

**Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con Mención  
en Energía**



**Tesis**

**Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación  
potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas**

**para obtener el grado académico de:**

**Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con Mención  
en Energía**

**Autor:**

**Bach. Arturo José Navarrete Núñez**

<https://orcid.org/0000-0002-4601-5115>

**Asesor:**

**Mg. Jony Villalobos Cabrera**

<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>

**Lambayeque, Perú**

**2025**

## **Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas**



---

Bach. Arturo José Navarrete Núñez

Autor



---

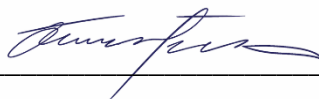
Mg. Jony Villalobos Cabrera

Asesor

Tesis presentada para optar el grado académico de:

Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con Mención en Energía

Aprobado por:



---

Dr. Segundo Abelardo Horna Torres

Presidente del jurado



---

Dr. Daniel Carranza Montenegro

Secretario del jurado



---

Dr. James Skinner Celada Padilla

Vocal del jurado

Lambayeque, Perú

2025

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

155

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 11.00 am horas del día 22 de JULIO del año Dos Mil veintiuno, en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado, designados mediante Resolución N° 6.12-2024-I-EPG de fecha 25.9.2024, conformado por:

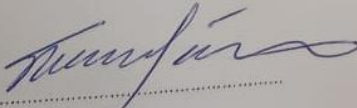
Dr. Segundo Abelardo Horna Torres PRESIDENTE (A)  
Dr. Daniel Carranza Montenegro SECRETARIO (A)  
Dr. James Skinner Celada Padilla VOCAL  
Mg. Sony Villalobos Cabrera ASESOR (A)


Con la finalidad de evaluar la tesis titulada "Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la combinación Potencia costo para el diseño de Centrales Fotovoltaicas deslada" presentado por el (la) Tesista Arturo José Navarrete Núñez sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 314-2025-EPG-I de fecha 16 de Julio de 2025


El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo 17 puntos que equivale al calificativo de BUENO


En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de: Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía

Siendo las 11.58 am horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta.

  
 PRESIDENTE

  
 SECRETARIO

  
 VOCAL

  
 ASESOR

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, Jony Villalobos Cabrera, usuario revisor de tesis

Trabajo de suficiencia profesional  y/o Trabajo académico


Titulado Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas

Cuyo autor es: Arturo José Navarrete Núñez; con DNI N° 42024901; declaro que la evaluación por el programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud 4% verificables en el resumen del reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó el reporte y concluyo que cada una de las coincidencias dentro del porcentaje de similitud no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 14 de mayo del 2025

  
\_\_\_\_\_  
Firma

Mg. Jony Villalobos Cabrera

DNI: 16699530

## Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas

### INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Trabajo del estudiante

1%

3

[repository.unad.edu.co](https://repository.unad.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

4

[repository.usta.edu.co](https://repository.usta.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

5

[rasisbi.uqroo.mx](https://rasisbi.uqroo.mx)

Fuente de Internet

<1%

6

[repositorio.unprg.edu.pe](https://repositorio.unprg.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[dspace.ucacue.edu.ec](https://dspace.ucacue.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

  
**M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA**  
 DNI 18899530  
 Docente Asociado  
 Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Arturo José Navarrete Núñez  
 Título del ejercicio: Quick Submit  
 Título de la entrega: Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la cor...  
 Nombre del archivo: DT\_tesis.docx  
 Tamaño del archivo: 1.18M  
 Total páginas: 130  
 Total de palabras: 34,690  
 Total de caracteres: 174,595  
 Fecha de entrega: 14-may.-2025 09:19a. m. (UTC-0500)  
 Identificador de la entrega: 2675747503

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y  
 ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA



**TESIS**

Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación  
 potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas

Trabajo presentado para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias de la  
 Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía.

Investigador:  
 Bach. Arturo José Navarrete Núñez

Asesor:  
 Mg. Jony Villalobos Cabrera

Línea de Investigación:  
 Energías Renovables

Lambayeque, 2025

  
**M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA**  
 DNI 10099550  
 Docente Asociado  
 Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para culminar este proyecto.

A mi madre, mis hijas y mi pareja, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor fuente de motivación.

A todas las personas que creyeron en mí y me impulsaron a no rendirme.

Arturo José Navarrete Núñez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a mi asesor, por su orientación, paciencia y compromiso en cada etapa de este trabajo.

A mis docentes de la maestría, por compartir sus conocimientos y formar parte de mi crecimiento profesional.

A mis compañeros de estudios, por el compañerismo y las valiosas experiencias compartidas.

A todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron al desarrollo de esta investigación, con su apoyo técnico, moral o logístico.

Finalmente, a mi familia, por ser mi pilar en cada desafío. Este logro también es suyo.

El Autor

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	iii
CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD .....	iv
Dedicatoria.....	vii
Agradecimiento .....	viii
Índice de contenidos .....	ix
INFORMACIÓN GENERAL .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
<b>I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1. Realidad problemática .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.2.1. Formulación del problema.....	2
1.2.2. Preguntas específicas del problema.....	2
1.3. Hipótesis .....	3
1.4. Justificación de la investigación .....	3
1.5. Objetivos de la investigación .....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos. ....	4
<b>II. DISEÑO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Estado del arte.....	5
2.2. Bases epistemológicas .....	7
2.3. Antecedentes de la Investigación.....	9
2.4. Base Teórica.....	13
2.5. Bases conceptuales.....	24

III. DISEÑO METODOLÓGICO .....	28
3.1. Diseño de contrastación de hipótesis y procedimiento de la investigación .....	28
3.2. Población y Muestra .....	29
3.3. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales .....	29
IV. RESULTADOS .....	31
4.1. Caracterizar los parámetros de los paneles fotovoltaicos y su costo .....	31
4.2. Análisis del costo total del sistema fotovoltaico en función de la energía requerida y las configuraciones serie-paralelo compatibles con los parámetros de los reguladores de carga .....	40
4.3. Determinar según comparación de parámetros eléctricos y económicos la optimización de selección de paneles fotovoltaicos .....	52
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	64
VI. PROPUESTA DE INTERVENCION .....	71
6.1. Objetivo de la propuesta .....	71
6.2. Justificación de la propuesta .....	71
6.3. Propuesta metodológica .....	72
IV. CONCLUSIONES .....	79
IV. REFERENCIAS .....	80
ANEXOS .....	86

## **INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título**

Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas

### **Autor**

Bach. Arturo José Navarrete Núñez

### **Asesor de especialidad**

Mg. Jony Villalobos Cabrera

### **Línea de investigación**

Energías renovables y eficiencia energética

### **Lugar**

Chiclayo – Lambayeque - Perú

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un procedimiento técnico-económico para seleccionar paneles fotovoltaicos en sistemas aislados, considerando la relación entre potencia, costo y desempeño. Se evaluaron nueve modelos comerciales en niveles de demanda de 10 a 200 kWh/día. La metodología incluyó el cálculo de energía diaria, dimensionamiento del campo solar, configuración eléctrica serie-paralelo y validación de compatibilidad con el rango de operación MPPT (80–450 V). Se aplicó un modelo multicriterio ponderado, considerando como criterios el costo total del sistema, el área ocupada y la cantidad de paneles en serie. Además, se incorporaron análisis de caída de tensión, costo de cableado y terreno. Los resultados indican que el modelo 455W-M es óptimo para demandas superiores a 30 kWh/día, mientras que para 10 y 20 kWh/día destacan los modelos 340W-P y 545W-M, respectivamente. La selección se basó en configuraciones que ofrecieran menor número de paneles, mayor eficiencia y menor inversión total. Se concluye que la metodología propuesta permite estandarizar la selección de paneles para proyectos aislados, optimizando criterios técnicos y económicos de forma replicable.

**Palabras clave:** selección de paneles, sistemas fotovoltaicos aislados, análisis técnico-económico.

## ABSTRACT

The present research aims to develop a technical-economic procedure for selecting photovoltaic panels in isolated systems, considering the relationship between power, cost, and performance. Nine commercial models were evaluated across demand levels ranging from 10 to 200 kWh/day. The methodology included the calculation of daily energy, sizing of the solar field, series-parallel electrical configuration, and validation of compatibility with the MPPT operating range (80–450 V). A weighted multicriteria model was applied, considering total system cost, occupied area, and number of panels in series as evaluation criteria. Additionally, voltage drop, cable cost, and land cost analyses were incorporated. The results indicate that the 455W-M model is optimal for demands above 30 kWh/day, while the 340W-P and 545W-M models are preferred for 10 and 20 kWh/day, respectively. The selection was based on configurations offering fewer panels, higher efficiency, and lower total investment. It is concluded that the proposed methodology allows for standardizing panel selection for off-grid projects, optimizing technical and economic criteria in a replicable manner.

**Keywords:** panel selection, isolated photovoltaic systems, technical-economic analysis.

## I. INTRODUCCION

### 1.1. Realidad problemática

La selección adecuada de paneles fotovoltaicos es crucial para la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de generación de energía en áreas aisladas, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos puede reducir significativamente los costos de energía eléctrica y el impacto ambiental negativo [1]. En zonas donde se puede aprovechar radiación solar fotovoltaica, un análisis exhaustivo de la correlación entre potencia y costo de los paneles puede optimizar la inversión y mejorar el acceso a la energía, la importancia de un diseño adecuado puede asegurar la viabilidad económica y técnica de los sistemas fotovoltaicos [2].

