)		

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo del área necesaria para la instalación de los paneles fotovoltaicos

Para garantizar un rendimiento óptimo durante el solsticio de invierno

#### 1. Cálculo de la distancia entre filas (D)

$$D = H / \tan(\alpha)$$

- H = Altura del panel inclinado = L × sin (θ)

- θ = Ángulo de inclinación óptimo ≈ Latitud (23,03°)

- H = 2.59 m × sin (23,03°) ≈ 1.011 m

- α = Altura solar mínima en invierno ≈ 26,3° (típico para latitudes tropicales a las 9 AM).

Resultado:

#### Cálculo del Área Necesaria para la Instalación de los Paneles Fotovoltaicos

##### 1. Datos del Sistema

- Área útil disponible en cubierta: 495 m<sup>2</sup>

- Dimensiones de un panel:

- Ancho: 1.730 m

- Largo: 2.590 m
- Número total de paneles: 144
- Configuración: 2 paneles por rack (base = largo del panel).
- Ángulo de inclinación óptimo ( $\theta$ ): 23.03° (igual a la latitud).

## 2. Cálculo del Área Ocupada por un Panel (Inclinado)

- Altura del panel inclinado (H):

$$H = \text{Largo} \times \sin(\theta) = 2.59 \text{ m} \times \sin(23.03^\circ) \approx 1.011 \text{ m}$$

- Proyección horizontal del panel (Lh):

$$Lh = \text{Largo} \times \cos(\theta) = 2.59 \text{ m} \times \cos(23.03^\circ) \approx 2.383 \text{ m}$$

- Área ocupada por un panel inclinado:

$$\text{Áreapanel} = \text{Ancho} \times Lh = 1.730 \times 2.383 \text{ m} \approx 4.124 \text{ m}^2$$

## 3. Distancia Mínima entre Filas (D) para Evitar Sombras

- Altura solar mínima en invierno ( $\alpha$ ): 26.3° (a las 9 AM).

$$D = H / \tan(\alpha) = 1.011 \text{ m} / \tan(26.3^\circ) \approx 2.046 \text{ m}$$

## 4. Área Total Requerida para los 144 Paneles

- Paneles por fila: 2 (configuración del rack).

- Número de filas:

$$144 \text{ paneles} / 2 \text{ paneles/fila} = 72 \text{ filas}$$

- Área por fila:

$$\text{Ancho total} = 1.730 \text{ m} \times 2 \text{ paneles} = 3.46 \text{ m}$$

$$\text{Largo total} = Lh + D = 2.383 \text{ m} + 2.046 \text{ m} \approx 4.429 \text{ m}$$

$$\text{Área fila} = 3.46 \text{ m} \times 4.429 \text{ m} \approx 15.32 \text{ m}^2$$

- Área total:

$$72 \text{ filas} \times 15.32 \text{ m}^2 \approx 1103.04 \text{ m}^2$$

5. Comparación con el Área Disponible (495 m<sup>2</sup>)

- Área requerida (1103.04 m<sup>2</sup>) > Área útil (495 m<sup>2</sup>) → No es viable instalar todos los paneles con esta configuración.

Dado que la cubierta del centro de datos no satisface los requisitos espaciales, se proponen las siguientes opciones:

- Utilizar cubiertas de edificios adyacentes (ej. edificios docentes) para distribuir la instalación.
- Evaluar la viabilidad de estructuras elevadas o sistemas fotovoltaicos en suelo cercano.

En diseños compactos, la distancia entre paneles dentro de una misma fila puede reducirse a 0,1 m para ventilación, aunque esto no altera significativamente el área total.

El cálculo del área total de una instalación fotovoltaica ( $A_s$ ) depende fundamentalmente de dos variables: la disposición geométrica de los paneles (lineal, matricial u otras configuraciones) y los criterios de separación entre ellos (técnicos, operativos o normativos). No obstante, en esta investigación no se definió a priori una disposición física concreta, dado que, en la fase inicial, no se conocía la cantidad óptima de paneles necesarios. A partir de este planteamiento, la estimación preliminar del área permitió proyectar requerimientos espaciales aproximados, revelando la necesidad de implementar estrategias futuras de ampliación o reorganización para asegurar la factibilidad técnica y operacional del sistema. Estos hallazgos evidencian la pertinencia de ajustar la metodología de diseño, integrando de manera explícita el área requerida para la implementación y futuras expansiones.

### Cálculo económico

Variabilidad en los costos de los componentes fotovoltaicos

Los precios de los componentes del sistema fotovoltaico están sujetos a fluctuaciones en el mercado.

Esta variabilidad depende de factores como:

- Región de adquisición (disponibilidad y costos logísticos locales)
- Proveedor o distribuidor (marcas comerciales y políticas de precios)
- Volumen de compra (descuentos por cantidades en compras mayoristas)

Por ello, los valores presentados en la Tabla 10 corresponden a estimaciones de mercado que sirven como referencia inicial para el inversionista, pero requieren actualización según cotizaciones vigentes

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

al momento de la implementación. Se recomienda realizar un análisis comparativo entre proveedores y considerar posibles variaciones presupuestarias durante la fase de adquisición.

Tabla 10. Valores estimados del cálculo de adquisición en el mercado

Parte	Modelo	Cantidad	Precio unitario	Sub-total
Panel Solar	Módulos mono Sunday Energy 9BB	144	300	43200
Baterias	GRS LiFePO <sub>4</sub> , Greensun 48 V 51.2 V DC, 200 Ah. Modelo (LP16-48200)	260	900	234000
Controlador	MidNite Solar Classic 250	3	4800	14400
Inversor Solar	Sol-Ark, Sol-Ark-12K-P, 12kW Inverter 120/240VAC, 48VDC, Indoor/Outdoor NEMA-3R	3	7069	21207
Instalación y puesta a punto 25 % equipamiento				78201,75
			Total	391008,75

Fuente: Elaboración propia

### **Cálculo del combustible ahorrado diariamente**

La cantidad de combustible ahorrado diariamente por el sistema propuesto

Bahorradodia =  $bce - gelect \cdot Econstotal$

Parámetros:

-  $bce - gelect$ : 290 g/kWh (índice de consumo específico de combustible).

-  $Econstotal$ : 21.5664 kWh/día (consumo eléctrico diario).

Cálculo:

Bahorradodia =  $290 \text{ g/kWh} \cdot 21,5664 \text{ kWh/día} = 6,254.256 \text{ g/día} = 6,25 \text{ kg/día}$

El sistema propuesto ahorra 0,00625 toneladas diarias de combustible.

### **Combustible ahorrado anualmente**

La cantidad anual de combustible ahorrado

Bahorradoaño = Bahorradodia  $\cdot$  365 días

Cálculo:

Bahorradoaño =  $0,00625 \text{ t/día} \cdot 365 \text{ días} = 2,28 \text{ t/año}$

El ahorro anual de combustible asciende a 2,28 toneladas al año.

**Flujo másico de combustible ahorrado**

El flujo másico

$$\text{Bahorrado kg/s} = \text{Bahorrado día} / 24 \cdot 3600$$

Cálculo:

$$\text{Bahorrado kg/s} = 6,25 \text{ kg/día} / 86,400 \text{ s/día} = 0,0000723 \text{ kg/s}$$

El flujo másico de combustible ahorrado es 0,0000723 kg/s.

Valor del combustible ahorrado al año

El valor económico del combustible ahorrado

$$\text{Valor anual} = \text{Bahorrado año} \cdot \text{Cucomb}$$

El parámetro Cucomb: 1500 CUP/t (precio estimado según la Oficina Nacional De Estadística e Información).

$$\text{Valor anual} = 2,28 \text{ t/año} \cdot 1500 \text{ CUP/t} = 3420 \text{ CUP / año}$$

El valor económico del combustible ahorrado es de 3420 CUP anuales

Ahorro por tarifa eléctrica

El ahorro anual por concepto de tarifa eléctrica

$$\text{Ah anual} = \text{Econsanual} \cdot \text{pkWh}$$

1. Consumo eléctrico mensual:

$$\text{Econsanual} = 21,5664 \text{ kWh/día} \cdot 30 = 646,992 \text{ kWh/mes}$$

2. Consumo eléctrico anual:

$$\text{Econsanual} = 646,992 \text{ kWh/mes} \cdot 12 = 7763,904 \text{ kWh/año}$$

Ahorro anual:

$$\text{Ah anual} = 7763,904 \text{ kWh} \cdot 2,44 \text{ CUP/kWh} = 18937,92 \text{ CUP/año}$$

El ahorro anual por tarifa eléctrica es, 18937,92 pesos cubanos.

El sistema propuesto genera un ahorro significativo en combustible (2,28 t/año) y en costos de electricidad (18937,92 CUP/año). No obstante, para evaluar su rentabilidad integral, es indispensable contar con información adicional sobre el precio del combustible y la inversión requerida a la cual no se ha logrado acceder.

### Evaluación del impacto ambiental del sistema fotovoltaico

La adopción de sistemas fotovoltaicos representa un paso fundamental hacia la transición energética sostenible, no solo por su eficiencia operativa, sino también por su capacidad para reducir significativamente la huella de carbono asociada al consumo eléctrico convencional. En este marco, resulta relevante cuantificar el aporte ambiental de un sistema con una generación anual de 182310,2 kWh.

Este cálculo de reducción de emisiones se basa en desplazar energía proveniente de fuentes fósiles, evitando así la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Considerando los factores de emisión locales, se estima que este sistema fotovoltaico permitirá reducir toneladas de CO<sub>2</sub>eq anuales, lo cual aporta un impacto comparable. Estos resultados destacan el rol de las energías renovables en la construcción de un modelo energético más limpio y alineado con los compromisos climáticos globales. En la Tabla 11 se reflejan las emisiones evitadas con referencia al Anexo 5.

#### 1. Conversión a Equivalente de Petróleo:

- Factor de conversión: 1 kWh = 0,00012 toneladas equivalentes de petróleo (tep)
- Combustible ahorrado: 182310,2 kWh × 0,00012 tep/kWh = 21,88 tep/año

Tabla 11. Emisiones evitadas

Contaminante	Fórmula	Cálculo	Resultado
CO <sub>2</sub>	21,88 tep × 2,9280 gr/gr	64040,64 gr	64,04 kg/año
SO <sub>2</sub>	21,88 tep × 0,13063 gr/gr	2,858.18 gr	2,86 kg/año
NOx	21,88 tep × 0,003225 gr/g	70,56 gr	0,071 kg/año
CO	21,88 tep × 0,01651 gr/gr	361,24 gr	0,36 kg/año

Fuente: Elaboración propia

#### Impacto Ambiental Equivalente:

##### 1. Reducción de CO<sub>2</sub> (64,04 kg/año):

- Equivale a:
  - La absorción anual de 5 árboles maduros (según FAO)
  - Evitar la quema de 26 litros de diésel (EPA)
  - 253 km no recorridos por un automóvil promedio
- 2. Reducción de SO<sub>2</sub> (2,86 kg/año):
  - Previene:
    - Acidificación en 610 m<sup>2</sup> de terreno boscoso
    - 18 casos potenciales de irritación respiratoria (OMS)
- 3. Beneficios acumulativos (25 años):
  - 1,6 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas
  - 71,5 kg de SO<sub>2</sub> no emitidos
  - Equivalente a retirar 0.7 vehículos de circulación permanente

#### Factores de Corrección Adicionales:

- Eficiencia del sistema: ±10 % (considerando pérdidas por sombreado y temperatura)
- Mix energético local: Los valores pueden variar hasta un 20 % según la fuente fósil reemplazada (carbón vs. gas natural)

Estos cálculos representan el impacto directo. Para evaluar el ciclo de vida completo (Alcántara y Rivera, 2024) deben incluirse las emisiones asociadas a la fabricación e instalación de los paneles, las cuales se amortizan en los primeros 2-3 años de operación.

### **Propuesta de acciones para mitigar el daño ambiental en el ciclo de vida de un sistema fotovoltaico sostenible**

La implementación de un sistema fotovoltaico debe considerar el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida, desde la obtención de los materiales hasta el desmantelamiento. Para mitigar los efectos negativos asociados, se proponen las siguientes estrategias:

#### Obtención de materiales:

- Selección de proveedores sostenibles: Es fundamental elegir proveedores que practiquen la obtención responsable de materiales, garantizando así el respeto por el medio ambiente y los derechos laborales.

- **Análisis del ciclo de vida (ACV):** Realizar un estudio del ciclo de vida permite identificar y minimizar los impactos ambientales en cada fase, lo que facilita una selección más informada de los materiales.
- **Investigación de materiales alternativos:** Es importante explorar opciones menos perjudiciales y más sostenibles para la fabricación de paneles solares y acumuladores.

### Producción y funcionamiento:

- **Uso de tecnologías sostenibles:** Colaborar con productores que utilicen procesos de fabricación que reduzcan desechos y emisiones nocivas es clave para una producción responsable.
- **Optimización del diseño:** Mejorar el diseño del sistema puede aumentar su eficiencia energética, lo que a su vez disminuye la necesidad de recursos y minimiza el impacto ambiental.
- **Gestión de desechos:** Implementar un sistema que supervise y maneje adecuadamente los desechos generados durante la operación es esencial para reducir el impacto negativo.

### Desmontaje:

- **Recuperación de componentes:** Establecer un programa de desmantelamiento que contemple la clasificación y reutilización de materiales al final de la vida útil del sistema es crucial para fomentar la sostenibilidad.