A nivel internacional, la adopción de tecnologías fotovoltaicas ha sido impulsada por la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y depender menos de los combustibles fósiles. Países como Alemania y China han implementado políticas para fomentar el uso de energía solar, logrando avances significativos en la reducción de sus huellas de carbono [3].

En Perú, el acceso a la energía en áreas rurales es limitado, las zonas rurales de Perú enfrentan desafíos importantes para acceder a energía eléctrica confiable. La implementación de sistemas fotovoltaicos en estas áreas es esencial para mejorar la calidad de vida y promover el desarrollo sostenible [4]

En Chiclayo, las condiciones climáticas son ideales para la generación de energía solar. Sin embargo, la falta de información precisa sobre la selección de paneles adecuados ha sido un obstáculo significativo[5]. Este estudio pretende llenar ese vacío y proporcionar una guía práctica para la optimización de proyectos solares en la región.

El estudio se realizará en Chiclayo, Perú, una ciudad que cuenta con alta radiación solar, lo cual es favorable para la generación de energía fotovoltaica. A pesar de este potencial, la falta de estudios específicos y la variabilidad en la calidad y costo de los paneles dificultan la implementación eficiente de estos sistemas [4]

Las causas principales del problema incluyen la diversidad de paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado y la falta de información clara sobre la correlación entre

potencia y costo. La variabilidad en las especificaciones técnicas y los precios de los paneles complica la selección óptima para proyectos específicos. Esta situación es exacerbada por la ausencia de estudios locales detallados [3].

Si no se aborda esta problemática, Chiclayo podría enfrentar desafíos significativos, como baja eficiencia energética y altos costos de mantenimiento e instalación. Esto podría desalentar la adopción de tecnologías fotovoltaicas y perpetuar la falta de acceso a energía confiable en áreas rurales, como indica el estudio de [5].

Las variables independientes en esta investigación serán la potencia y el costo de los paneles fotovoltaicos, estas variables son críticas para determinar la viabilidad técnica y económica de los sistemas fotovoltaicos [6]

La variable dependiente será la selección de los paneles fotovoltaicos. El objetivo es desarrollar un modelo que facilite la selección de paneles basándose en un análisis detallado de la correlación entre la potencia y el costo, optimizando así la eficiencia y rentabilidad de los sistemas [6].

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Formulación del problema**

El problema surge de la necesidad de obtener una relación entre la potencia y el costo del panel solar para su selección en los sistemas de generación fotovoltaica aislados:

¿Cómo seleccionar paneles fotovoltaicos considerando su potencia y costo, para optimizar el diseño técnico-económico de centrales fotovoltaicas aisladas?

### **1.2.2. Preguntas específicas del problema**

- a) ¿Cuáles son las características eléctricas y costo de distribuidor de paneles para caso de estudio?
- b) ¿Cuál es la relación entre costo vs energía requerida?
- c) ¿Cuál es la relación entre costo vs voltaje de campo para inversor de demanda?
- d) ¿Cuál es la relación entre costo vs matriz serie paralelo?

- e) ¿Cuál es la selección más óptima de paneles fotovoltaicos según la comparación de parámetros eléctricos y costo?

### **1.3. Hipótesis**

En la presente investigación no se formula una hipótesis debido a que el enfoque del estudio no busca establecer relaciones causales ni probar una suposición mediante contraste estadístico. El objetivo principal consiste en desarrollar una metodología para la selección óptima de paneles fotovoltaicos en sistemas aislados, mediante el análisis técnico y económico de distintas configuraciones. Este tipo de estudio, de carácter aplicado, descriptivo y propositivo, se centra en la elaboración y validación de un modelo de toma de decisiones, más que en la comprobación de una hipótesis. Por tanto, el diseño metodológico adoptado es coherente con la ausencia de una hipótesis explícita, lo cual es común y adecuado en investigaciones de ingeniería orientadas al desarrollo de soluciones prácticas y sistematizadas.

### **1.4. Justificación de la investigación**

Los sistemas fotovoltaicos son requeridos en zonas aisladas, en muchas regiones del mundo, especialmente en áreas rurales o remotas, el acceso a una fuente de energía confiable es limitado o inexistente. Las centrales fotovoltaicas aisladas representan una solución prometedora para proporcionar energía limpia y sostenible en estas áreas.

La eficacia de los sistemas fotovoltaicos depende en gran medida de la selección adecuada de los paneles solares. Sin embargo, la falta de información sobre cómo la correlación entre la potencia y el costo de los paneles afecta al diseño y la rentabilidad de estas centrales dificulta la toma de decisiones informadas. Actualmente, los diseñadores de sistemas fotovoltaicos enfrentan dificultades para seleccionar los paneles más apropiados debido a la falta de conocimiento sobre este tema. Esto puede resultar en decisiones subóptimas en la selección de paneles, lo que a su vez puede llevar a sistemas que no cumplen con las necesidades energéticas, altos costos de instalación y mantenimiento, o una baja eficiencia energética, por lo que se busca generar este conocimiento para mejorar la selección técnica de paneles basados en su parámetro técnico más relevante y el aspecto económico que este conlleva.

La selección adecuada de paneles fotovoltaicos no solo tiene un impacto en la eficiencia energética y la fiabilidad de los sistemas, sino también en la sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo de las centrales fotovoltaicas aisladas. Por lo tanto, es crucial desarrollar un método de análisis que permita tomar decisiones informadas y optimizar la selección de paneles para maximizar la eficiencia y reducir los costos.

En resumen, la justificación de esta tesis radica en la necesidad de desarrollar un método de análisis que permita seleccionar los paneles fotovoltaicos más adecuados para maximizar la eficiencia energética, reducir los costos y garantizar el suministro confiable de energía en las centrales fotovoltaicas aisladas. Esto contribuirá significativamente a mejorar la calidad de vida en estas comunidades y promover la adopción de energías renovables

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivo General**

Analizar la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterizar los parámetros de los paneles fotovoltaicos y su costo
- Analizar la relación entre costo vs energía requerida según sus configuraciones y los parámetros eléctricos de los componentes de control
- Determinar según comparación de parámetros eléctricos y económicos la optimización de selección de paneles fotovoltaicos

## II. DISEÑO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Aspectos Generales

La creciente demanda de energía sostenible ha impulsado la investigación y desarrollo de sistemas fotovoltaicos aislados como una solución clave para electrificar áreas rurales y remotas. Estos sistemas permiten aprovechar la radiación solar para generar electricidad sin necesidad de estar conectados a la red eléctrica. El diseño de estos sistemas incluye componentes como paneles solares, sistemas de almacenamiento y, en algunos casos, fuentes de energía complementarias como generadores diésel [7]. Además, la selección de componentes en función de la potencia requerida y el costo es fundamental para garantizar la sostenibilidad técnica, económica y ambiental de estos sistemas [8].

El uso de baterías en configuraciones fotovoltaicas ha sido ampliamente estudiado, destacándose baterías de plomo-ácido, AGM y de iones de litio por su eficiencia y adaptabilidad [9]. La optimización del ciclo de vida de los componentes y la reducción de costos también son aspectos prioritarios en el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados [10].

#### 2.1.2. Tendencias Internacionales

A nivel internacional, se observa un creciente interés en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos sostenibles que integren tecnologías emergentes y metodologías de optimización avanzada. Por ejemplo, el uso de algoritmos híbridos como Harmony Search-Simulated Annealing ha demostrado ser efectivo para optimizar la ubicación y el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos híbridos [11]. Además, las configuraciones bifaciales y con seguimiento solar han permitido maximizar la eficiencia energética en diversas aplicaciones globales [12].

El impacto global de las energías renovables en la transición energética también ha sido objeto de análisis. Lazaroiu et al. [13] destacan los avances tecnológicos en celdas solares de alta eficiencia como las de tandem y perovskita, las cuales representan una promesa significativa para aumentar el rendimiento energético de los sistemas fotovoltaicos.

### **2.1.3. Casos Nacionales o Regionales**

En Perú, el potencial de la energía solar ha sido ampliamente reconocido y aprovechado en proyectos para electrificar comunidades rurales. Cacciuttolo et al. [14] resaltan la implementación de proyectos solares en operación y planificación, destacando el impacto positivo de estas iniciativas en la reducción de la huella de carbono. Además, Rinaldi et al. [15] estudiaron sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel en comunidades peruanas, mostrando cómo estas configuraciones pueden satisfacer las necesidades energéticas de manera eficiente y sostenible.

La electrificación rural en otros países de América Latina, como Bolivia y Argentina, también ofrece lecciones importantes. Fernandez-Fuentes et al. [16] destacan los avances en almacenamiento y diseño de sistemas solares adaptados a condiciones locales, promoviendo el acceso a energía limpia en comunidades remotas.