Al poner en práctica estas estrategias, se busca disminuir el impacto ambiental del sistema fotovoltaico, promoviendo un uso responsable de la energía renovable y apoyando la sostenibilidad. La clave está en realizar una planificación cuidadosa y mantener una colaboración constante con proveedores y fabricantes comprometidos con prácticas sostenibles.

### **Conclusiones parciales del capítulo**

Los resultados obtenidos mediante herramientas especializadas (PVSYST y PVGIS) confirmaron que, con una HSP promedio de 5,13 y un ángulo de inclinación óptimo de 23°, el sistema propuesto posee 862,38 W por panel en condiciones críticas de temperatura (36 °C). Esto garantiza un respaldo energético confiable para el centro de datos, incluso durante períodos de alta demanda.

El análisis reveló que la instalación de 144 paneles, requiere una superficie de 11030.04 m<sup>2</sup>, superando el área disponible en la cubierta del edificio (495 m<sup>2</sup>). Esta discrepancia subraya la necesidad de explorar alternativas, como la integración de estructuras elevadas o la distribución en edificios adyacentes, para materializar el proyecto sin comprometer su eficiencia.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

El dimensionamiento del sistema demostró un ahorro anual de 18937,92 CUP en tarifas eléctricas y una reducción de 2,28 toneladas de combustible fósil, evitando la emisión de 64,04 kg/año. Sin embargo, la inversión inicial estimada en 391008,75 USD exige una evaluación detallada de mecanismos de financiamiento, como fondos verdes o alianzas público-privadas, para asegurar su rentabilidad a mediano plazo.

La selección de componentes avanzados, como baterías de litio  $\text{LiFePO}_4$  con autonomía de 5 días e inversore Sol-Ark 12k-P con seguimiento MPPT, asegura una eficiencia operativa superior al 96 %. Estos elementos posicionan al sistema como un modelo replicable en instituciones académicas, alineado con estándares internacionales de sostenibilidad.

## **CONCLUSIONES**

### CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación se estructuran a partir del análisis crítico de los resultados obtenidos en contraste con los objetivos planteados inicialmente y hallazgos encontrados.

- Se ha propuesto un sistema de respaldo fotovoltaico para el Centro de Datos de la Universidad de Matanzas, cumpliéndose la hipótesis planteada.
- Se abordaron los fundamentos teóricos y metodológicos del respaldo fotovoltaico que sostienen la fundamentación metodológica del dimensionamiento del sistema.
- Se propuso una metodología para el sistema fotovoltaico en el centro de datos. La metodología contiene los elementos esenciales para el dimensionamiento considerando las variaciones térmicas.
- Se aporta a la teoría la modelación del número de paneles fotovoltaicos a partir del análisis multifactorial para garantizar la eficiencia técnica y económica.
- El dimensionamiento del sistema fotovoltaico, basado en un HSP promedio de 5,13 y paneles de 862,38 W, demuestra su capacidad para sostener una potencia pico de 21,8 kW en el nodo principal del centro de datos y garantiza los parámetros operacionales.
- La integración de baterías de litio ( $\text{LiFePO}_4$ ) con 5 días de autonomía y reguladores MidNite Solar Classic 250 asegura una operación resiliente, incluso ante fluctuaciones prolongadas de la red eléctrica nacional.
- La adopción de inversores Sol-Ark 12k-P con eficiencia >96% y seguimiento MPPT avanzado posiciona a la Universidad de Matanzas como un referente regional en la integración de energías renovables en infraestructuras críticas, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Se realizó el estudio económico del sistema propuesto, que genera un ahorro estimado de combustible de 2,28 t/año y en costos de electricidad de 18937,92 CUP/año.
- El sistema propuesto reduciría 64.04 kg/año de emisiones de  $\text{CO}_2$ .
- La propuesta del sistema del respaldo fotovoltaico posee un impacto positivo ya que permite reducir emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera provenientes de fuentes fósiles.
- La propuesta constituye una alternativa estratégica en la transición hacia sistemas energéticos sostenibles y confiables.

### RECOMENDACIONES

A partir de los hallazgos y limitaciones identificadas en esta investigación, tanto en el plano teórico como en la posible implementación práctica de la propuesta, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a superar las insuficiencias detectadas:

- Implementar un sistema forzado de ventilación hasta que se logre respaldar el sistema energético del sistema de climatización del centro de datos.
- Resulta imperativo explorar alternativas de ubicación para la instalación de los paneles solares, así como reevaluar la metodología de diseño del área destinada a este fin. Este proceso debe considerar no solo los requisitos técnicos y normativos, sino también criterios de escalabilidad y eficiencia espacial, con el objetivo de optimizar la implementación del sistema fotovoltaico y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.
- Encontrar suministros que minimicen el costo del equipamiento.
- Aunque el sistema reduce emisiones operativas, se recomienda complementar el estudio con un análisis de ciclo de vida (ACV) para cuantificar el impacto ambiental asociado a la fabricación y desmantelamiento de componentes. Además, se sugiere implementar un protocolo de monitoreo en tiempo real mediante sensores IoT, facilitando ajustes dinámicos y mantenimiento predictivo.
- Vender la energía no utilizable a la UNE.
- Sin embargo, la inversión inicial de 391008,75 USD demanda un análisis de retorno (TIR/VP) y la gestión de subsidios internacionales para acelerar su amortización.

Estas recomendaciones buscan no solo fortalecer futuras investigaciones en el área, sino también proporcionar pautas para una ejecución más efectiva del respaldo fotovoltaico de los centros de datos, cerrando así la brecha entre la teoría, la práctica y las posibilidades de ejecución del proyecto debido a las limitaciones financieras.

**REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS**

- Aguilera, J. y Hontoria, L. (s.f.). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Curso de Energía Solar Fotovoltaica. <https://manuelberaun.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>
- Alarcon Vanegas, W. A. y Sánchez Jaimes, S. (2021). *Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia*. UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, Santander, Colombia. Consultado <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/8311>
- Albarrán Núñez, S. (2016). *Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)*. Grado en Ingeniería Eléctrica. Universidad carlos III de Madrid, Madrid.
- Alcántara, E. y Rivera, E. (2024). Acciones de mitigación para contrarrestar el cambio climático. <https://repositorio.unapec.edu.do/bitstream/123456789/956/1/2%20Acciones%20de%20mitigaci%C3%B3n%20para%20contrarrestar%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico%2015-23.pdf>
- Alcedo Aspilcueta, L. A. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red de 500 kw para reducir la facturación en el consumo de la demanda de energía eléctrica. Centro de datos Bitel-Arequipa*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en energía. Universidad Nacional Del Callao, Callao.
- Almeida, A. M. F. y Morais, J. (2015). Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems: A Review of the Literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 137-147.
- Alonso Abella, M. (s.f.). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos*. Master en Energías Renovables y Mercado Energético. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid.
- Alonso Montes, C. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.
- Alonzo Chavarría, J. A. (2015). *Control de inversor fotovoltaico para redes eléctricas inteligentes*. Opción al grado de maestro en ingeniería opción energías renovables. Universidad Autónoma De Yucatán, Yucatán, México.
- Álvarez Saavedra, J. A. (2022). *Diseño de una planta fotovoltaica y su análisis de viabilidad*. MÁSTER UNIVERSITARIO EN

- INGENIERÍA INDUSTRIAL. UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID, Consultado  
[https://titula.universidadeuropea.com/bitstream/handle/20.500.12880/3318/tfm\\_Alvarez\\_SaavedraJoseAntonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://titula.universidadeuropea.com/bitstream/handle/20.500.12880/3318/tfm_Alvarez_SaavedraJoseAntonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- AMCOP, A. M. d. C. d. P. (2017). Informe de cálculo para sistema solar fotovoltaico.  
[https://www.unodc.org/documents/colombia/2020/Abril/CALCULOS\\_SISTEMA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICO\\_30ABR.pdf](https://www.unodc.org/documents/colombia/2020/Abril/CALCULOS_SISTEMA_SOLAR_FOTOVOLTAICO_30ABR.pdf)
- American National Standard (ANSI). (2005). IEEE Std 1100™-2005 (Revision of IEEE Std 1100-1999).  
<https://sci-hub.se/10.1109/IEEESTD.2006.216391>
- Anandh, N., Das, D. y Kumar, C. (2023). UPS Operation of Smart Transformer Fed Triple-Active Bridge Converter for Data Centres. 2023 11th National Power Electronics Conference (NPEC), Guwahati, India.
- Arenas Gómez, S. y Moncada Mesa, A. (2024). *Implementación de un módulo de simulación de sistemas serie paralelo de paneles solares y baterías para el cálculo y análisis de variables eléctricas*. Optar por el título de Tecnología Eléctrica. Institución Universitaria Pascual Bravo, MEDELLÍN. Consultado  
[https://abcd.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/2537/1/Rep\\_IUPB\\_Tec\\_Elec\\_Variables\\_Electricas.pdf](https://abcd.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/2537/1/Rep_IUPB_Tec_Elec_Variables_Electricas.pdf)
- Arias García, R. y Pérez Abril, I. (2018). Nueva metodología para determinar los parámetros de un módulo fotovoltaico *Revista de Ingeniería Energética*, 39(1), 38-47.  
<http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v39n1/rie06118.pdf>
- Arias Sánchez, A. M. (October 2023). Nueva Ley medioambiental cubana. Breves comentarios sobre la nueva Ley medioambiental cubana, numero 150 de 2022.,
- Arratia Coila, L. F. (2023). *Análisis económico y regulatorio para la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos operando en el Sin*. Optar al título de magister scientiarum de gestión en empresas eléctricas. Universidad Mayor De San Andrés, Bolivia. Consultado  
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/34482/TM-8522.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bahaa, E. A., Saleh, M. y Teich, C. (2007). *Fundamentals of Photonics*. John Wiley & Sons, Inc.  
<https://drive.google.com/file/d/0B8agIRikJw4IZjIzY2RjMTAtNzY2YS00NzdILWE1NjAtNmEwNzBIMTc3N2Qx/view?resourcekey=0-4TvT-fLceymOyuX5kMcwPg>
- Baker, R. y Sutherland, J. W. (2020). Environmental Impacts of Lithium-Ion Battery Production and Recycling. *Journal of Cleaner Production*, 259.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120866>

- Baquerizo Basurto, R., Canchari Porto, H. D., Polo Orellana, J. L., Poma Montes, I. y Valenzuela Guzmán, R. D. (2022). *Evaluación de generación de energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento de energía con baterías (BEESStorage) en la zona sur del país*. Obtener el grado de Magíster en Gestión de la Energía. Universidad ESAN, Lima.
- Barco-Jiménez, J., Córdoba, A., Escobar Rosero, E., Pantoja, A. y Caicedo Bravo, E. F. (2022). Optimal sizing of a grid-connected microgrid and operation validation using HOMER Pro and DigSILENT. *Scientia et Technica*, 27(1).  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8402807>
- Blanc, C. y Rufer, A. (2019). Advances in Lithium-Ion Battery Technologies: Maintenance-Free Operation and System Integration. *Journal of Energy Storage*, 24.  
<https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100783>
- Boylestad, R. L., Nashelsky, L., Barraza, C. M. y Fernández, A. S. (2018). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos (Vol. 8)*. (Vol. 8).  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57361833/Electronica\\_Boylestad\\_10a\\_Ed.pdf?1536803799=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBOYLESTAD\\_at\\_BULLET\\_NASHELSKY.pdf&Expires=1724188789&Signature=UPnv7bPCzP2x4~79qejsclFae-4nvuldd3FwM7TMLKhqUU9LHLSjt9Erq9T9ULyXAXDc4xkyvpl4yGdjX~vWvgl7Pgnrh4GkuleHwxmOS1Tg7PpnwfvWRvi5E5OrEpwe9oQE5ITMMRfe8axs19L~vOh~OAgwyQHfvyKAKRBTMDOXNVWwmzanq8movZxoAwwncjMmiRHo7jn06Skdhj7HPwA9JpOU93ORcTQEJG~OS0YAelw8Dy7gKVclthExp3cb9BDsmYG322oKbMDvuZvgzMKDnTQEwwVa-zVZnNgVeFo5ymrxpJAcRC3FX46kLNo4rzNITB7ezLNrwU9zASyqWA\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57361833/Electronica_Boylestad_10a_Ed.pdf?1536803799=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBOYLESTAD_at_BULLET_NASHELSKY.pdf&Expires=1724188789&Signature=UPnv7bPCzP2x4~79qejsclFae-4nvuldd3FwM7TMLKhqUU9LHLSjt9Erq9T9ULyXAXDc4xkyvpl4yGdjX~vWvgl7Pgnrh4GkuleHwxmOS1Tg7PpnwfvWRvi5E5OrEpwe9oQE5ITMMRfe8axs19L~vOh~OAgwyQHfvyKAKRBTMDOXNVWwmzanq8movZxoAwwncjMmiRHo7jn06Skdhj7HPwA9JpOU93ORcTQEJG~OS0YAelw8Dy7gKVclthExp3cb9BDsmYG322oKbMDvuZvgzMKDnTQEwwVa-zVZnNgVeFo5ymrxpJAcRC3FX46kLNo4rzNITB7ezLNrwU9zASyqWA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Cabrera Martínez, I. D. e. e. f. P. e. e. M. O. P. P. s. I. (2003). *Diplomado en energía fotovoltaica. Presentación elaborada en Microsoft Office Power Point s.l.* EcoSol Solar, COPEXTEL S. A.
- Cardoso, A. y Camarasa, C. (2020). Centros de datos: Central de la digitalización y potencial de eficiencia energética. <https://unepccc.org/wp-content/uploads/sites/3/2020/10/data-centres-digitalisation-powerhouse-and-energy-efficiency-potential-es-1.pdf>
- Casado Ramírez, E. d. J., Martín Canché, B. d. R., Velasco Viveros, G., Guillen Taje, J. L. y Naal Ocampo, A. (2023). Implementación de un Módulo Didáctico para el Aprendizaje de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6).  
[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i6.9038](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9038)
- Cedeño Alava, J. D. (2021). *Servidor de datos para el respaldo de documentos de la carrera de tecnologías de la información de la Universidad Estatal Del Sur De Manabí*. Obtención del

título de: Ingeniera En Sistemas Computacionales. Universidad Estatal Del Sur De Manabí, Manabí – Ecuador.

- Changlei Wang, P. K., Dhurba R. Sapkota, Kiran Ghimire, Maxwell M. Junda, y Yanfa Yan, R. W. C., and Nikolas J. Podraza. (2018). Optical Hall Effect of PV Device Materials. *IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS*. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2018.2869540>
- Chenlo Romero, F. (2002). *Cálculo de la Temperatura de Operación de Células Solares en un Panel Fotovoltaico Plano*. Informes Técnicos Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, España.
- Cook, G., Billman, L. y Adcock, R. (1995). *Photovoltaic fundamentals*. National Renewable Energy Laboratory. <https://afdc.energy.gov/files/pdfs/2517.pdf>
- Coque Torres, L. G. (2024). *Análisis de Instalaciones fotovoltaicas para suplir la demanda energética de la industria y reducir su huella de carbono : Análisis de la reducción en emisiones de efecto invernadero debido a la penetración de sistemas fotovoltaicos en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo)*. Requisito para la obtención del título de ingeniero mecánico. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Consultado <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25384/1/CD%2014073.pdf>
- Cuadros Curie, P. M. (2020). *Propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el Centro Educativo "Hellen Keller", Arequipa*. Para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental. Universidad Continental, FACULTAD DE INGENIERÍA.
- Cubadebate. (2024, 17 marzo). *Ministro de Energía y Minas explica situación energética en Cuba*. Cubadebate. Consultado 2024, 25 marzo. <https://www.escambray.cu/2024/en-video-ministro-de-energia-y-minas-explica-situacion-energetica-en-cuba/>
- DeepSeek. (2023). Plataforma de inteligencia artificial para investigación académica [Software de procesamiento de lenguaje natural]. <https://www.deepseek.com>
- Díaz Santos, R., Castro Fernández, M., Santos Fuentefría, A. y Vilaragut Llanes, M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Revista de Ingeniería Energética*, 39(3), 146-156.
- Dolezal, A., Majano, A. M., Ochs, A. y Palencia, R. (2013). La ruta hacia el futuro para la energía renovable en Centroamérica: evaluación
- De la situación actual, mejores prácticas, análisis de brechas. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/303811457>

- Domínguez Piloto, A., Jáuregui Rigó, S. y Beltrán Marrero, J. (2019). Photovoltaic system connected to network to feed COPEXTEL Cienfuegos Territorial Division. Project and simulation. *Centro Azúcar*, 46(4).
- Doris Benda, Sumei Sun, F., Chu, X., Buckley, A. y Quek, T. Q. S. (2023). PV Cell Orientation Angles Optimization for a Base Station Equipped With Several PV Cells. <https://www.researchgate.net/publication/337172911>
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (2013). *Solar Energy: Fundamentals, Technologies, and Applications*.
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (ed, Ed.). 10.1002/9781118671603
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (2020). *Solar engineering of thermal processes (5th ed.)*. Wiley. Wiley.
- Dunn, B., Kamath, H. y Tarascon, J.-M. (2011). Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science of the Total Environment*, 334(6058). <https://doi.org/10.1126/science.1212741>
- Edwar Alfredo Alvarez Claro, A. F. R. R., Eduardo José Sánchez Lobo, Duván Sánchez Quintana, Fernando Jesús Regino Ubarnes. (2019). Diseño de una planta solar fotovoltaica para la alimentación de un banco de luces de aterrizaje en el batallón de infantería n° 15 general santander ocaña. blob:<https://acofipapersorg.biteca.online/2762118d-6beb-4712-8b3e-ae275fc74b49>
- Escobar Jaramillo, B., Jaramillo Ramos, J. E., Celis Ospina, J. M. y Montoya Giraldo, J. (2020). El efecto fotoeléctrico. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/8007>.
- Ferledy Erazo, O. y Escobar, E. (2018). Modelo para la estimación de potencia eléctrica en módulos fotovoltaicos de tecnología basada en silicio. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(2), 188-196. <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v27n2/0718-3305-ingeniare-27-02-00188.pdf>
- Flores Pulgarín, C. (2011). *Parque fotovoltaico de 500 KW conectado a la red en el Prat*. Proyecto de Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Fonash, S. J. (2010). *Solar Cell Device Physics*. Elsevier Inc.

- Francia Camacho, J. A. (2023). *Impacto de los sistemas fotovoltaicos en la evaluación Económica para la electrificación del aahh. Virgen de la Candelaria, Calango*. Pregrado. Universidad Nacional Federico Villarreal, Consultado [https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/8383/UNFV\\_FIC\\_Francia\\_Camacho\\_Jose\\_Titulo\\_profesional\\_2023.pdf?sequence=1](https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/8383/UNFV_FIC_Francia_Camacho_Jose_Titulo_profesional_2023.pdf?sequence=1)
- Franco de Sarabia, L. S. (2018). *Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico aislado para la alimentación de un instituto de educación secundaria*. Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Freepower. (2023). *¿Qué factores influyen para obtener una mayor o menor producción de energía solar?* <https://www.freepower.es/>. Consultado 22 diciembre <https://www.freepower.es/que-factores-influyen-produccion-energia-solar/>
- Fuentefría, A. S. (2018). *Trabajo teórico experimental-Influencia del ángulo de inclinación. La Habana*. CUJAE, La Habana. Consultado [www.rie.cujae.edu.cu/index.php/rie/article/download/539/pdf/1165](http://www.rie.cujae.edu.cu/index.php/rie/article/download/539/pdf/1165)
- Gaceta Oficial de la República de Cuba. (2019). Decreto-Ley NO. 345 “Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía”. La Habana, Cuba <https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2019-o95.pdf>
- Gaitan Torres, S. A. (2020). *Modelamiento de la temperatura superficial de los paneles de una red experimental de 7.8kwp*. Ingeniería mecánica. Universidad de Ibagué, Ibagué. Consultado <https://repositorio.unibague.edu.co/server/api/core/bitstreams/86b58665-6923-4ef5-af94-c10513f544f8/content>
- Galindo Noguera, A. L., Barrera Fajardo, M. A. y Solano Silva, R. (2022). Diseño de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diésel-baterías para zonas no interconectadas: Un estudio de caso. In *Instituto Antioqueño de Investigación*. [https://www.researchgate.net/profile/Jim-Giraldo-Builes/publication/368740766\\_Diseño\\_Implementación\\_y\\_validación\\_de\\_un\\_sistema\\_Manufacturing\\_Resource\\_Planning\\_MRP\\_en\\_una\\_MiPyme\\_del\\_sector\\_textil\\_bajo\\_un\\_enfoque\\_Back\\_to\\_Order/links/63f78369b1704f343f771ed6/Diseño-implementación-y-validación-de-un-sistema-Manufacturing-Resource-Planning-MRP-en-una-MiPyme-del-sector-textil-bajo-un-enfoque-Back-to-Order.pdf#page=367](https://www.researchgate.net/profile/Jim-Giraldo-Builes/publication/368740766_Diseño_Implementación_y_validación_de_un_sistema_Manufacturing_Resource_Planning_MRP_en_una_MiPyme_del_sector_textil_bajo_un_enfoque_Back_to_Order/links/63f78369b1704f343f771ed6/Diseño-implementación-y-validación-de-un-sistema-Manufacturing-Resource-Planning-MRP-en-una-MiPyme-del-sector-textil-bajo-un-enfoque-Back-to-Order.pdf#page=367)
- García, A. y Martínez, J. (2021). *Renewable Energy Systems: Design and Analysis with MATLAB and Simulink*. Wiley.
- García Beltrán, Y. M. y Azamar Alonso, A. (2024). Las energías renovables, ¿alternativa ambiental? Una visión global y local de su implementación en México. In U. A. Metropolitana (Ed.), *Sustentabilidad, innovación y tecnología*. Universidad Autónoma Metropolitana.

[https://www.researchgate.net/profile/Ruth-Rios-Estrada/publication/378860747\\_Sustentabilidad\\_innovacion\\_y\\_tecnologia\\_2024/links/65ee7675b1906066b28c3590/Sustentabilidad-innovacion-y-tecnologia-2024.pdf#page=170](https://www.researchgate.net/profile/Ruth-Rios-Estrada/publication/378860747_Sustentabilidad_innovacion_y_tecnologia_2024/links/65ee7675b1906066b28c3590/Sustentabilidad-innovacion-y-tecnologia-2024.pdf#page=170)

García Serrano, J. F. y Alfonso Rativa, G. E. (2021). *Desarrollo de estudio técnico-económico para mejorar la Eficiencia energética aplicada a centros de datos Tier II En Colombia*. Modalidad: Pasantía. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá D.C. .

Gastelo-Roque, J. A. (2017). Estimación de la radiación solar diaria y ángulos de inclinación óptimos para Lambayeque (Perú) utilizando el modelo de Hargreaves-Samani. *Rev. Ciencia, Tecnología y Humanidades*, 8(2).  
<https://www.researchgate.net/publication/327541883>

Green, M. y Keevers, M. J. (2021). Solar cell efficiency tables (version 54). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 29(3). <https://doi.org/10.1002/pip.3296>

Gutiérrez, L., Vivas Carranza, J. P. y Hernando, D. (2019). *Estudio de viabilidad financiera para la implementación de un sistema de energía renovable para un centro de procesamiento de datos en BOGOTÁ D.C.* Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia.

Haque, A., Khan, M. A. y Bharath Kurukuru, V. S. (2023). *Design and Control of grid-connected photovoltaic system*. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, LLC.  
<https://doi.org/10.1201/9781003257189>

Hernández Poveda, J. (2021). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo conectada a red: análisis mediante simulación por ordenador de la viabilidad de la instalación y cálculos tensionales de la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos*. Optar al título de máster en ingeniería mecatrónica. Universidad politecnica de Valencia, Valencia, España.

Herrera, L., Miranda, A., Arango-Zuluaga, E. I., Ramos-Paja, C. A. y González-Montoya, D. (2013). Dimensionamiento de sistemas de generación fotovoltaicos localizados en la ciudad de Medellín. *Tecnológicas*. <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234341022.pdf>

Hesse, H., Schimpe, M., Kucevic, D. y Jossen, A. (2017). Lithium-ion battery storage for the grid—A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10122107>

Honsberg, C. y Bowden, S. (2023). *Photovoltaics: Fundamentals, technology, and practice*. International Renewable Energy Agency (Wiley, Ed.).

Huincho Sedano, Y. J. (2021). *Desarrollo de un circuito con modulación por ancho de pulsos para incrementar los días de autonomía de las baterías de los sistemas fotovoltaicos domésticos del programa de electrificación rural masiva del Ministerio de Energía y Minas, 2021*. Optar el título profesional de Ingeniero Electricista. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, HUANCAYO - PERÚ. Consultado [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7566/T010\\_71088505\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7566/T010_71088505_T.pdf?sequence=1)

Hyun-Chul, J. y Dong-Suk, H. (2017). Desarrollo de IHTS para sistemas de alimentación ininterrumpida en caso de fallo de la UPS. 7.ª Conferencia internacional sobre electrónica de potencia,

[Record #802 is using a reference type undefined in this output style.]

IEEE Power and Energy Society. (2023). Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles and Grid Storage. *IEEE Transactions on Power Systems* <https://www.osti.gov/servlets/purl/1573487/>

International Electrotechnical Commission. (2021). Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval (IEC 61215:2021). IEC.

Jacobson, M. Z. (2009). Review of Solutions to Global Warming, Air Pollution, and Energy Security. *Energy Environmental Science*, 2(2), 148-173.

Jacobson, M. Z. y Delucchi, M. A. (2011). Providing All Global Energy with Wind, Water, and Solar Power. *Energy Policy*, 39(3), 1154-1169.

Jamjachi Rojas, J. J. (2021). *Diseño de un sistema eléctrico híbrido para una vivienda residencial*. Para optar el Grado Académico de

Bachiller en Ingeniería Eléctrica. Universidad continental, Huancayo. Consultado [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9879/2/IV\\_FIN\\_109\\_TI\\_Jamjachi\\_Rojas\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9879/2/IV_FIN_109_TI_Jamjachi_Rojas_2021.pdf)

Jin, Z., Li, D., Hao, D., Zhang, Z., Guo, L., Wu, X. y Yuan, Y. (2022). Un sistema de energía fotovoltaica auxiliar portátil para vehículos eléctricos basado en un mecanismo de tijera plegable. A portable, auxiliary photovoltaic power system for electric vehicles based on a foldable scissors mechanism. *Energy and Built Environment*, 08. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.08.002>

Kammen, D. M. y Nemet, G. F. (2005). Reversing the Incredible Shrinking Energy Efficiency Gap: Increasing Energy Efficiency in Developing Countries. *Environmental Science Technology*, 39(13), 4860-4866.