### **2.1.4. Enfoques Técnicos**

Los enfoques técnicos en el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados se centran en la selección óptima de componentes y configuraciones que minimicen costos y maximicen la eficiencia energética. Por ejemplo, Ridha et al. [7] analizaron diferentes combinaciones de baterías y paneles solares para garantizar una operación confiable en sistemas autónomos. Asimismo, Rodríguez-Gallegos et al. [12] demostraron la superioridad de las configuraciones bifaciales con seguimiento solar frente a las tradicionales en términos de producción energética.

En cuanto a la integración de tecnologías emergentes, LazaroIU et al. [13] destacan el potencial de las celdas de perovskita y tandem para mejorar la eficiencia de conversión energética, mientras que Cai et al. [11] subrayan la importancia de considerar factores como la confiabilidad y el costo del ciclo de vida en sistemas híbridos.

### **2.1.5. Metodologías y Herramientas**

La aplicación de metodologías avanzadas ha sido clave para optimizar el diseño de sistemas fotovoltaicos. Ndwali et al. [10] emplearon programación lineal mixta entera para minimizar

costos del ciclo de vida en sistemas conectados a la red. Por su parte, Ridha et al. [7] utilizaron el algoritmo MADE para optimizar sistemas aislados, considerando parámetros como el costo nivelado de energía (LCOE).

El software HOMER también ha sido ampliamente utilizado para evaluar configuraciones técnico-económicas en proyectos híbridos [15]. Este tipo de herramientas permite realizar simulaciones avanzadas y analizar la viabilidad de diferentes escenarios energéticos.

### **2.1.6. Impacto Social**

Los sistemas fotovoltaicos no solo ofrecen beneficios energéticos, sino también sociales y ambientales significativos. Fernandez-Fuentes et al. [16] destacan la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la mejora en la calidad de vida de comunidades rurales que ahora tienen acceso a energía eléctrica. Asimismo, Cacciuttolo et al. [14] enfatizan el papel de las energías renovables en la promoción del desarrollo sostenible y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles.

En conjunto, estas iniciativas refuerzan la importancia de integrar aspectos técnicos, económicos y sociales en el diseño de sistemas fotovoltaicos para maximizar su impacto positivo en las comunidades beneficiadas.

## **2.2. Bases epistemológicas**

### **2.2.1. Paradigma de la Investigación**

El paradigma que sustenta esta investigación es el positivismo, el cual se enfoca en la obtención de resultados objetivos, medibles y verificables mediante un análisis riguroso. Este enfoque permite abordar el problema desde una perspectiva científica, estableciendo relaciones claras entre las variables involucradas, como la potencia y el costo de los paneles fotovoltaicos. La selección de paneles basada en datos cuantitativos y técnicamente fundamentados respalda el desarrollo de metodologías que optimicen el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados (SFV).

### 2.2.2. Objetivo Central del Estudio

La pregunta central de la investigación es: ¿Existe una relación para la selección de paneles fotovoltaicos según su potencia y costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas?. Este estudio busca determinar un método eficiente para seleccionar paneles fotovoltaicos que no solo maximicen la potencia, sino que también consideren criterios económicos y de sostenibilidad. El objetivo es proporcionar herramientas que permitan a los diseñadores tomar decisiones fundamentadas en datos técnicos y financieros, evitando la suposición común de que los paneles de mayor potencia son siempre la mejor opción.

### 2.2.3. Fundamento Teórico y Conceptual

El marco teórico de esta investigación se basa en principios clave de la energía fotovoltaica y su optimización, incluyendo:

- **Principios fundamentales de la energía fotovoltaica:** Comprensión de cómo los paneles convierten la radiación solar en energía eléctrica.
- **Parámetros fotovoltaicos:** Factores como eficiencia, potencia máxima, voltaje y corriente que determinan el rendimiento de los paneles.
- **Características de los paneles fotovoltaicos (PF):** Comparación de diferentes tecnologías, como paneles monocristalinos, policristalinos y bifaciales.
- **Cálculos de dimensionamiento:** Métodos para determinar la cantidad de paneles requeridos en un SFV.
- **Costos asociados:** Análisis del costo nivelado de energía (LCOE) y otras métricas económicas.

### 2.2.4. Metodología

El método principal utilizado es el análisis tecnoeconómico, que permite evaluar tanto el rendimiento técnico como los costos asociados a diferentes configuraciones de paneles fotovoltaicos. Este enfoque combina el uso de herramientas como Microsoft Excel para calcular la cantidad de paneles y cables necesarios, considerando las potencias de paneles disponibles en el mercado, la radiación solar promedio de Chiclayo y una cantidad diaria de

energía requerida establecida por criterio propio. Estos cálculos permiten identificar las mejores soluciones en términos de potencia y costo para un diseño eficiente.

### **2.2.5. Relación con el Contexto**

Esta investigación responde a una problemática práctica observada en las actuales prácticas de selección de paneles fotovoltaicos, donde la elección de paneles se basa en la idea de que "mayor potencia equivale a mejor opción". Sin embargo, esto no siempre resulta económicamente favorable, especialmente en el contexto de sistemas aislados que buscan optimizar recursos limitados. En Perú y otras regiones en desarrollo, la implementación de metodologías más precisas puede contribuir significativamente a mejorar la adopción de energía solar en comunidades rurales.

### **2.2.6. Impacto y Aplicaciones**

El impacto de esta investigación es doble. Por un lado, se espera demostrar que la selección de paneles basada exclusivamente en la potencia máxima no siempre es la mejor estrategia, promoviendo en su lugar un enfoque integral que considere factores económicos, técnicos y ambientales. Por otro lado, esta metodología puede ser replicada en contextos similares para fomentar el uso de energías renovables de manera sostenible, reduciendo costos y mejorando el acceso a la energía en comunidades rurales.

## **2.3. Antecedentes de la Investigación**

En [4] su investigación titulada "Modelo Estratégico Multicriterio Para La Selección De La Mejor Alternativa De Suministro Eléctrico Fotovoltaico En Instituciones Prestadoras De Servicios De Salud" muestra la aplicación de la metodología DEMATEL y AHP para la toma de decisiones sobre las propuestas en sistemas fotovoltaicos para comparar y designar la más adecuada mediante el peso ponderado de los subcriterios determinados mediante las metodologías mencionadas, dentro de los criterios de selección establecen un sub criterio económico que es del "costo del proyecto" y un criterio técnico "potencia por metro cuadrado" estos se ponderan para determinar su importancia mediante el método TOPSIS el cual pone al primer criterio económico con una ponderación de 0.086 mientras que la potencia por metro cuadrado está ubicada en el tercer puesto con una ponderación del 0.047, el estudio realizó análisis de sensibilidad retirando opiniones y propuestas de

validación determinando que la metodología establecía las mismas condiciones aun si las propuestas cambiaban o se retiraban.

En [3] se realiza una investigación para diseñar una central fotovoltaica en Castellón y estudiar la viabilidad económica del uso de baterías para la participación en servicios de ajuste del sistema eléctrico, el diseño comprende dimensionado de la planta, elección del panel, del inversor, del centro de transformación, de los conductores, las protecciones, así como cada uno de los elementos necesarios para su funcionamiento e integración a la red eléctrica, utiliza la aplicación web Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) para una simulación de la producción de energía eléctrica, con la cual se calculó de las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas y los beneficios producto de vender dicha energía en el mercado eléctrico mayorista de la península ibérica. El sistema utiliza el módulo FV JA Solar JAM54S30 415/MR el cual es un módulo solar monocristalino, el investigador menciona que la razón principal de esta elección es por su gran eficiencia, potencia pico y tensión de aislamiento de 1500V DC, que según explica permite series más largas, reduciendo las corrientes y por lo tanto menos pérdidas del sistema, lo que se traduce según este en menores costes de operación. El campo solar se compone de 15200 paneles teniendo una potencia de 6308 kW, el costo del panel se muestra en 181.03 que hace un total de 2'751,656.00 el cual es un 56.11% del presupuesto total de 4'904,412.28. el análisis no muestra ninguna relación sustentada en el documento sobre la selección del panel solo menciona que el gasto de operación será menor, aunque no lo demuestra.

En [17] su investigación desarrolla el diseño de una central fotovoltaica de 10 kW para el suministro de energía eléctrica al caserío la Devora-Pariñas-Talara, el investigador realizo un levantamiento de datos en la zona recogiendo “los valores de energía eléctrica” de las 20 familias según encuesta, según la ubicación del caserío utilizo la herramienta informática Data Access Viewer para obtener la radiación de la zona. El campo solar se dimensiona con 45 módulos fotovoltaicos teniendo así una potencia del campo de 24.3 kW la investigación solo tiene un aspecto teórico para el cálculo de la cantidad de paneles el cual se determina mediante la energía requerida diaria entre la potencia del panel con las horas solares pico y un factor de funcionamiento (PR de 0.60 a 0.95) pero no se menciona el por qué la selección específica de los paneles con esa potencia ya que cualquier otro panel satisface la ecuación debido a que al tener un resultado decimal o fraccionario se selecciona el inmediato superior,

el costo de cada panel es de S/. 1,356.63 teniendo un total de S/ 61,048.35 solamente para los paneles y siendo costo total de la instalación del sistema fotovoltaico es de S/.315,635.09 el costo de los paneles es solamente el 19% del total de la central.