- Kammen, D. M. y Sunter, D. A. (2016). City-Level Decarbonization: The Role of Renewable Energy. *Nature Climate Change*, 6(4), 343-348.
- Khalilpour, R. y Vassallo, A. (2016). Planning and operation scheduling of PV-battery systems: A novel methodology. 53, 194-208.
- Khosravi, A., Sandoval, O. R., Sadat Taslimi, M., Sahrakorpi, T., Amorim, G. y Garcia Pabon, J. J. (2024). Review of energy efficiency and technological advancements in data center power systems. *Energy and Buildings*, 323(114834).  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114834>
- Laborde, M. A., Williams, R. J. J. y (Edit). (2016). *Energía sola*. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- León-Martínez, J. A., Morejón-Mesal, Y., Melchor-Ortall, G. C., Rosabal-Padrón, L. M., Quintana-Aputl, R. y Hernández-Cuello, G. (2021). Sizing of a photovoltaic solar park for the Center for Agricultural Mechanization (CEMA). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4).  
<https://eqrcode.co/a/1ho56j>
- Lino, G. y Saez, M. (2023). Energías renovables en América Latina y el caribe para la mitigación del cambio climático. *La Saete Universitaria*, 11(22).  
<https://www.unae.edu.py/ojs/index.php/saetauniversitaria/article/view/354>
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J. y Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.060>
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M. y Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
- Luque, A. y Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.
- Luque, L., Toranzos, V. y Vera, L. (2012). Uso eficiente de la energía en sistemas fotovoltaicos autónomos: desarrollo de un convertidor cc-cc con seguimiento de punto de máxima potencia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- Martín Chivelet, N. (2018). *Procedimientos de determinación de la temperatura de los módulos fotovoltaicos en centrales*. Consultado  
[https://oa.upm.es/52919/1/TFG\\_Victor\\_San\\_Miguel\\_Alburquerque.pdf](https://oa.upm.es/52919/1/TFG_Victor_San_Miguel_Alburquerque.pdf)

- Martínez Ruiz, L. H. y Cristancho Franco, L. M. (2019). *Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico en las instalaciones del edificio "d" de las uts*. Pregrado. Unidades Tecnológicas De Santander, Consultado <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7007/F-DC-125%20Luydin%20y%20Leidy%20VF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Massachusetts Institute of Technology (Ed.). (2015). *The future of solar energy*.
- Mejía Ambrosio, J. D. (2021). *Diseño de investigación del modelo de instalación eléctrica para un centro de datos de alta eficiencia energética, bajo el estándar ANSI TIA*. Optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Méndez Castillo, C. S., Correa Rivera, M. A. y Peñaloza González, Y. D. (2022). Energías renovables como modelo sostenible en el comercio internacional. *Revista Visión Internacional*, 7 (1), pp. , 2022, ISSN: 2711-1121, 1, 23-40. <https://doi.org/10.22463/27111121.3334>
- Meneses-Ruiz, E., Roig-Rassi, A., Paz, E., Alonso, D. y Alvarado, J. (2018). Factores de emisión de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(1). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/download/255/295>
- Millman, J. y Grabel, A. (1993). *Microelectrónica moderna* (Sexta edición ed.). Editor Hispano Europea, S. A.
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Ministerio de Energía y Minas. Consultado 17 junio 2024. <https://www.minem.gob.cu/es/actividades/energias-renovables-y-eficiencia-energetica>
- mipanel solar. (s.f.). *Paneles solares: Especificaciones técnicas*. Consultado 2 febrero 2025. <https://mipanel solar.com/blog/paneles-solares-especificaciones-tecnicas>
- Molina Hernández, C. R., Bandera Suárez, L. y Paz Estévez, E. (2024). *Respaldo eléctrico fotovoltaico para el centro de datos de la Universidad De Matanzas* Congreso Internacional Universidad y Sociedad 2024, Ciudad de Matanzas, Cuba. <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/3883?show=full>
- Montes de Oca, S. (2020). Rol activo de centros de datos y otros grandes consumidores de energía eléctrica: respuesta de la demanda y servicios auxiliares (ANII-FSE 1 2017 1 144789). <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26942/1/Mon20.pdf>

- Moreno Figueredo, C. (2021). *Fuentes renovables de energías. Tecnologías y aplicaciones*. Editorial Cubasolar.
- Moussa, A. y Al-Mamun, A. (2022). Energy Management in Smart Cities: A Review of the Current Trends and Future Directions. *Sustainable Cities and Society*, 76.
- Muñoz Pascual, L. (2016). *Diseño de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD)*. Optar por el título de Ingeniero Eléctrico. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Myrna C. Nevárez-Rodríguez, E. E.-D. L. C., M. Cecilia Valles-Aragón, Carlos Baudel Manjarrez-Domínguez, y Sigala-Bustamante, M. A. (2016). Modelado del potencial fotovoltaico del estado de Chihuahua. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*, X(3).
- Reparaciones y déficit de combustible mantiene tensa la generación de electricidad, (2024, 13 marzo). <https://www.granma.cu/cuba/2024-03-12/reparaciones-y-deficit-de-combustible-mantiene-tensa-la-generacion-de-electricidad-12-03-2024-02-03-58>
- NASA. (2023). *Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)*. <https://power.larc.nasa.gov/>
- National Renewable Energy Laboratory. (2021). PVWatts Calculator. <https://pvwatts.nrel.gov>
- National Renewable Energy Laboratory. (2023). Energy Storage Technology and Cost Characterization Report.
- National Renewable Energy Laboratory, N. (2020). *Photovoltaic System Design and Performance*. Recuperado de <https://www.nrel.gov>
- Nazaralizadeh, S., Banerjee, P., Srivastava, A. K. y Famouri, P. (2024). Battery Energy Storage Systems: A Review of Energy Management Systems and Health Metrics. *Energies*, 17. <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/5/1250>
- Neira Reyes, A. F. y Ardila Torres, A. Y. (2019). *Metodología para el diseño de sistemas de generación distribuida para zonas rurales en Colombia*. Pregrado. Universidad de La Salle, Colombia. Consultado [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1280&context=ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1280&context=ing_electrica)
- Nykvist, B. y Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*(4). <https://doi.org/10.1038/nclimate2564>

- Organismo Técnico de Capacitación de Chile. (s.f.). *Cómo determinar la potencia real del panel fotovoltaico de acuerdo a la temperatura de operación de la celda fotovoltaica*. ilumin. <https://ilumin.online/como-determinar-la-potencia-real-del-panel-fotovoltaico-de-acuerdo-a-la-temperatura-de-operacion-de-la-celda-fotovoltaica/>
- Palomino Estebaranz, Á. (2012). *Análisis de los datos técnicos de los inversores fotovoltaicos de conexión a red*. Grado En Ingeniería Electrónica Industrial Y Automática. Universidad Carlos III De Madrid, Madrid.
- Pardo Pavon, A. J. (2023). *Implementación de un sistema de monitorización remoto para medir la autonomía del banco de baterías de la empresa Montúfar Net*. Obtención del título de Ingeniero de Sistemas. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito, Ecuador. Consultado <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24144/1/TTS1123.pdf>
- Parrales Velásquez, H. J. y Sánchez Cuenca, C. O. (2019). *Análisis del uso eficiente de la energía eléctrica en un centro de cómputo por medio de un sistema de respaldo utilizando la red eléctrica pública y paneles fotovoltaicos*. Previa a la obtención del título de Licenciado en redes y sistemas operativos. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Patiño, S., Mosquera, C., Suárez, F. y Nevarez, R. (2017). Evaluación de seguridad informática basada en ICREA e ISO27001. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*, 21(85). [https://www.researchgate.net/profile/Susana-Patino/publication/325191433\\_EVALUACION\\_DE\\_SEGURIDAD\\_INFORMATICA\\_BASADA\\_EN\\_ICREA\\_E\\_ISO27001/links/5afcec4f0f7e9b98e03e9967/EVALUACION-DE-SEGURIDAD-INFORMATICA-BASADA-EN-ICREA-E-ISO27001.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Susana-Patino/publication/325191433_EVALUACION_DE_SEGURIDAD_INFORMATICA_BASADA_EN_ICREA_E_ISO27001/links/5afcec4f0f7e9b98e03e9967/EVALUACION-DE-SEGURIDAD-INFORMATICA-BASADA-EN-ICREA-E-ISO27001.pdf)
- Perpiñán Lamiguero, O. (2023). *Energía solar Fotovoltaica*
- Porral, E., Bataglia, G., Reyes, I. n. y Enriquez, M. (2022). Apunte unidad 2. Introducción a la física cuántica. In *Física electrónica*. Universidad Tecnológica Nacional. <https://www.researchgate.net/publication/366433259>
- Qiao, S., Liu, Y., Liu, J., Chen, J., Wang, S. y Fu, G. (2016). The Reverse Lateral Photovoltaic Effect in Boron-Diffused Si p-n Junction Structure. El efecto fotovoltaico lateral inverso en Estructura de unión p-n de Si difundido con boro. *IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS*, 37. <https://doi.org/10.1109/LED.2015.2508881>
- R., I. R. E. A. (2022). International Renewable power generation costs in 2021. <https://www.irena.org/publications>

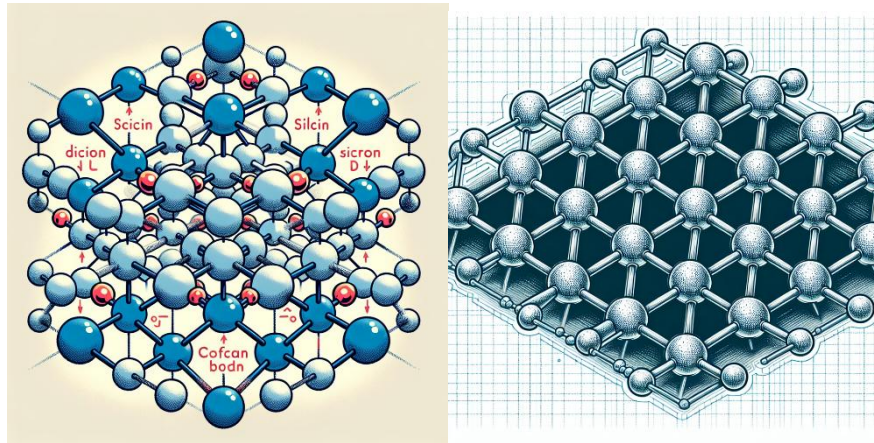
- Raihan, A. y Tuspekova, A. (2022). Role of economic growth, renewable energy, and technological innovation to achieve environmental sustainability in Kazakhstan. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100165>
- Reascos Masapanta, B. F. (2022). *Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica de respaldo para estaciones multiservicio de telecomunicaciones en Chiriboga - Santo Domingo*. Obtención del Título de ingeniero Eléctrico. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito -Ecuador.
- Reina Amado, J. L. (2024). *Análisis de viabilidad para la implementación de un sistema de generación eléctrica usando la energía solar en el fuerte militar de Tolemaida del Ejército Nacional de Colombia*. Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible-Virtual. Universidad EAN, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez García, A. y Peña Fuentes, L. (2019). La protección del medioambiente en Cuba, una prioridad gubernamental. *NOVEDADES EN POBLACIÓN*, 15(30). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1817-40782019000200113](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-40782019000200113)
- Rosales Arriaga, B. (2024). *Diseño y manejo de energía de un sistema híbrido celda fotovoltaica-baterías de flujo de pequeña potencia*. Obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica. Tecnológico Nacional de México, México.
- Ruiz Cavel, O. (2021). *Dimensionamiento y selección de un sistema de transferencia automático con inversor de redes para permitir el suministro eléctrico continuo en un centro de innovación tecnológica*. Obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
- Sánchez Juárez, A., Martínez Escobar, D., Santos Magdaleno, R. d. I. L., Ortega Cruz, J. y Sánchez Pérez, P. A. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial*. Instituto de Energías Renovables, UNAM.
- Sánchez Martín, J. M. (2020). *Sistema de gestión de baterías para sistemas fotovoltaicos con baterías de LiFePO4*. Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación y Microelectrónica. Universidad oberta de Calalunya, Calalunya, España.
- Sandia National Laboratories. (2018). Performance of Modern Inverters in Grid-Connected Photovoltaic Systems. (Informe Técnico SAND2018-XXXX).
- Santillán Tituaña, A. (2016). *Estudio de la incorporación de baterías en sistemas fotovoltaicos*. Màster en Energies Renovables i Sostenibilitat Energètica.