En [18] su investigación desarrolla un plan de proyecto para implementar un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, según le objetivo que se buscó en la investigación identifica tres alternativas para la solución del problema que son un plan de gestión para el uso eficiente de energía, sistema solar fotovoltaico y sistema de energía eólica. La evaluación se realiza por tiempo de implementación, costo y beneficio la selección más idónea según el investigador fue la propuesta de optimización de la infraestructura energética a través de la implementación de sistemas alternativos de energía eléctrica a través de paneles solares, el sistema de selección no tuvo ningún sentido ni justificación solamente se consideró el área libre de cada edificio teniendo dos terrazas en la primera se tomaron 54 paneles y en la segunda 30 además de un inversor de 30 KVA y 15 KVA respectivamente sin tener ningún sustento técnico ni de cálculo. La radiación se obtuvo de estación meteorológica ubicada en el edificio y se simuló en el software PVSYST utilizando paneles de 590 Wp, ambos sistemas producen 17.70 kWp y 31.90 kWp haciendo un total de 49.60 kWp, el panel cuesta \$ 908.815 considerando los 54 paneles el costo de estos es de \$ 48968.010 representando el 44% del total de \$ 112,082.023 del suministro de elementos fotovoltaicos.

En [6] realiza el diseño de un sistema de generación fotovoltaica con la capacidad de abastecer energía eléctrica al centro poblado la Schoclla-Cajamarca 2019, calcula la demanda del caserío según la normativa vigente del país y la proyecta a 20 años, la radiación solar se recogió según el investigador, para la radiación solar utilizó el Mapa interactivo de NREL, para la selección del panel no menciona ningún criterio de ningún tipo pero selecciona un panel CSUN320-7UP, lo resaltante es que muestra una metodología en cuanto a la selección de la cantidad de paneles debido a la configuración serie paralelo ya que hace hincapié en un “error” mencionado por el investigador que es la cantidad de paneles por encima de los requeridos por el cálculo matemático para el campo solar, debido a que el inversor tiene un ingreso de voltaje MPPT 64-145 V para 48V de batería así se puede tener muchas combinaciones de paneles en serie que al no poder fraccionarse cuando se coloquen en paralelo sobredimensionando el campo solar al optar por más paneles de los requeridos, en este sentido el investigador selecciona la configuración del panel de menor sobredimensionamiento que lo designa mediante el error de

0.26 con un sobredimensionamiento del 3%. Según la selección de la configuración de paneles el campo solar cuanta con 42 a un costo de S/ 907.00 siendo un total el gasto por paneles de S/ 38,094.00 lo que representa el 21% de total de suministro que asciende a S/ 181,872.92.

En [19] realiza un diseño de una central fotovoltaica para generar energía eléctrica al anexo El Cardón del Caserío Pueblo Nuevo del Distrito de San Juan Cajamarca 2019, calcula la demanda el caserío por medio de normativa, para determinar la radiación utilizo la pagina iterativa de la NASA el Data Access Viewer, para la selección del panel solar no utilizo ningún método y utilizo un panel de 370Wp solo calculo la cantidad de paneles totales y por separado la matriz serie – paralelo tomando como base los paneles totales, 1 x 933 aproximando la cantidad de paneles, en cuanto al costo el panel tiene un costo unitario de S/ 1,106.25 siendo un total en paneles de S/ 1,032,131.25 lo que representa el 79.12% del suministro de materiales total que asciende a S/ 1,304,479.51.

En [20] la realiza un análisis para la selección de paneles fotovoltaicos en función de rangos de ponderaciones de criterios y criterios de evaluación equilibrados, realiza la revisión de 12 antecedentes donde determina los métodos MCDA utilizados para determinar los problemas de decisión multicriterio relacionados con paneles fotovoltaicos, entre los criterios y sub criterios realiza una recopilación se los antecedentes revisados de 17 criterios para entre estos la potencia del panel es el primer criterio mencionado los demás criterios también son técnicos como temperatura, voltajes, amperaje y resistencia mecánica, pero el costo no aparece como un criterio de análisis. La metodología de investigación adoptada utilizó el modelado estocástico de ponderaciones de criterios Monte Carlo, luego de la última de este modelo, se utiliza el procedimiento MCDA denominado PROSA, que determina la clasificación de alternativas (paneles fotovoltaicos), este enfoque permite seleccionar paneles fotovoltaicos que son buenos en todos los aspectos y omitir paneles que son muy buenos en un aspecto y muy malos en otro criterio. La contraparte de esta metodología es la influencia del experto ya que si se desacredita este se socavaría la solución obtenida, aunque el uso de ponderación de criterios precisos permite mejorar el proceso de decisión no puede eliminar totalmente la participación del experto ya que brindaría una solución imprecisa y confusa.

## **2.4. Base Teórica**

### **2.4.1. Principios fundamentales de la energía fotovoltaica**

La energía solar es un recurso desde los principios de existencia de la tierra su uso radica desde la existencia de la humanidad griegos, romanos y chinos fueron las primeras culturas A.C. que utilizaron la energía del sol para beneficio de la humanidad, en 1883 Charles Fritts describe la primera celda solar fabricada con obleas de selenio desde aquí la evolución de las celdas solares permiten utilizar la excitación eléctrica de la luz solar en algunos metales hasta la actualidad que ya es un echo la tecnología solar y la búsqueda de mejoras en este campo para aprovechar la energía solar bajo el espectro fotovoltaico [21]

Cuando la energía fotovoltaica se convierten en energía eléctrica de manera directa por medio de celdas solares al conectarse a una carga debido a la diferencia de potencial que se obtiene al recibir esta radiación fotovoltaica se denomina efecto fotovoltaico, aunque en 1839 se descubrió por el físico francés Edmon Becquerel que algunos materiales podían tener este efecto se tuvo que esperar hasta que los avances tecnológicos relacionados con física cuántica y semiconductores permitieran la evolución de este dispositivo, actualmente los semiconductores son el material con el que se fabrican las celdas solares, la primera celda construida tuvo una eficiencia del 1%, en el 2007 Spectrolab reporto eficiencias cercanas al 40% con celdas de tecnología multi-union, actualmente la fabricación de celdas con nanotecnología reportan eficiencias del 23.4% [22]

La célula fotovoltaica es una tecnología que convierte la irradiación solar de manera directa en corriente eléctrica, no tiene partes móviles ni genera contaminación en la conversión. Generalmente están fabricadas con un semiconductor de silicio y cuentan con contactos metálicos y un recubrimiento que permite aumentar la eficiencia de la célula por reflexión reducida [23]. El voltaje en cada célula es relativamente estable, alcanzando aproximadamente 0.55 V CC [24] para generar mayores voltajes, estas células se combinan en serie o en paralelo, formando así un panel o módulo fotovoltaico [25].

### **2.4.2. Parámetros fotovoltaicos**

#### **a) Irradiancia e irradiación**

La energía que genera llega a la tierra en forma de radiación electromagnética, para cuantificar los parámetros de potencia y energía se utilizan la irradiancia que es la potencia que recibe la superficie terrestre por unidad de área ( $W/m^2$ ) y la irradiación o radiación que es la energía recibida por unidad de superficie durante un tiempo determinado ( $Wh/m^2$ ), matemáticamente la irradiación es la integral de la irradiancia en un periodo de tiempo determinado [26]

**b) Horas solares pico (HSP)**

Esta se define como el número de horas en un día que tiene irradiancia de  $1000 W/m^2$  que es igual al total de radiación real en ese día sobre una superficie con orientación  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ . Para determinar las HSP en un día se divide la radiación de un punto específico entre la irradiancia estándar que es de  $1000 W/m^2$  como lo muestra la ecuación 1 [27].

$$HSP_{(\alpha;\beta)} = \frac{G_{dm(\alpha;\beta)}}{1000 W/m^2} \quad 1$$

Donde:

$HSP(\alpha;\beta)$  : Número de horas solares pico en un módulo con orientación e inclinación  $(\alpha;\beta)$ .

$G_{dm}(\alpha;\beta)$  : Valor diario mensual de radiación global en con orientación e inclinación  $(\alpha;\beta)$ .

En la figura 1 se muestra las horas pico solares en referencia a la radiación solar en todo un día:



Figura 1. Horas solares pico adaptado de Mascaros, 2016 [27].

c) **Condiciones estándares de medida (STC)**

Son las condiciones climatológicas establecidas que condicionan el comportamiento del módulo fotovoltaico desde el punto de vista eléctrico, las condiciones estándares climatológicas según [18] se muestran en la tabla I

TABLA I.

CONDICIONES AMBIENTALES ESTANDAR

Parámetro	cantidad	Unidad
Temperatura (T)	25	°C
Irradiancia (G)	1000	W/m <sup>2</sup>
Masa de aire (MA)	1.5	

### 2.4.3. Panel solar fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es un conjunto de celular fotovoltaicas unidas entre si formando una estructura fotovoltaica que generan energía eléctrica en corriente continua a partir de energía lumínica recibida de la radiación solar, los sistemas energéticos de todos los países a nivel mundial utilizan energía alterna en casi tu totalidad de artefactos por lo que la energía generada por los paneles debe convertirse casi siempre en energía alterna [28].

Los paneles fotovoltaicos tienen una clasificación común en cuanto a la forma del material de fabricación de las celdas el cual a su vez depende del proceso de fabricación y los elementos utilizados en ellas, todo esto lo relaciona con el costo del panel y funcionamiento del panel en la tabla II se muestran la clasificación más común para los paneles fotovoltaicos [29].

TABLA II.

#### CLASIFICACION DE PANELES SOLARES

Tipo	material	Características
Monocristalino	De un cristal de silicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mas eficientes (15%-17%)</li> <li>- Mas costosos</li> <li>- A la vista: Tonos parejos y homogéneo</li> </ul>
Policristalinos	De varios cristales de silicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos eficiente (12%-14%)</li> <li>- Mas económicos</li> <li>- A la vista: se observa la mezcla de varios cristales</li> </ul>
Amorfo	Película delgada de silicio no-cristalino sobre diferentes tipos de superficie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy poco eficiente (10%)</li> <li>- Muy económicos.</li> <li>- Pueden fabricarse celdas flexibles</li> </ul>

#### 2.4.4. Características de un panel fotovoltaico

Los paneles solares como todo dispositivo eléctrico tienen características de potencia y parámetros eléctricos que lo distinguen, las características más importantes en un panel solar según [30] se muestran en la figura 2.

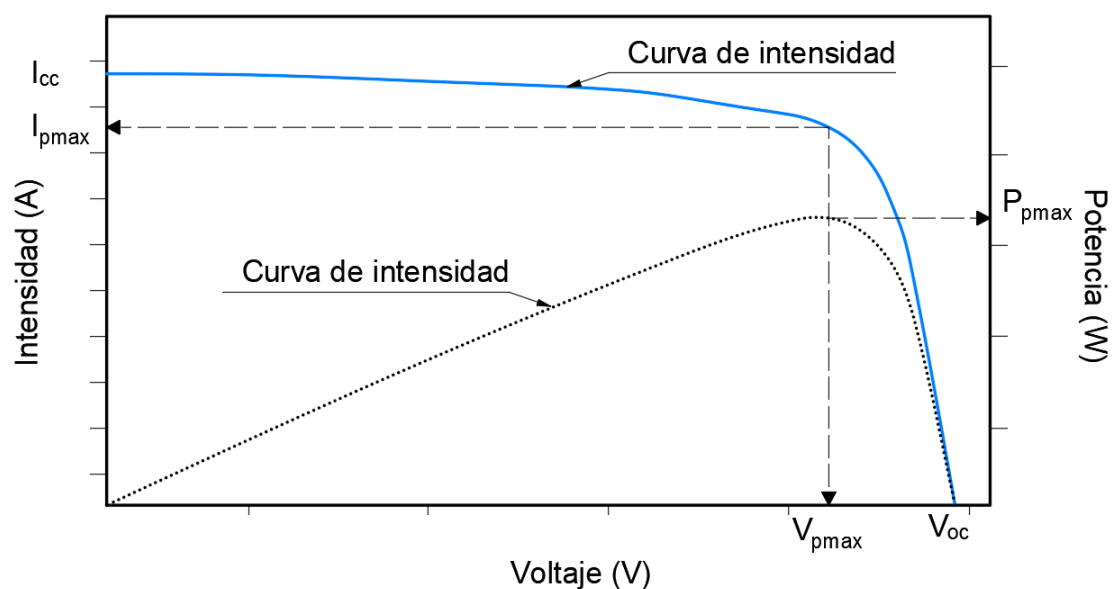


Figura 2. Curva característica de un panel bajo condiciones STC adaptado de [31].

$P_{max}$  : Potencia máxima en vatios que puede entregar el panel a la carga

$I_{pmax}$  : Intensidad de corriente en amperios a la máxima potencia del panel.

$V_{pmax}$  : Voltaje en voltios en el punto de potencia máxima.

$I_{cc}$  : intensidad en cortocircuito, resultante de cortocircuitar el panel.

$V_{oc}$  : Voltaje en vacío, voltaje obtenido del panel sin estar conectado a carga

En cuanto a la potencia en un panel solar se debe tener en cuenta ciertos aspectos para complementar concepto, primero esta que la potencia máxima es una potencia pico esto significa que la potencia referida es la que otorga un panel solar fotovoltaico bajo las condiciones estándar de G, T y MA, es decir que si estas condiciones estándar cambian la potencia pico también. Ahora al hablar de potencia máxima también se hace referencia solamente a la potencia que puede otorgar el panel cual el voltaje e intensidad del panel son máximos y se determina por el producto de ambas como se muestra en la ecuación 2 [32].

$$P_{max} = V_{pmax} I_{pmax}$$

2

Entonces se entiende que la potencia es el resultado de los parámetros eléctricos generados por el panel fotovoltaico y también se entiende que no se tendrá la misma potencia todo el día de funcionamiento del panel por lo que se observa la curva de voltaje intensidad en la figura 3 [33].

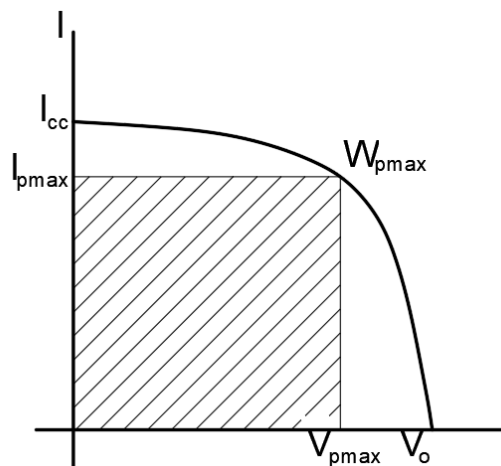


Figura 3. Curva de Potencia máxima o potencia pico de un panel en función de la intensidad y voltaje en condiciones estándar adaptado de Rojas, 2014 [33]

Al ser una curva que depende de la irradiancia y temperatura es obvio determinar que al variar estos valores la curva también tiene variación, al modificarse estos dos parámetros produce en las células solares y por ende en el panel una variación negativa, es decir que al disminuir la irradiancia o aumentar la temperatura en el panel también reduce su potencia, la disminución de potencia se da debió a la reducción de intensidad ya que el voltaje no sufre una variación relevante, en el caso de la temperatura se menciona que el panel reduce 0.5% por cada grado de temperatura que aumenta la célula sobre los 25 °C, en ese sentido en ciertos procedimientos de cálculo el rendimiento de panel en el sistema se multiplica por 0.9, en la figura 4 se muestra las curvas características con las variaciones mencionadas [34].

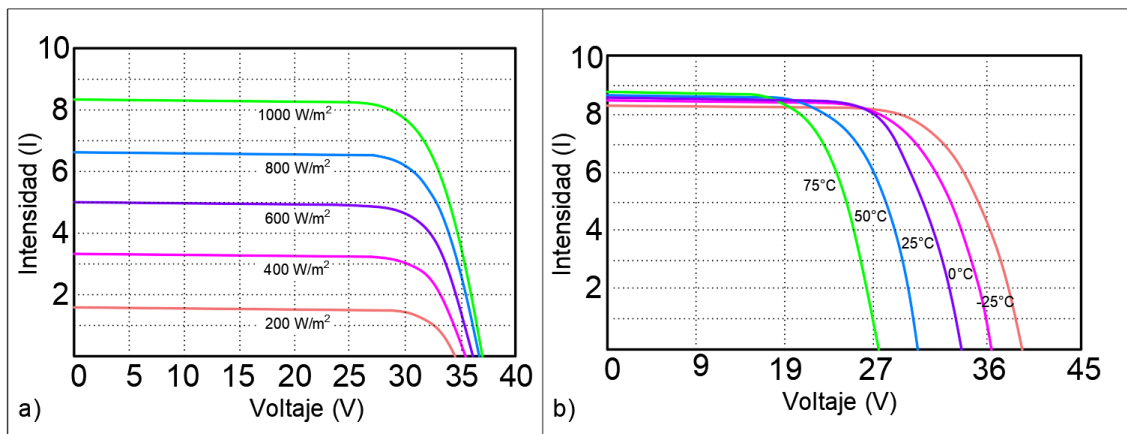


Figura 4. a) curva I-V referente a la irradiancia, b) curva I-V referente a la temperatura adaptado de Trashorras [34]

La eficiencia ( $\eta$ ) en un panel solar depende de la eficiencia de las celdas solares, esta determinada como una división de la potencia máxima del panel entre la luz que por el área que cubre el panel esto se entiende en la ecuación 3

$$\eta = \frac{P_{max}}{G A} \quad 3$$

Donde

$\eta$  : Eficiencia del panel

$P_{max}$  : Potencia máxima (W)

$G$  : Irradiancia ( $W/m^2$ )

$A$  : Área del panel ( $m^2$ )

La relación entre la potencia que genera el panel y la potencia que incide sobre también representa al rendimiento, hay que tener en cuenta que el rendimiento depende de la impedancia del circuito exterior, a medida que las condiciones de trabajo del panel se alejen del punto de máxima potencia el rendimiento disminuye, cuando se sobre pasa el voltaje a máxima potencia el rendimiento se reduce abruptamente, la eficiencia también se determina mediante la ecuación 5 y se muestra en la figura 4 las curvas de máxima potencia y eficiencia [35]

$$\eta = \frac{V_{pmax} I_{pmax}}{P_{ri}}$$

4

$\eta$  : Eficiencia del panel

$P_{ri}$  : Potencia de la radiación incidente (W)

$I_{pmax}$  : Intensidad de corriente en amperios a la máxima potencia del panel.