- Sanz, I., Gálvez, R., Artal, J. S., Pastor, P., Bernal, C., Oyarbide, E., Pérez, F. J., Garayalde, E., Anzola, J. y Aizpuru, I. (2021). Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos con Almacenamiento Híbrido. <https://www.researchgate.net/publication/340234214>
- Singh, P. y Ravindra, N. M. (2012). Temperature dependence of solar cell performance—An analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 101, 36–45. doi:10.1016/j.solmat.2012.02.019 101, 36–45. <https://sci-hub.se/10.1016/j.solmat.2012.02.019>
- Sinha, J. y Gupta, S. (2018). End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: A Review. *Waste Management*, 78, 126-139.
- Sudhirrao Werulkar, A. y Kulkarni, P. S. (2015). A case study of residential solar photovoltaic system with utility backup in Nagpur, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1809-1822. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.195>
- Sze, S. M. (2006). *Física de dispositivos semiconductores* (Vol. 3ª ed.).
- Tagüite Flores, J. A. (2019). *Análisis de sistemas híbridos para el suministro de energía eléctrica en equipos de telecomunicación de bajo consumo*. Al conferírsele el título de Ingeniero electricista. Universidad De San Carlos De Guatemala.
- Tanriov, M. (2024). *Photovoltaic Systems Engineering for Students and Professionals*. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, LLC. <https://doi.org/10.1201/9781003415572>
- Tayar Mirza, Z., Anderson, T., Seadon, J. y Brent, A. (2024). A thematic analysis of the factors that influence the development of a renewable energy policy *Renewable Energy Focus*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100562>
- Tobajas, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica* (Cano Pina, SL ed.)
- Toro Cabrera, O. E. (2023). *Evaluación de la seguridad física del centro de datos de la prefectura de Esmeraldas basado en la norma ISO 27005*. Ingeniero en Sistemas y Computación. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.
- Van Der Meer, S. J. y Van Der Voet, E. (2016). Environmental Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic Systems: A Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1234-1243.
- Vázquez López, Z. S. (2024). *Sistema fotovoltaico comercial interconectado a la red: diseño, implementación y evaluación*. Optar por el título de Ingeniero en energías renovables.

- Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Chiapas. Consultado <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/5618>
- Wang, J., Liu, P., Hicks-Garner, J., Sherman, E., Soukiazian, S., Verbrugge, M., Tataria, H., Musser, J. y Finamore, P. (2012). Cycle-life model for graphite-LiFePO<sub>4</sub> cells. *Journal of Power Sources*, 196(8). <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.11.134>
- World Health Organization. (2021). *World Health Organization (WHO)* <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/air-quality-and-health>
- Yaselga, E. H. (2013). *Diseño del centro de datos para petroecuador en el edificio matriz en base al estándar tia-942-2*. Obtención del título de Ingeniero En Electrónica Y Redes De Información. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Yong-Seok, C. y Jae-Chul, L. (2021). The Role of Cobalt in Lithium-Ion Batteries: A Review. *Materials Today Energy*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2021.100671>
- Zeng, X., Li, J. y Singh, N. (2014). Recycling of spent lithium-ion battery: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(10). <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763578>
- Zhang, C. (2023). *Aspectos Económicos de la Transición a un Sistema Energético Bajo en Emisiones*. Tesis doctoral. Universidad Rey Juan Carlos, Consultado [https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/32814/3rev\\_Tesis%20Doctoral%20Chong%20Zhang%20CORREGIDA.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/32814/3rev_Tesis%20Doctoral%20Chong%20Zhang%20CORREGIDA.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Zhang, C., Jiang, J., Zhang, W. y Sharkh, S. M. (2016). A generalized SOC-OCV model for lithium-ion batteries and the SOC estimation for LNMCO battery. *Energy Conversion and Management*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.020>

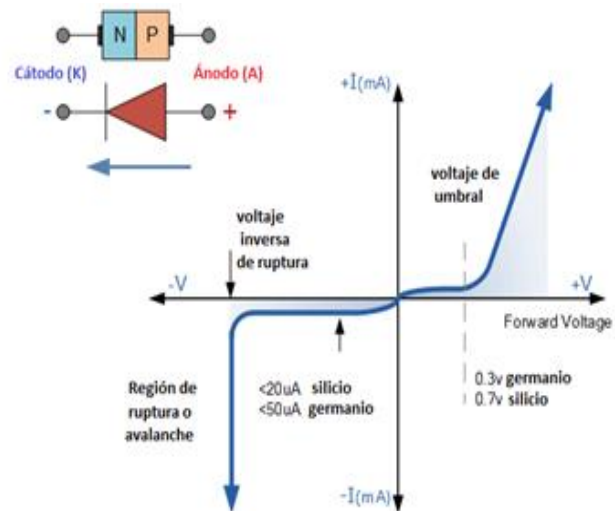
## ANEXOS

## Anexo 1. Estructura cristalina de semiconductores



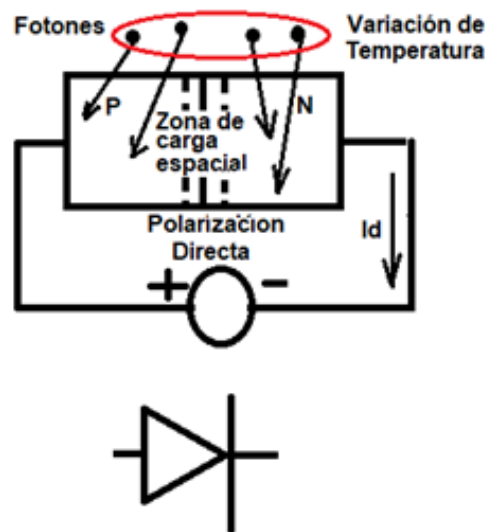
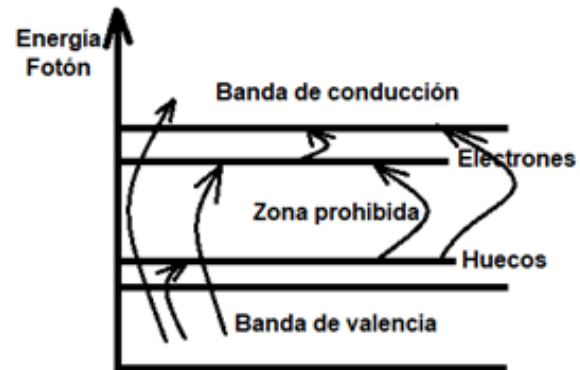
<https://fusionads360.com/user/images>. Creado June 05, 2024

## Anexo 2. Polarización del diodo y su característica voltampérica



Fuente: [https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode\\_3.html](https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_3.html)

**Anexo 3.** Gráfico de banda de energía producida por los fotones para que ocurra la conductividad eléctrica en el diodo semiconductor



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 4.** Clasificación de las baterías

Tabla 1: Baterías frecuente utilizada en sistema fotovoltaico

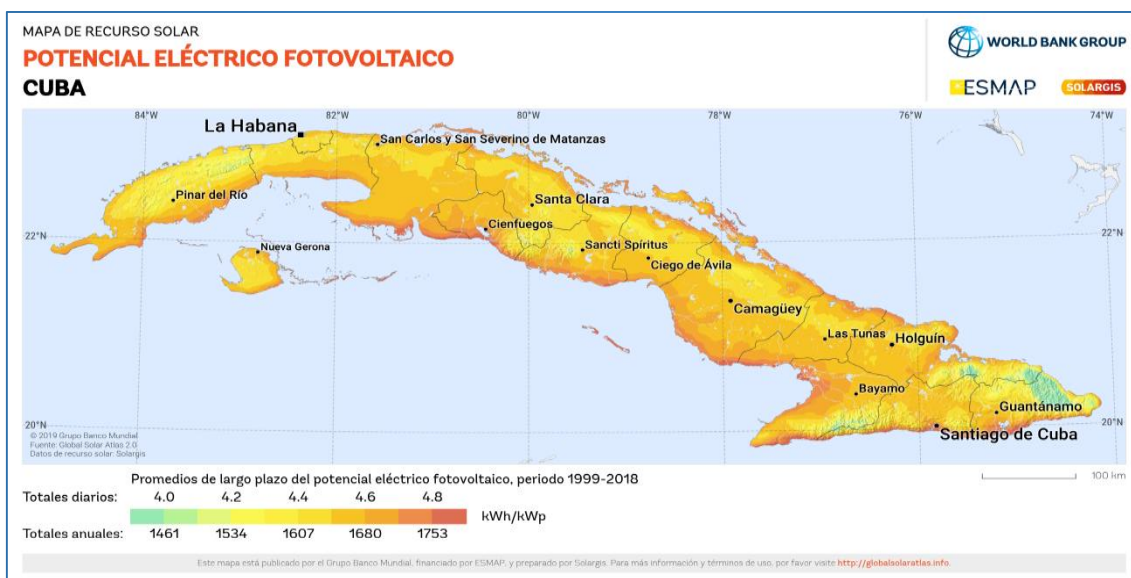
<b>Característica</b>	<b>Baterías de Plomo-Ácido</b>	<b>Baterías de Litio</b>	<b>Baterías de Flujo</b>	<b>Baterías de Níquel-Cadmio</b>	<b>Baterías Estacionarias</b>
<b>Uso Principal</b>	Almacenamiento de energía	Almacenamiento de energía	Almacenamiento de energía	Almacenamiento de energía	Almacenamiento de energía a largo plazo
<b>Corriente</b>	Media (carga/descarga)	Alta (carga rápida)	Variable (según sistema)	Media (carga/descarga)	Media a alta
<b>Ciclos de Vida</b>	Corto (200-300 ciclos)	Largo (1500-5000 ciclos)	Muy largo (2000-10000 ciclos)	Largo (1000-2000 ciclos)	Muy largo (800-3000 ciclos)
<b>Mantenimiento</b>	Bajo (usualmente)	Muy bajo	Variable (pueden requerir mantenimiento)	Moderado	Bajo (generalmente selladas)
<b>Ejemplo de Uso</b>	Energía solar, vehículos	Energía solar, vehículos	Proyectos a gran escala	Energía solar, emergencias	Redes eléctricas, energías renovables
<b>Ciclo de Descarga</b>	Limitado (descargas profundas afectan vida útil)	Eficiente (sin efecto negativo)	Eficiente (dependiendo del diseño)	Afectado por el efecto memoria	Eficiente (depende de aplicación)
<b>Clasificación</b>	- Baterías de arranque	- Baterías de ion-litio	- Baterías de flujo	- Baterías de níquel-cadmio	-Baterías estacionarias

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 5.** Índices de emisión de contaminantes atmosféricos del petróleo crudo nacional para la CTE “Antonio Guiteras Holmes”

Gases	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	CO
Índice $\left(\frac{\text{gr de sustancias emitidas}}{\text{gr de combustible consumido}}\right)$	2,9280	0,13063	0,003225	0,01651

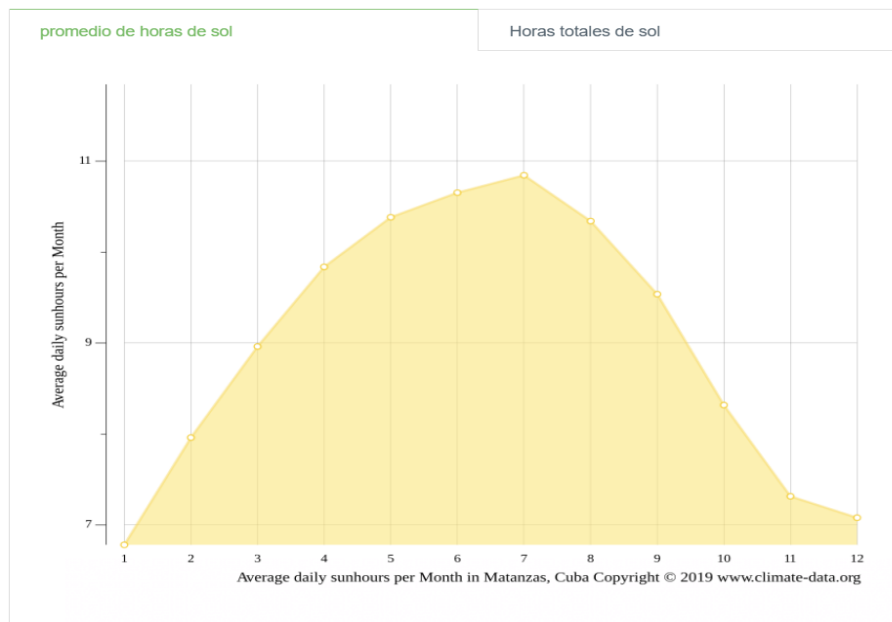
**Anexo 6:** Potencial fotovoltaico de Cuba



Fuente: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/cuba>

## Anexo 7. Promedio de la HSP en la Ciudad de Matanzas

### HORAS DE SOL EN MATANZAS



Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-norte/cuba/matanzas/matanzas-3194/temperature-graph>

## Anexo 8: Ubicación geográfica del Centro de Datos de la Universidad de Matanzas

European Commission

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Herramientas interactivas

Home Herramientas Descargas Documentación Contáctanos

Entre el 23-27 de septiembre se hará operativa la versión 5.3 de PVGIS. Para más información sigan este enlace

Cursor: **Seleccionado: 23.036, -81.511**

Elevación (m): 37

PVGIS ver: 5.2

Utilizar las sombras del terreno:

Horizonte calculado

Cargar archivo de horizonte

Seleccionar archivo Ningún archivo seleccionado

Switch to version 5.1

CONECTADO A RED

FV CON SEGUIMIENTO

FV AUTÓNOMO

DATOS MENSUALES

DATOS DIARIOS

DATOS HORARIOS

TM5

**DATOS MENSUALES DE IRRADIACIÓN**

Base de datos de radiación solar\* PVGIS-ERA5

Año inicial\* 2005

Año final\* 2020

Irradiación:

Irradiación global horizontal

Irradiación directa normal

Irradiación global con el ángulo óptimo

Irradiación global con el ángulo (0-90)

Ratio:

Ratio difusa/global

Temperatura:

Temperatura media

Fuente: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/)

**Anexo 9.** Equipamiento del centro de datos. Consumo y horas de uso diario equipamiento 110 V /AC 60 Hz

EQUIPOSS 120V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA A NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA PICO (World Health Organization)
<b>Nodo</b>						
PC	0	11	700	24	184800	7700
PC OPCIÓN	0	2	700	24	33600	1400
SERVIDOR	0	8	750	24	144000	6000
SERVIDOR	0	1	750	24	1000	800
FUENTES	0	3	1200	24	86400	3600
SWITCH	0	14	135	24	45360	1890
LUMINARIAS	0	24	18	10	4320	432