$V_{pmax}$  : Voltaje en voltios en el punto de potencia máxima.

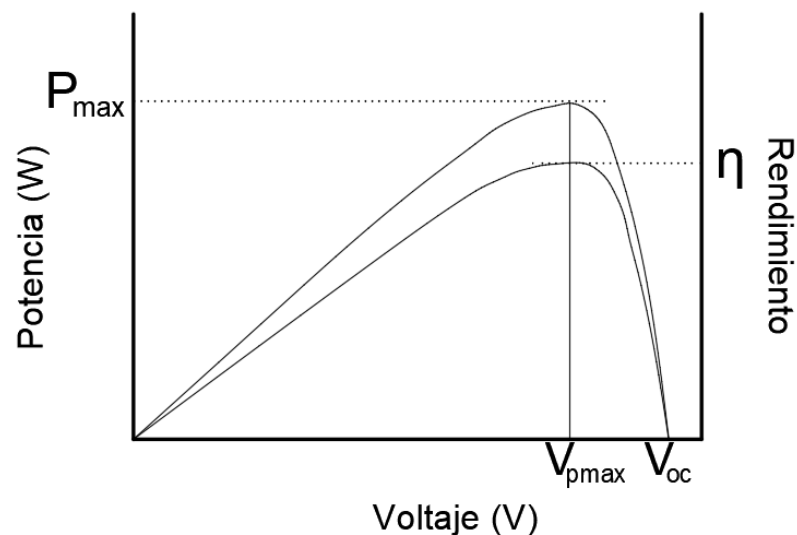


Figura 5. Variación de la potencia y el rendimiento con la tensión adaptado de [35].

#### 2.4.5. Calculo para determinar cantidad de paneles

##### a) Conexionado de paneles fotovoltaico

El primer concepto que se debe tener en cuenta cuando se realiza el calculo de paneles para determinar su cantidad son las conexiones de estos, recordando que estos son dispositivos eléctricos los principios sobre conexiones serie paralelo son las mismas por lo que las conexiones son dependientes de las condiciones a obtener para ampliar el voltaje según el requerimiento del voltaje seleccionado por teoría o del voltaje de requerimiento del dispositivo ya sea inversor o controlador al que se va a conectar la conexión se deberá presentar en serie hasta lograr el voltaje superior o igual al deseado y para el aumento de potencia al tener un voltaje serie definido se conectan en paralelo teniendo así una mayor

potencia al aumentar la intensidad en la figura 6 se muestra las conexiones y los resultados de los parámetros eléctricos [26] .

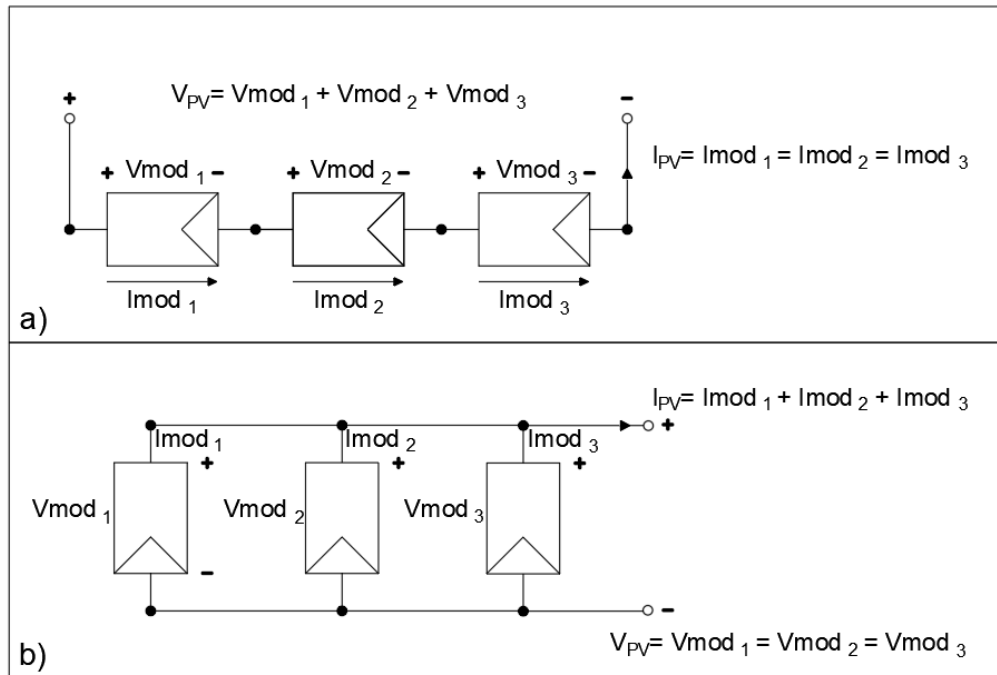


Figura 6. a) conexión en serie, b) conexión en paralelo, reproducido de [36]

### b) Cálculo de la cantidad de paneles del campo fotovoltaico

Para determinar la cantidad de paneles que se requiere en un sistema fotovoltaico se requiere conocer las HSP del sistema que en común que coincida con la radiación de la zona, y la potencia del módulo que se va a utilizar así la cantidad de módulos se determina por la ecuación 5 [37].

$$N_T = \frac{E_r}{P_p HSP \eta_m} \quad 5$$

Donde:

$N_T$  : Numero de paneles requerido

$E_r$  : Energía requerida por el sistema (kWh/día)

$P_p$  : Potencia del módulo seleccionado (kW)

HSP : Horas solares pico (h)

$\eta_m$  : rendimiento del módulo (0.9)

El número de módulos en serie se obtiene redondeando por exceso al resultado de la ecuación 6 considerando el voltaje seleccionado para las baterías entre el voltaje máximo del módulo seleccionado [37].

$$N_s = \frac{V_{bat}}{V_{mod}} \quad 6$$

Donde:

$N_s$  : Numero de paneles en serie

$V_{bat}$  : Voltaje de la batería

$V_{mod}$  : Voltaje del panel

El número de paneles en paralelo también se obtiene al redondear por exceso al resultado de la ecuación 7 considerando el número de paneles totales dividido entre el número de paneles en serie [37].

$$N_p = \frac{N_T}{N_s} \quad 7$$

Donde:

$N_T$  : Numero de paneles requerido

$N_s$  : Numero de paneles en serie

$N_p$  : Numero de paneles en paralelo

Por ultimo la cantidad de paneles real se determina del producto de paneles en seria por los paneles en paralelo como lo muestra la ecuación 8 [37].

$$N_{Tot} = N_s N_p \quad 8$$

$N_{Tot}$  : Numero de paneles total

$N_s$  : Numero de paneles en serie

$N_p$  : Numero de paneles en paralelo

**c) Tecnología MPPT (Seguimiento del punto de máxima potencia) y PWM (Modulación por ancho de pulsos)**

Esta tecnología se utiliza en los dispositivos electrónicos del sistema fotovoltaico que son el regulador de carga para las baterías y el inversor-regulador, los dispositivos PWM actúan como un interruptor entre el panel y la batería extrayendo energía de los paneles por encima del voltaje de la batería es el sistema más común y utilizado para cargar baterías de ocio. El sistema MPPT son más sofisticados ya que extraen energía de los paneles a una tensión de máxima potencia esto los hace más eficientes que los anteriores, siendo estos los más utilizados [38].

En cuanto a los PWM se tiene la capacidad de controlar la corriente de carga de las baterías cuidando que no se superen los voltajes de carga máxima permitidos. Su funcionamiento se basa en modificar los ciclos de trabajo de la señal del voltaje de entrada (recibida desde los paneles) para igualarla al valor del voltaje de la batería e inyectar corriente en cantidades adecuadas para cargar las baterías de acuerdo con sus ciclos de carga: carga inicial, absorción y flotación. Los reguladores PWM, solo permiten reducir el voltaje de entrada y no pueden elevar el voltaje ni la corriente [39].

La tecnología más avanzada es la utilizada en el regulador controlador MPPT está diseñado para regular el voltaje generado por los paneles, de tal forma que se pueda inyectar corriente, de forma controlada, para cargar las baterías la mayor parte del tiempo, se caracteriza porque tiene un convertidor DC/DC que sirve para reducir o elevar el voltaje de entrada, manteniéndolo constante a su salida, y una sección de control para extraer la máxima potencia tomada por los paneles solares en cualquier instante [39].