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	499480	21822
% Factor de Seguridad	1	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	499480.00	

EQUIPOSS 120V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA A NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA PICO
<b>REDES</b>						
PC	0	12	750	10	90000	9000
MONITOR	0	12	80	10	9600	960
TV	0	3	70	10	2100	210
LUMINARIAS	0	16	18	10	2880	800
AP	0	1	72	10	720	72

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	105300	11042
% Factor de Seguridad	1	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	105300.00	

EQUIPOSS 120V/AC	Motor (si=1/no=0 )	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAIC O	POTENCI A NOMINA L (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUM O (Wh/día)	POTENCIA PICO
<b>OFICINAS</b>						
PC	0	3	750	10	22500	2250
MONITOR	0	3	80	10	2400	240
IMPRESORA DE CINTA	0	1	96	8	768	96
IMPRESORA LÁSER	0	1	480	8	3840	800
VENTILADOR	1	1	60	8	480	240
LUMINARIAS	0	6	18	10	1080	108
MINIBAR	1	1	70	24	1680	280
MICROWAVE	0	1	700	4	2800	700
<b>OFICINA DIRECTIVA</b>						
PC	0	3	750	10	22500	2250
MONITOR	0	3	80	10	2400	240
TV	0	1	80	8	640	80
VENTILADOR	1	1	60	10	600	240
SWITCH	0	1	36	24	864	36
LUMINARIAS	0	16	18	10	2880	288

<b>POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)</b>	<b>65432</b>	<b>7848</b>
<b>% Factor de Seguridad</b>	<b>1</b>	
<b>Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad</b>	<b>65432.00</b>	

EQUIPOSS 120V/AC	Motor (si=1/no=0 )	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAIC O	POTENCI A NOMINA L (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUM O (Wh/día)	POTENCIA PICO
<b>SALON DE VIDEO CONFERENCIA</b>						
PC	0	2	750	12	18000	1500
MONITOR	0	2	80	12	1920	160
TV	0	2	80	12	1920	160
SWITCH	0	2	36	10	1000	800
LUMINARIAS	0	12	18	12	2592	216
VIDEO BIN	0	1	672	12	8064	672

LOGITECH	0	1	72	12	864	72
----------	---	---	----	----	-----	----

<b>POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)</b>	<b>34360</b>	<b>3580</b>
<b>% Factor de Seguridad</b>	<b>1</b>	
<b>Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad</b>	<b>34360.00</b>	

EQUIPOSS 120V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA A NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA PICO
<b>SEGURIDAD INFORMÁTICA</b>						
PC	0	4	750	10	30000	3000
MONITOR	0	4	80	10	3200	320
VENTILADOR	1	2	60	10	1200	480
AP	0	2	72	10	1440	144
SWITCH	0	2	135	10	2700	270
LUMINARIAS	0	6	18	10	1080	108
PC SERVIDOR	0	5	750	24	90000	3750
MONITOR	0	1	80	10	800	80

<b>POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)</b>	<b>130420</b>	<b>8152</b>
<b>% Factor de Seguridad</b>	<b>1</b>	
<b>Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad</b>	<b>130420.00</b>	

EQUIPOSS 120V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA A NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA PICO
<b>GESTIÓN DE INFORMATIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD</b>						
PC	0	6	750	10	45000	4500
MONITOR	0	4	80	10	3200	320
VENTILADOR	1	1	60	10	600	240
AP	0	3	72	24	1000	800
SWITCH	0	1	135	24	3240	135
LUMINARIAS	0	6	18	10	1080	108

<b>POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)</b>	<b>54120</b>	<b>6103</b>
<b>% Factor de Seguridad</b>	<b>1</b>	
<b>Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad</b>	<b>54120.00</b>	

<b>110 V AC</b>		
<b>POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)</b>	<b>889112.00</b>	<b>58547</b>

<b>POTENCIA DÍA CONSUMO O (kWh/día)</b>	<b>POTENCIA PICO (kW)</b>
<b>889.112</b>	<b>58.547</b>

	CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA PICO (W)
Nodo (Incluye Clima)	730360	60302
Nodo+Redes	1641140	144166
General	1986780	186633

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 10.** Equipamiento del centro de datos. Consumo y horas de uso diario equipamiento 220 V /AC 60 Hz

EQUIPOSS 240V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA A PICO
<b>Nodo</b>						
AIRE ACONDICIONADO DAYTRON	1	1	1690	24	40560	6760
AIRE ACONDICIONADO MIDEA	1	2	1600	24	76800	12800
AIRE ACONDICIONADO	1	1	1600	24	38400	6400
LG	1	1	1700	24	40800	6800
GREE	1	1	1430	24	34320	5720

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	<b>230880</b>	<b>38480</b>
% Factor de Seguridad	<b>1</b>	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	<b>230880.00</b>	

EQUIPOSS 240V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA A PICO
<b>REDES</b>						
AIRE ACONDICIONADO LG	1	1	1630	24	39120	6520
AIRE ACONDICIONADO GREE	1	1	1500	24	36000	6000

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	<b>75120</b>	<b>12520</b>
% Factor de Seguridad	<b>1</b>	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	<b>75120.00</b>	

EQUIPOSS 240V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA A PICO
<b>OFICINAS</b>						
COCINA ELÉCTRICA	0	1	1200	4	4800	1200
<b>OFICINA DIRECTIVA</b>						
AIRE ACONDICIONADO	1	1	1650	10	16500	6600
IMPRESORA	0	1	768	10	7680	768

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	<b>28980</b>	<b>8568</b>
% Factor de Seguridad	<b>1</b>	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	<b>28980.00</b>	

EQUIPOSS 240V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA A PICO
<b>SALON DE VIDEO CONFERENCIA</b>						
AIRE ACONDICIONADO	1	1	1670	12	20040	6680

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	<b>20040</b>	<b>6680</b>
% Factor de Seguridad	<b>1</b>	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	<b>20040.00</b>	

EQUIPOSSS 240V/AC	Motor (si=1/no=0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	POTENCIA NOMINAL (W)	HORAS DE USO (Horas)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA A PICO
-------------------	----------------------	--	-------------------------	----------------------------	--	--------------------

				(Ho ras)		
<b>SEGURIDAD INFORMÁTICA</b>						
IMPRESORA	0	1	768	8	6144	768

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	6144	768
% Factor de Seguridad	1	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	6144.00	

EQUIPOSSS 240V/AC	Motor (si=1/no= 0)	CANTIDAD A CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAIC O	POTENCI A NOMINA L (W)	HO RAS DE US O (Ho ras)	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCI A PICO
<b>GESTIÓN DE INFORMATIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD</b>						
IMPRESORA	0	1	768	8	6144	768

POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	6144	768
% Factor de Seguridad	1	
Demanda = POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)% Factor de Seguridad	6144.00	

	POTENCIA DÍA CONSUMO (kWh/día)	POTENCI A PICO (kW)
<b>240 V AC</b>		
	367308.00	67784

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 11.** Consumo y potencia pico del proyecto

	POTENCIA DÍA CONSUMO (Wh/día)	POTENCIA PICO W
Nodo sin Clima	499480	21822
Nodo+Redes	635380	83864
General	1256420	126339

Fuente: elaboración propia

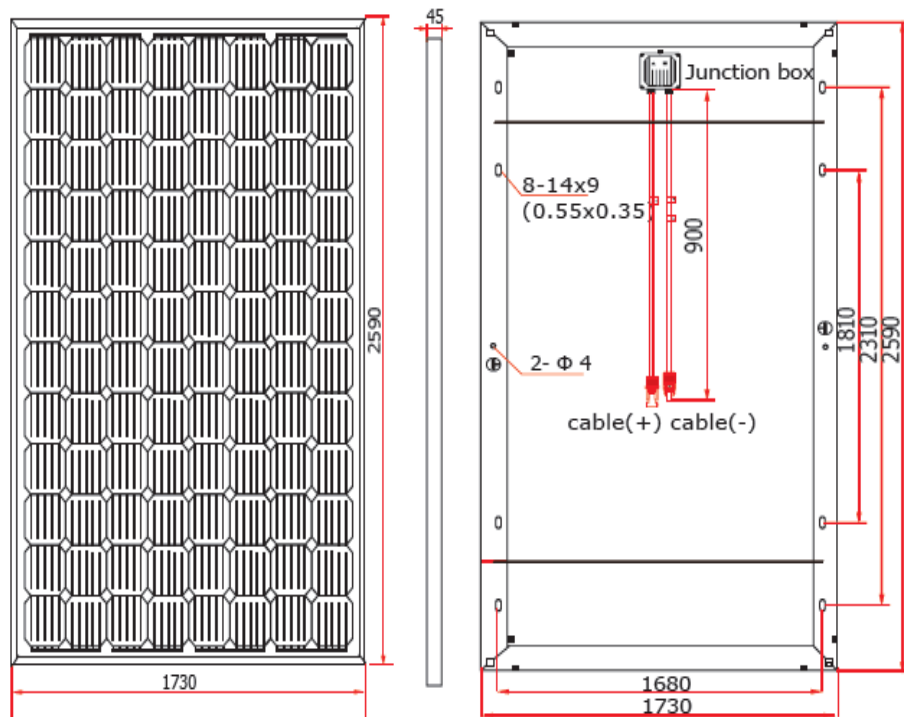
**Anexo 12.** Parámetros eléctricos, datos mecánicos y características del comportamiento de la temperatura y características físicas del panel solar. Módulos mono Sunday Energy 9BB

<b>ELECTRICAL PARAMETERS</b>						
Model Type	SDM-850	SDM-860	SDM-870	SDM-880	SDM-890	SDM-900
Nominal Maximum Power (Pmax)	850W	860W	870W	880W	890W	900W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	52.98V	53.38V	53.76V	54.12V	54.53V	54.53V
Optimum Operating Current (Imp)	16.04A	16.11A	16.18A	16.26A	16.33A	16.50A
Open Circuit Voltage (Voc)	62.57V	62.89V	63.08V	63.37V	63.55V	63.74V
Short Circuit Current (Isc)	17.21A	17.33A	17.42A	17.56A	17.60A	17.64A
Module Efficiency	18.97%	19.19%	19.42%	19.64%	19.86%	20.08%
Power Tolerance	0 to + 6W					
Maximum System Voltage	DC 1500V					
Operating Temperature	-40°C ~ +85 °C					
Maximum Series Fuse Rating	30A					
Number of Bypass Diode	4					

<b>MECHANICAL DATA</b>	
Cell Type	210mm x 210mm
Cell Arrangement	96 cells in series
Dimensions	2590 x 1730 x 45 mm (With bar fixed in the middle)
weight	53.4kg
Front Cover	3.2mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67/IP68, 4 diodes
Cable	4mm <sup>2</sup> (IEC) / 12AWG (UL), 900mm (650mm is option)
Connectors	MC4 or MC4 compatible

<b>TEMPERATURE CHARACTERISTICS</b>	
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.380% /°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.360% /°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.07% /°C
Norminal operatigCell Temperatue	45.3 ± 2°C

## PHYSICAL CHARACTERISTICS Unit: mm (inch)

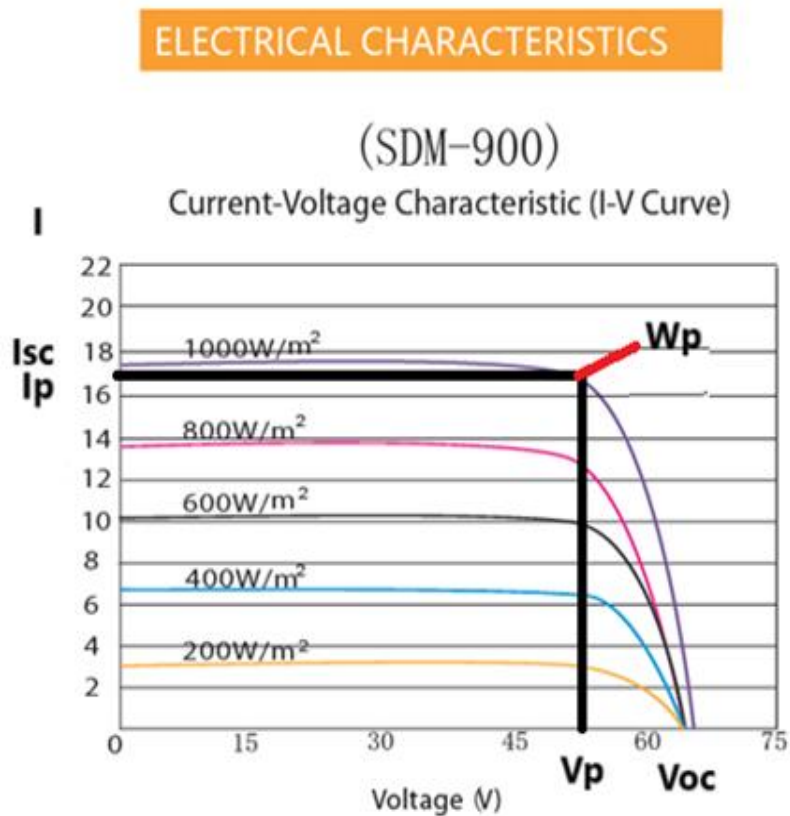


Fuente: <https://www.solarfeeds.com/product/sdm-850-900w/>

**Anexo 13.** Datos ofrecidos en las fichas técnicas de los paneles solares ofrecidos por los fabricantes

### Propiedades eléctricas de los paneles solares

Los datos técnicos de un panel solar abarcan diversos parámetros eléctricos, los cuales pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas. Los fabricantes evalúan estas características bajo condiciones estándar de prueba (STC, por sus siglas en inglés): una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ , una temperatura de la célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y una distribución espectral de AM 1,5 G. El funcionamiento de una célula fotovoltaica se describe mediante la curva de Intensidad-Tensión (I-V), que representa la relación entre la corriente y el voltaje generados por el panel en diferentes condiciones de operación.



#### Ficha técnica:

La corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$  o  $I_{sc}$ ) es la corriente que fluye cuando el voltaje es cero. Este valor se mide directamente en los terminales del panel utilizando un amperímetro.

El voltaje de circuito abierto ( $V_{ca}$  o  $V_{oc}$ ) representa la tensión más alta que puede generar el panel cuando no está conectado a ningún dispositivo. Este dato se obtiene fácilmente con un voltímetro.

La máxima potencia ( $P_{max}$ ), expresada en vatios pico ( $W_p$ ), es la capacidad máxima de generación del panel. Este valor se alcanza cuando la corriente y el voltaje se multiplican y están en su punto óptimo, medido bajo condiciones estándar.

La corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{mp}$ ) es la corriente que se produce cuando el panel opera a su máxima eficiencia, bajo condiciones de medición estándar.

El voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mp}$ ) es la tensión generada cuando el panel alcanza su mayor rendimiento, también medido en condiciones estándar.

La eficiencia (%) indica el rendimiento de conversión del panel, es decir, el porcentaje de la energía solar que se transforma en electricidad.

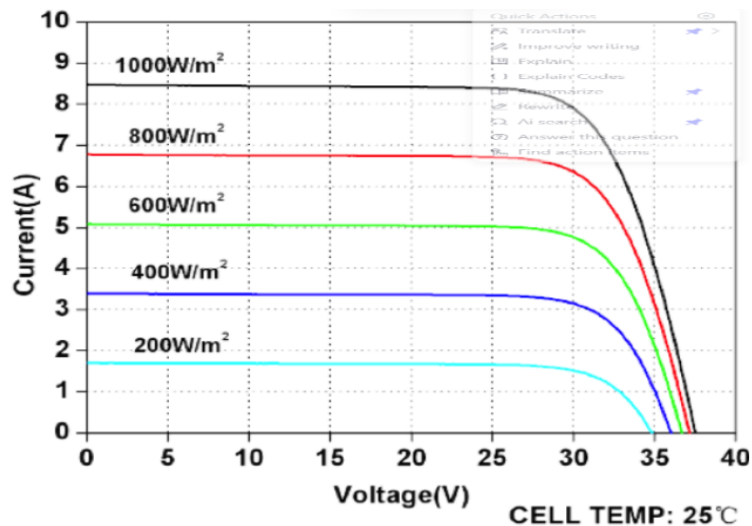
El desempeño o eficacia (Rendimiento o eficiencia  $W_r$ ) se calcula como la relación entre la potencia máxima ( $W_p$ ) y la potencia de radiación incidente ( $W_r$ ).

La tolerancia (%) refleja las pequeñas variaciones que pueden existir entre paneles durante su fabricación. Normalmente, los fabricantes garantizan que la potencia del módulo ( $P$ ) se mantiene dentro de un rango del 63% al 65%, con un margen de  $\pm 3\%$ . Lo ideal es elegir paneles con tolerancias solo positivas, lo que asegura que el panel entregará al menos la potencia especificada en su ficha técnica.

La temperatura nominal de operación de la célula (TONC  $^{\circ}\text{C}$ ) es la temperatura que alcanzan las células cuando se exponen a una irradiancia de  $800\text{ W/m}^2$ , una temperatura ambiente de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , una velocidad del viento de  $1\text{ m/s}$  y una distribución espectral AM 1,5.

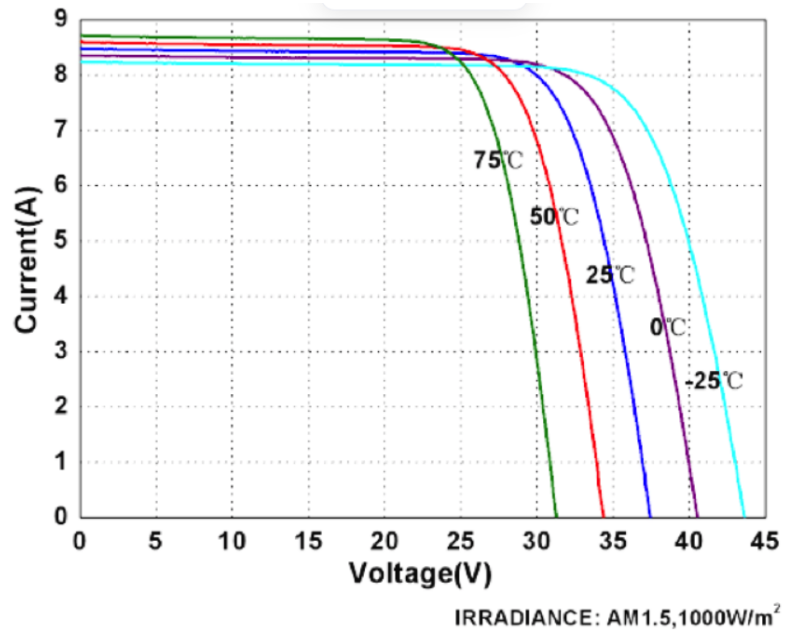
#### Otras características eléctricas a considerar:

Efecto de la intensidad de iluminación (irradiancia): La cantidad de electricidad generada por un panel depende de la radiación solar y del tamaño de sus células. Un gráfico puede mostrar cómo varía la corriente en función de la irradiancia, manteniendo la temperatura constante. En general, a mayor radiación incidente, mayor será la corriente generada.



Las pérdidas en los paneles solares se expresan por el aumento de la temperatura de funcionamiento, siendo el valor medio el que aumenta un 4 % por cada  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El voltaje de salida del panel solar varía con la temperatura. Cuanto mayor es la temperatura, menor es el voltaje.



Las hojas de datos contienen información sobre la variación de la potencia máxima ( $P_{max}$ ), el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ).

Fuente: (mipanel solar, s.f.)

## Anexo 14. Especificaciones técnicas de los paneles solares ofrecida por los fabricantes

### Especificaciones técnicas

**Máxima potencia (Maximum Power Pmax):** Representa el punto óptimo de generación de energía del panel solar. Este valor es fundamental, ya que define el diseño y la capacidad del panel.

**Voltaje de circuito abierto (Open Circuit Voltage Voc):** Corresponde al voltaje que produce un panel solar cuando no está conectado a ningún dispositivo. Al medir con un voltímetro entre los terminales positivo y negativo, se obtiene este valor. En este estado, el panel no genera electricidad porque no hay carga conectada.

**Corriente de cortocircuito (Short Circuit Current Isc):** Es la corriente, medida en amperios, que genera el panel cuando los cables positivo y negativo se conectan directamente entre sí, sin carga.

**Máximo voltaje de potencia (Maximum Power Voltage Vmp):** Es el voltaje que produce el panel cuando opera en su punto de máxima eficiencia.

**Máxima corriente de potencia (Maximum Power Current Imp):** Representa la corriente máxima, en amperios, que genera el panel al estar conectado al sistema.

**Eficiencia del módulo (Module Efficiency %):** Indica el porcentaje de luz solar que el panel convierte en energía eléctrica. Este valor refleja la efectividad del módulo en la transformación de energía.

### Especificaciones de temperatura

**Coefficiente de temperatura de potencia máxima (Temperature Coefficients of Pmax):** Los paneles solares reducen su potencia a medida que aumenta su temperatura. Este coeficiente indica cuánta energía se pierde por cada grado Celsius que supera los 25 °C.

**Coefficiente de temperatura de Voc (Temperature Coefficients of Voc):** Muestra la reducción porcentual del voltaje de circuito abierto cuando la temperatura de las células supera los 25 °C.

**Coefficiente de temperatura de Isc (Temperature Coefficients of Isc):** Evalúa cómo cambia la corriente de cortocircuito del panel al variar la temperatura de las células solares.

### Especificaciones mecánicas

**Células:** Un panel solar está compuesto por células conectadas en serie. La mayoría de los paneles fotovoltaicos tienen 60 células, aunque algunos modelos más eficientes cuentan con 72.

**Cableado:** Es importante considerar la longitud del cableado del panel para determinar si se necesitan cables adicionales o si los incluidos son suficientes para la instalación.

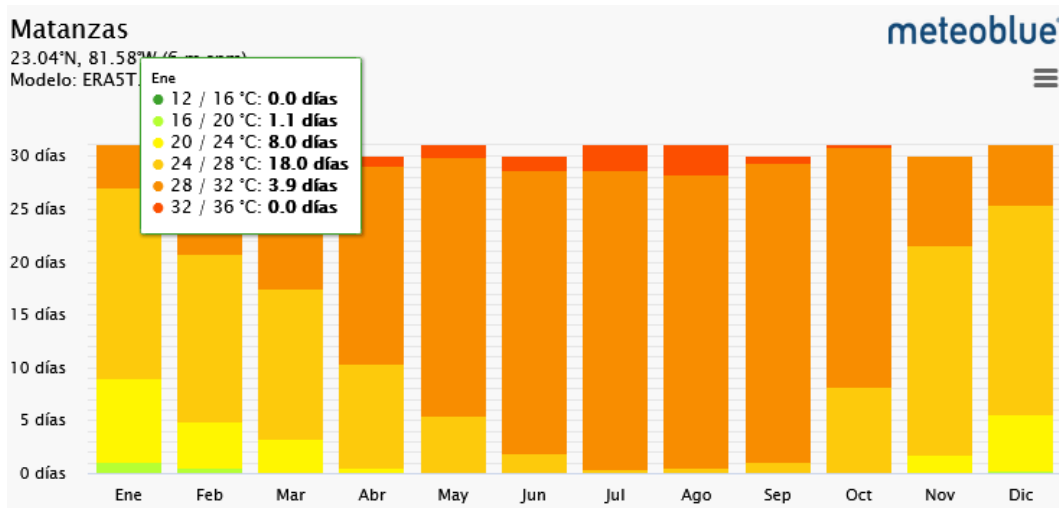
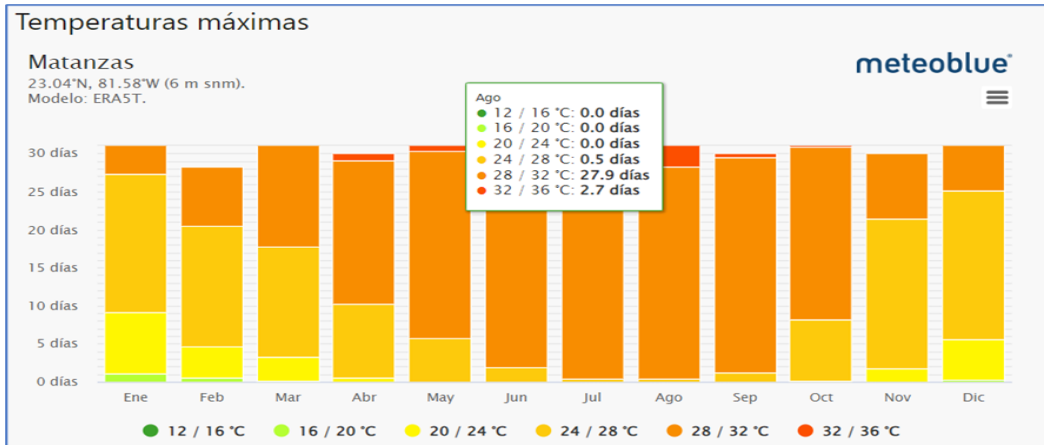
**Dimensiones:** Al instalar paneles solares en espacios reducidos, como techos de casas o caravanas, es crucial tener en cuenta las dimensiones de las placas. Aunque los paneles suelen tener tamaños similares, existen ligeras variaciones entre fabricantes según su capacidad y tecnología.

**Peso:** Conocer el peso del panel es esencial, especialmente si se instala en techos. La estructura debe ser lo suficientemente resistente para soportar el peso y evitar daños.

**Carga máxima:** Se refiere a la presión máxima que los paneles pueden soportar, como el peso de la nieve, sin afectar la garantía. La mayoría de los paneles resisten una carga de nieve de 5000 Pascales **(Pa) o más**. También indica la resistencia al viento, soportando condiciones extremas similares a un huracán. Sin embargo, en casos de vientos muy fuertes, los paneles podrían sufrir daños adicionales.

Fuente: (mipanel solar, s.f.)