Cuando se comparan las tecnologías en su forma de trabajo se entiende la diferencia de funcionamiento, en un regulador PMW la tensión de trabajo panel-batería lo determina la batería, teniendo los valor de batería 11.4V descargada y 14.4V cargada, un panel de 18V no tendría que trabajar fuera de su rango disminuyendo su rendimiento al entregar un voltaje menor, para una regulador MPPT siempre que el voltaje del panel supere en 2V al de la batería este buscara el voltaje donde el panel entregue su mayor potencia y transformara el voltaje al necesario para la carga de batería. La energía que entra y sale del sistema en ambos

reguladores es la misma pero la tensión y corriente es diferente, con ello aumentado la tensión del panel solar se logra una mejora del 30% de producción en comparación con los PWM. Además, al tener Tensiones elevadas en el campo solar se reducen las pérdidas por caída de tensión en potencias fotovoltaicas elevadas [40].

#### **2.4.6. Costos de los paneles solares**

Como en todo producto los costos de un panel fotovoltaico deben ser compuestos por los costos de material directo que es el material que se puede observar como parte integrante del producto terminado, del material indirecto que son los materiales que se consumen en el proceso, la mano de obra directa que es aquella que fácilmente puede correlacionarse con el producto terminado, la mano de obra indirecta que es la cual realiza actividades imposibles de identificar en el producto por observación directa y los gastos indirectos de fabricación que son los costos que no encajan en los conceptos anteriores [41].

#### **2.5. Bases conceptuales**

Se establecieron tres variables una dependiente y dos independientes su operacionalización de las variables en la tabla III.

#### **TABLA III.**

#### **OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

<b>Tipo</b>	<b>variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Técnicas Instrumentos</b>
Dependiente	Selección de paneles fotovoltaicos	Determinar cuál es el panel más adecuado según características específicas	Costo de campo solar	S./Wp	Cálculo de Correlación entre panel y potencia
Independiente	Potencia de paneles fotovoltaicos	Potencia máxima en vatios que puede entregar el panel a la carga	Potencia pico	Wp	Ficha de análisis de documento: Ficha Datos de Costo – Parámetros eléctricos
			Voltaje de campo fotovoltaico	V	
			Matriz serie-paralelo	Paneles	
	Costo de paneles fotovoltaicos	Valor compuesto que incluye el precio de fabricación, transporte, instalación, y otros costos indirectos	Costo	S/.	

### **2.6.1. Selección de paneles fotovoltaicos**

La selección de paneles fotovoltaicos se refiere al proceso de identificación y evaluación de paneles solares considerando tanto criterios técnicos como económicos. Entre los criterios técnicos destacan la eficiencia, la potencia pico y el voltaje; mientras que los económicos incluyen el costo por watt (Wp) y el costo total del panel [42].

### **2.6.2. Potencia de paneles fotovoltaicos**

La potencia de los paneles fotovoltaicos es la cantidad de energía eléctrica que un panel puede generar bajo condiciones estándar de prueba (STC). Se mide en watts pico (Wp) y depende de factores como la eficiencia de las celdas solares y la irradiancia solar incidente sobre el panel [43].

### **2.6.3. Costo del campo solar**

El costo del campo solar abarca la adquisición de módulos, la instalación del sistema y su mantenimiento durante la vida útil. [44]. Además, de los gastos en el transporte de los componentes al sitio de instalación y la configuración eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento [45].

### **2.6.4. Matriz serie-paralelo**

La matriz serie-paralelo define la configuración eléctrica de los paneles fotovoltaicos, en serie, los voltajes se suman y la corriente permanece constante, mientras que en paralelo ocurre lo contrario, está directamente relacionado con la generación de potencia, especialmente en condiciones de sombreado [46]. En un sistema fotovoltaico la correcta configuración de la matriz serie-paralelo permite alcanzar el voltaje y la corriente adecuados para el inversor y otros dispositivos del sistema [47].

### **2.6.5. Voltaje del campo solar**

El voltaje del campo solar es la tensión eléctrica generada por la configuración serie-paralelo de los paneles fotovoltaicos. Este voltaje debe ser compatible con los requisitos del inversor del sistema, asegurando una transferencia eficiente de la energía generada [48].

### **2.6.6. Costo por watt (Wp)**

El costo por watt es un indicador económico clave en la evaluación de tecnologías fotovoltaicas, ya que permite analizar la relación entre el costo de fabricación de los módulos y la potencia que pueden generar [49]. Esta métrica es utilizada ampliamente en el análisis comparativo de paneles, facilitando la identificación de opciones con mejor relación costo-beneficio [50].

### **2.6.7. Energía diaria requerida**

La energía diaria requerida es un parámetro clave en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, ya que permite estimar la demanda energética de una instalación en función de la generación solar disponible [51]. Se mide en kilowatt-hora por día (kWh/día) y se calcula considerando las necesidades energéticas de los dispositivos que se alimentarán con el sistema fotovoltaico [52].

### **2.6.8. Optimización de la selección de paneles**

La optimización de la selección de paneles fotovoltaicos implica el análisis detallado de parámetros eléctricos, como eficiencia, potencia y voltaje. Estos factores son fundamentales en el diseño de sistemas solares, ya que permiten determinar el tamaño óptimo del sistema para satisfacer la demanda energética con la mejor configuración posible [53]. Otros criterios son los económicos como el costo total y el costo por watt, lo que permite identificar la mejor opción en términos de relación costo-beneficio [54].

### III. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Diseño de contrastación de hipótesis y procedimiento de la investigación

La presente investigación fue de tipo **correlacional**, ya que buscó determinar la relación entre la potencia y el costo de los paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado. Se enmarcó dentro de un diseño no experimental, debido a que no se manipularon las variables, sino que se observaron en su estado natural.

##### 3.1.1. Formulación de hipótesis:

**Hipótesis nula:** No existirá una correlación significativa entre la potencia y el costo de los paneles fotovoltaicos.

**Hipótesis alternativa:** Existirá una correlación significativa entre la potencia y el costo de los paneles fotovoltaicos.

##### 3.1.2. Recolección de datos

Se identificaron proveedores en línea que cumplieron con criterios de selección establecidos. Se priorizaron aquellas plataformas que ofrecieron información detallada y verificable sobre las características eléctricas de los paneles, incluyendo potencia, voltaje e intensidad. Además, se consideraron aquellas tiendas en línea que proporcionaron datos en moneda nacional y con disponibilidad de diferentes tipos de paneles, como monocristalinos y policristalinos, asegurando una variedad en marcas y rangos de potencia y costo. En cuanto a la organización y limpieza de datos, estos se estructuraron en una hoja de cálculo para verificar su exactitud, eliminando duplicados y gestionando valores faltantes o atípicos.

##### 3.1.3. Análisis estadístico:

Se calcularon medidas descriptivas (media, mediana, desviación estándar, rango) y se aplicó la prueba de correlación de Pearson para evaluar la relación entre costo y potencia. Se trabajó con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  (5%), rechazando la hipótesis nula si el valor p fue menor a 0.05. Finalmente, se analizó la fuerza y dirección de la correlación y su impacto en la selección de paneles fotovoltaicos óptimos, considerando los siguientes criterios:  $r = 1$ : Correlación positiva perfecta,  $r = -1$ : Correlación negativa perfecta y  $r = 0$ : No hay correlación

## **3.2. Población y Muestra**

### **3.2.1. Población**

La población de estudio estuvo conformada por las características eléctricas y costos de los paneles fotovoltaicos de empresas en línea.

### **3.2.2. Muestra**

La muestra seleccionada para el análisis correspondió a 34 paneles fotovoltaicos de empresas en línea, considerando información del año 2024.

### **3.2.3. Muestreo**

Se empleó un **muestreo no probabilístico**, debido a que la selección de paneles respondió a criterios específicos de relevancia para el análisis.

### **3.2.4. Criterios de selección**

Para la selección de los paneles analizados, se consideraron los siguientes criterios:

- Disponibilidad de datos completos (potencia, voltaje, intensidad y costo en moneda nacional).
- Representatividad del mercado, incluyendo paneles monocristalinos y policristalinos.
- Diversidad en marcas y rangos de potencia y costo.

## **3.3. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales**

### **3.3.1. Técnicas de recolección de datos**

Se utilizó la técnica de **análisis documental**, obteniendo información de catálogos en línea de proveedores de paneles fotovoltaicos.

### **3.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento empleado fue la "**Ficha Datos de Costo – Parámetros Eléctricos**", presentada en el Anexo 02, en la cual se registraron las variables de interés.

### **3.3.3. Equipos y materiales**

Para el procesamiento y análisis de datos se emplearon herramientas digitales como Microsoft Excel, priorizando su uso para la organización de datos con el objetivo de garantizar la rigurosidad del análisis de correlación y comparación de variables.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterizar los parámetros de los paneles fotovoltaicos y su costo

#### 4.1.1. Análisis General

Para realizar la caracterización de los paneles fotovoltaicos, se recopilaron datos de la plataforma Autosolar, la cual ofrece un amplio catálogo de paneles solares con sus respectivas especificaciones técnicas y costos. Esta información se muestra en la TABLA IV, donde se registraron parámetros fundamentales como la potencia nominal (Pmp), voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp), corriente en el punto de máxima potencia (Impp), voltaje en circuito abierto (Voc), corriente de cortocircuito (Isc), eficiencia, dimensiones y costos de cada modelo.