**Anexo 15:** Registro histórico de temperaturas máximas y mínimas en la Ciudad de Matanzas.



Fuente:

[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/matanzas\\_cuba\\_3547398](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/matanzas_cuba_3547398)

**Anexo 16.** Datos técnicos del inversor Sol-Ark 12K-P Spec Sheet.

<b>Solar Input Power 12000W</b>	
Max Allowed PV Power	6500W + 6500W = 13000W
Max PV Power Delivered to Battery & AC Outputs	12000W
Max DC Voltage (Voc)	500V @ 18A, 450V @ 20A
MPPT Voltage Range	150-425V
Starting Voltage	125V
Number of MPPT	2
Max Solar Strings Per MPPT	2
Max DC Current per MPPT (Self Limiting)	20A
Max AC Coupled Input (Micro/String Inverters)	9600W

<b>AC Output Power 9kW On-Grid &amp; Off-Grid</b>	
Connections	120/240/208V Split Phase
Continuous AC Power to Grid (On-Grid)	9000W 37.5A-L (240V)
Continuous AC Power to Load (Off-Grid)	9000W 37.5A-L (240V)
Surge AC Power 10sec	16,000VA L-L (240V)
Surge AC Power 100ms	25,000VA L-L(240V)
Parallel Stacking	Yes
Frequency	60/50Hz
Continuous AC Power with Grid or Generator	15120W 63A L-L (240V)
CEC Efficiency	96.5% (Peak 97.5%)
Idle Consumption Typical—No Load	60W
Sell Back Power Modes	Limited to Household/Fully Grid-Tied
Design (DC to AC)	Transformerless DC
Response Time (Grid-Tied to Off-Grid)	4ms
Power Factor	+/- 0.9 - 1.0

Design Type	DC Transformerless		
	Sol-Ark 12K	Sol-Ark 8K	Sol-Ark 5K
Brand & Model			
MSRP Price	\$6,900	\$6,100	\$4,500
Solar PV <i>Continuous Power</i>	12KW	9KW	6.5KW
Inverter AC Continuous Power	9KW	8KW	5KW
Inverter Battery Continuous Power	9KW	8KW	5KW
Off Grid Inverter AC <i>Peak Power</i> (5s)	16KW	16KW	16KW
System Idle Power	60W	60W	60W
AC to DC Charger	185A	185A	120A
	color	color	color
<i>User Interface</i>	touch	touch	touch
PV to Batt Efficiency @ 65%	97.5%	97.5%	97.5%
AC to Batt Efficiency @ 65%	96.0%	96.0%	96.0%
Batt to AC Efficiency @ 65%	95.5%	95.5%	95.5%
On Grid PV to <i>AC Efficiency</i> @ CEC	96.5%	96.5%	96.5%
<i>Time of Use or Off Grid</i>	7%	7%	7%
PV -> Batt -> AC <i>Losses</i> @ 65%			
Grid Failure <i>UPS Transfer Time</i>	4ms	4ms	4ms
Low Cost Easy Install	✓	✓	✓
<i>Warranty</i>	10 yr	5/10 yr	5 yr
<i>AC Coupling</i> to existing Inverters	✓	✓	✓
<i>Parallel Stacking</i>	✓	X	X
<i>120/240/208V 3Phase</i>	✓	X	X
Generator Charging	✓	✓	✓
AC Load Shedding for TOU & Off Grid	✓	✓	✓
California & HECO (Grid Sell)	✓	✓	X
NEC UL1699B Arc Fault	✓	✓	✓
Outdoor Enclosure	✓	✓	✓
	20KWh	20KWh	20KWh
Battery Bank	6000cycles +\$13K	+\$13K	+\$13K

Fuente: <https://thesolarstore.com/manuals/Sol-Ark%2012k%20spec%20sheet%209-24-21.pdf>

**Anexo 17.** Justificación para elegir baterías de litio en sistemas fotovoltaicos

La elección de baterías de litio, específicamente de tecnología LiFePO<sub>4</sub> (fosfato de hierro y litio), para sistemas fotovoltaicos se fundamenta en una serie de ventajas técnicas, económicas y ambientales que las posicionan como la opción más eficiente y sostenible a largo plazo. A continuación, se presentan los argumentos que justifican esta decisión.

**1. Mayor eficiencia energética**

Las baterías de litio destacan por su eficiencia de carga y descarga superior al 95%, lo que implica que casi toda la energía generada por los paneles solares se almacena y aprovecha. En contraste, las baterías de plomo-ácido (AGM o gel) tienen una eficiencia del 80-85%, lo que conlleva pérdidas significativas de energía durante el proceso de carga y descarga (Luo et al., 2015). Esta mayor eficiencia se traduce en un mejor aprovechamiento de la energía solar y, por ende, en un menor desperdicio de recursos.

**2. Mayor vida útil y ciclos de carga**

Las baterías de litio LiFePO<sub>4</sub> ofrecen una vida útil considerablemente más larga, con ciclos de carga y descarga que superan los 6000 ciclos al 90% de profundidad de descarga (DoD). En comparación, las baterías de plomo-ácido rara vez superan los 1200 ciclos al 50% de DoD (Hesse et al., 2017). Esto significa que, en un sistema fotovoltaico, las baterías de litio pueden durar más de 10 años con un uso diario, mientras que las de plomo-ácido requerirían reemplazos cada 3-5 años. A largo plazo, esto reduce los costos de mantenimiento y reposición.

**3. Mayor profundidad de descarga (DoD)**

Las baterías de litio permiten una profundidad de descarga del 80-90% sin comprometer su capacidad o vida útil. En cambio, las baterías de plomo-ácido solo pueden descargarse hasta un 50% si se desea preservar su durabilidad (Khalilpour y Vassallo, 2016). Esto significa que, para una misma capacidad nominal (por ejemplo, 10 kWh), las baterías de litio proporcionan casi el doble de energía utilizable que las de plomo-ácido. Esta característica es especialmente relevante en sistemas fotovoltaicos, donde maximizar el almacenamiento de energía es crucial para garantizar la autonomía durante la noche o días nublados.

**4. Menor mantenimiento**

Las baterías de litio son libres de mantenimiento, a diferencia de las baterías de plomo-ácido inundadas, que requieren revisión periódica de los niveles de electrolito y limpieza de los terminales (Blanc y Rufer, 2019). Esta característica no solo reduce los costos operativos, sino que también

simplifica la gestión del sistema fotovoltaico, especialmente en instalaciones remotas o de difícil acceso.

#### 5. Menor peso y tamaño

Las baterías de litio tienen una mayor densidad energética, lo que significa que almacenan más energía en un espacio y peso significativamente menores. Por ejemplo, una batería de litio de 10 kWh puede pesar hasta 70 % menos que una batería de plomo-ácido de la misma capacidad (Dunn et al., 2011). Esto facilita la instalación, el transporte y la integración en espacios reducidos.

#### 6. Mayor tolerancia a temperaturas extremas

Las baterías de litio  $\text{LiFePO}_4$  operan de manera eficiente en un rango de temperaturas más amplio (-20 °C a 60 °C), lo que las hace ideales para instalaciones en climas extremos. En comparación, las baterías de plomo-ácido pierden capacidad y vida útil en condiciones de frío o calor intenso (Wang et al., 2012). Esta robustez garantiza un rendimiento confiable en diversas condiciones ambientales.

#### 7. Sostenibilidad ambiental

Aunque las baterías de litio tienen un costo inicial más alto, su mayor vida útil y eficiencia las convierten en una opción más sostenible a largo plazo. Además, su química ( $\text{LiFePO}_4$ ) es menos tóxica que la de las baterías de plomo-ácido, lo que reduce el impacto ambiental al final de su vida útil (Zeng et al., 2014). Muchos fabricantes también ofrecen programas de reciclaje para recuperar materiales valiosos y minimizar residuos.

#### 8. Reducción de costos a largo plazo

A pesar de que el costo inicial de las baterías de litio es más alto que el de las baterías de plomo-ácido, su mayor durabilidad, eficiencia y menor mantenimiento resultan en un costo total de propiedad (TCO) más bajo a lo largo de su vida útil (Nykvist y Nilsson, 2015). Esto se traduce en un ahorro significativo para el usuario final, especialmente en sistemas fotovoltaicos que operan diariamente.

**Anexo 18.** Datos técnicos de las baterías de ion litio GRS LiFePO<sub>4</sub>, Greensun 48 V 51.2 V DC, 200 Ah. Modelo (LP16-48200)

Technical Data		LP16-24100	LP16-24200	LP16-48100	LP16-48200
Nominal Voltage		25.6V		51.2V	
Nominal Capacity		100Ah	200Ah	100Ah	200Ah
Nominal energy		2560Wh	5120Wh	5120Wh	10240Wh
Life Cycles		6000 cycles @ 80% DOD, 25°C			
Recommended Charge Voltage		29.2V		58.4V	
Recommended Charge Current		20A	40A	20A	40A
End Of Discharge Voltage		22V		44V	
Standard Method	Charge	20A	40A	20A	40A
	Discharge	50A	100A	50A	100A
Maximum Continuous Current	Charge	100A	150A	100A	150A
	Discharge	100A	150A	100A	150A
BMS Cut-Off Voltage	Charge	29.2 V (3.65V/Cell)		58.4 V (3.65V/Cell)	
	Discharge	22.0V (2s) (2.75V/Cell)		44.0V (2.75V/Cell)	
Temperature	Charge	0 ~ 45°C			
	Discharge	-10 ~ 55°C			
Storage Temperature		-5~35°C			
Shipment voltage		≥25.6V		≥51.2V	
Module Parallel		Up to 15 units			
Communication		CAN2.0/RS232/RS485			
Case Material		SPPC			
Machine Dimension (H*W*D) (mm)		485.5*442*177	486.5*442*250	625.5*442*177	686.5*442*250
Package Dimension (W*H*D) (mm)	carton box	557*547*227	557*547*300	688*557*227	non
	wooden box	555*565*340	555*565*410	696*565*335	759*569*391
N.W (kg)		27	44	45	80

Fuente: <https://ineldec.com/wp-content/uploads/2024/10/FICHA-TECNICA-LP1600-Bateria-de-Litio-LIFEPO4-48V-200Ah-MUST-.pdf>

**Anexo 19.** Consideraciones sobre la conexión de baterías de diferentes capacidades y práctica recomendada

Técnicamente, es factible conectar baterías de distintas capacidades en paralelo dentro de un sistema. Esta práctica no es recomendable debido a los riesgos asociados con el desequilibrio de carga y el estrés adicional que se genera en las baterías. En caso de optar por esta configuración, es esencial que cada batería cuente con un Sistema de Gestión de Batería (BMS) que regule de manera eficiente los procesos de carga y descarga. Además, se debe implementar un monitoreo constante del sistema para identificar y corregir posibles problemas de manera oportuna (Zhang et al., 2016).

La mejor práctica consiste en utilizar baterías que compartan el mismo voltaje y capacidad, ya que esto garantiza un funcionamiento equilibrado y seguro. Si el objetivo es incrementar la capacidad total del sistema, se sugiere emplear baterías idénticas y conectarlas en paralelo. Esta configuración no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que también minimiza los riesgos asociados con el desequilibrio de carga y la degradación prematura de las baterías (Lu et al., 2013).

**Anexo 20.** Características técnicas del regulador solar MidNite Solar Classic 250**SPECIFICATIONS**

Max. Efficiency (PV To AC)	98.0%
Max. Efficiency (BAT To AC)	94.5%
Max. PV Input Power	15,000 W Max.
PV Voltage	600 V
Start-Up Voltage	90 V
MPPT Operating Voltage Range	70 V-550 V
Max. Input Current Per MPPT	30 A/22 A/22 A
String (Per MPPT)	6(2/2/2)
Number Of MPPTs	3
Battery Type	Lithium-Ion/Lead-Acid Or Other
Nominal Battery Voltage	48 V
Battery Voltage Range	40 V-64 V
Max. Charge/Discharge Current	210 A/210 A
Grid Frequency Range	45 Hz-55 Hz/55 Hz-65 Hz (Adjustable)
Power Factor	> 0.99 @Rated Power (Adjustable 0.8 LG - 0.8 LD)
THDI>	<3% (Rated Power)
Nominal Output Power	11.4 KW Continuous
Nominal Output Current	A/47.5 A
Peak Output Apparent Power(1s)	20,000 VA (13,000 VA Per Leg)
Nominal Output Voltage	120/240 V (Split Phase) / 208 V (2/3 Phase)
Nominal Output Frequency	50 Hz /60 Hz
Transfer Time	<10 ms
THDV	<3% @100% R Load
DC Switch	YES
AC Overcurrent Protection	YES
DC/AC Overvoltage Protection	DC Type II, AC Type III
AC Short Circuit Protection	YES
DC Reverse Connection	YES
Surge Arrester	DC Type II, AC Type II
Insulation Resistance Detection	YES
Leakage Current Protection	YES
AFCI	YES
RSD	Yes (APsystems Sunspec Transmitter Built In)
Generator	YES
Max. Operation Altitude	6500FT / 2000M
Ingress Protection Degree	IP65/NEMA 3R
Operating Temperature Range	-25~60C(>450 Derating)
Relative Humidity	0~100%
Cooling Method	Fan Cooling
Mounting	Wall Bracket

Dimensions (WHD)	16.5 W X 38.3L X 10.27D Inch (420mm X 973mm X 261mm)
Weight	44.45 Kg/98 lb
PV Connection	Spring Terminals
Display	Wireless & APP + LED , LCD (Optional)
Communication Interface	RS485/CAN (For BMS), DRM/RS485 (For Meter), RS485
Optional:	WiFi /LAN
Agency Approvals	UL1741SB, IEEE1547: 2018, HECO SRD 2.0 UL 1741/CSA C22.2/UL 1699B
EMC	FCC Part 15 Class B
Warranty	10 Years

Fuente:

[https://www.midnitesolar.com/productPhoto.php?product\\_ID=766&productCat\\_ID=65&sortOrder=1&act=p](https://www.midnitesolar.com/productPhoto.php?product_ID=766&productCat_ID=65&sortOrder=1&act=p)