TABLA IV.

#### RECOJO DE DATOS

Item	Costo	Potencia	Marca	Tipo	Vmpp	Impp	Voc	Isc	$\eta$
1	S/ 122.92	20	Tai Energy	P	17.6	2.84	21.8	3.1	16
2	S/ 276.33	30	MESM	M	17.8	1.69	22.3	1.82	18.43
3	S/ 278.95	50	MESM	M	17.8	2.81	22.3	3.03	18.43
4	S/ 183.10	50	Era Solar	P	18.3	2.73	22.7	2.9	14.6
5	S/ 305.03	80	Tai Energy	P	17.6	4.55	21.8	4.9	16
6	S/ 370.11	100	Eco Green Energy	P	18.41	5.43	22.41	5.89	14.63
7	S/ 345.74	100	Era Solar	P	18.3	5.46	22.7	5.79	14.6
8	S/ 472.00	100	Tai Energy	P	17.6	5.68	21.8	6.12	16
9	S/ 411.96	150	Era Solar	P	18.3	8.2	22.7	8.69	15
10	S/ 482.80	150	Eco Green Energy	P	18.4	8.15	22.51	8.75	15.13
11	S/ 571.93	150	Tai Energy	P	17.9	6.7	22.4	8.81	16
12	S/ 609.75	200	Eco Green Energy	P	18.54	10.79	22.51	11.75	15.27
13	S/ 532.39	200	Era Solar	P	18.2	11	22.7	11.86	15.1
14	S/ 752.12	200	Waaree	P	36.1	5.55	44.53	6	13.56
15	S/ 944.58	260	ReneSola	P	30.5	8.53	37.6	8.95	16
16	S/ 628.40	270	Era Solar	P	31.8	8.5	37.4	9.14	15.5
17	S/ 648.14	270	Talesun	P	31.3	8.63	38.5	9.09	16.6
18	S/ 862.06	270	Amerisolar	P	38.4	9.06	31.1	8.69	16.6
19	S/ 733.82	270	JnkoSolar	P	31.7	8.52	38.8	9.09	16.5
20	S/ 820.84	300	Era Solar	P	37	8.1	44.8	8.7	15.5
21	S/ 786.67	320	Era Solar	P	37.65	8.5	45.45	9.1	16.5
22	S/ 907.69	320	Csun	P	36.2	8.84	45	9.17	16.52

23	S/	835.81	325	JnkoSolar	P	37.6	8.66	46.7	9.1	16.75
24	S/	956.02	325	Talesun	P	37.4	8.7	45.7	9.22	16.7
25	S/	638.32	340	Era Solar	P	38.5	8.84	46.4	9.45	17.5
26	S/	704.50	350	Eco Green Energy	P	38.93	8.99	47.12	9.38	18.04
27	S/	822.60	400	Era Solar	M	41.7	9.6	49.8	10.36	20.17
28	S/	940.12	450	Eco Green Energy	M	41.06	11.08	49.41	11.66	20.81
29	S/	983.33	450	Harvest the Sunshine	M	41.52	10.84	49.7	11.36	20.2
30	S/	809.27	455	Harvest the Sunshine	M	41.82	10.88	49.85	11.41	21.2
31	S/	1,051.11	545	Harvest the Sunshine	M	41.8	13.04	49.75	14	21.3
32	S/	1,337.27	550	Eco Green Energy	M	40.95	13.42	49.68	14.01	21.28

En la TABLA IV se identifica una amplia diversidad de paneles con variaciones significativas en potencia, eficiencia y costos. Los paneles listados abarcan desde modelos de baja potencia hasta paneles de mayor capacidad, con diferencias sustanciales en términos de rendimiento energético y precio. Además, se observa una variabilidad en las dimensiones físicas de los paneles, lo que influye en su aplicación según el espacio disponible para la instalación.

Para facilitar la comparación y análisis posterior, los paneles fueron clasificados en dos grupos principales: policristalinos y monocristalinos. En el caso de los paneles policristalinos, se realizó un filtrado adicional para eliminar aquellos con potencias repetidas, manteniendo únicamente los modelos con mayor eficiencia dentro de cada categoría de potencia. Este proceso de optimización permitió reducir la redundancia en los datos y centrarse en opciones con mejor desempeño energético. En la tabla V se presentan los valores mínimo y máximo de las principales especificaciones técnicas de los paneles, permitiendo identificar el rango de variación en costo, potencia, eficiencia y dimensiones

TABLA V.

VALORES MINIMOS Y MAXIMOS DE LOS PANELES POLICRISTALINOS

Descripción	Mínimo	Máximo
Costo	S/ 122.92	S/ 956.02
Potencia	20.00	350.00
Largo	670.00	1960.00
Ancho	532.00	992.00
Area	0.36	1.94
Espesor	25.00	50.00
Pmp	50.00	350.00
Vmpp	17.60	38.93
Impp	2.73	10.79
Voc	21.80	47.12

Isc	2.90	11.75
Rendimiento	14.60	18.04

En la TABLA V se muestra una notable diferencia entre los paneles de menor y mayor capacidad. La potencia nominal varía entre **20W y 350W**, de manera progresiva mientras que la eficiencia oscila entre **14.60% y 18.04%**, reflejando la diferencia de rendimiento entre las tecnologías disponibles. Además, el voltaje en el punto de máxima potencia (**V<sub>mpp</sub>**) varía de **17.60V a 38.93V**, lo que indica que los paneles con mayor potencia requieren una configuración eléctrica diferente para su correcta operación. Por otro lado, el costo de los paneles fluctúa entre **S/ 122.92 y S/ 956.02**, lo que evidencia la amplia gama de precios en función de las características técnicas. Este resumen permite contextualizar la selección de los paneles más adecuados para análisis posteriores de eficiencia y costo-beneficio. Del mismo modo se presenta la TABLA VI de valores máximos y mínimos para los paneles monocristalinos.

TABLA VI.

VALORES MINIMOS Y MAXIMOS DE LOS PANELES POLICRISTALINOS

Descripción	Mínimo	Máximo
Costo	S/ 276.33	S/ 1,337.27
Potencia	30.00	550.00
Largo	345.00	2279.00
Ancho	505.00	1134.00
Area	0.21	2.58
Espesor	25.00	40.00
Pmp	30.00	550.00
Vmpp	17.80	41.82
Impp	1.69	13.42
Voc	22.30	49.85
Isc	1.82	14.01
Rendimiento	18.43	21.30

En el caso de los paneles monocristalinos, se observó una distribución particular en los valores de potencia, a diferencia de los policristalinos, donde la potencia aumenta de manera gradual, en los monocristalinos se identificó un panel de 30W, seguido de otro de 50W, y posteriormente se encontraron paneles de 400W en adelante con incrementos regulares de potencia (400W, 450W, 455W, 545W y 550W). Esta diferencia en la distribución indica que en el mercado

existen menos opciones de baja potencia en tecnología monocristalina, concentrándose principalmente en paneles de mayor capacidad.

La eficiencia en los paneles monocristalinos varía entre **18.43% y 21.30%**, superando los valores observados en los policristalinos, además, el voltaje en el punto de máxima potencia (**V<sub>mpp</sub>**) se encuentra en un rango de **17.80V a 41.82V**, evidenciando una configuración eléctrica distinta para los paneles de mayor potencia. En cuanto a los costos, estos fluctúan entre **S/ 276.33 y S/ 1,337.27**, reflejando que los paneles monocristalinos suelen ser más costosos, pero con mejor eficiencia y capacidad de generación energética.

#### 4.1.2. Comparación Técnica

Para realizar una comparación más precisa, se ha decidido separar los paneles monocristalinos de 30W y 50W del resto del análisis. Esto se debe a que estos paneles son los únicos monocristalinos en rangos de baja potencia, mientras que el resto de los monocristalinos analizados tienen potencias a partir de 400W en adelante. Incluir estos paneles en la comparación con modelos de alta potencia distorsionaría la evaluación de tendencias, en la TABLA VII se muestra

TABLA VII.

TABLA DE PANALES PARA COMPARACION TECNICA

Ítem	Costo	Tipo	Pmp	Vmpp	Impp	Voc	Isc	Rendimiento
1	S/ 122.92	Poli	20	17.60	2.84	22	3	16.0
2	S/ 183.10	Poli	50	18.30	2.73	23	3	14.6
3	S/ 305.03	Poli	80	17.60	4.55	22	5	16.0
4	S/ 472.00	Poli	100	17.60	5.68	22	6	16.0
5	S/ 571.93	Poli	150	17.90	6.7	22	9	16.0
6	S/ 609.75	Poli	200	18.54	10.8	23	12	15.3
7	S/ 944.58	Poli	260	30.50	8.53	38	9	16.0
8	S/ 628.40	Poli	270	31.80	8.5	37	9	15.5
9	S/ 820.84	Poli	300	37.00	8.1	45	9	15.5
10	S/ 907.69	Poli	320	36.20	8.84	45	9	16.5
11	S/ 956.02	Poli	325	37.40	8.7	46	9	16.7
12	S/ 638.32	Poli	340	38.50	8.84	46	9	17.5
13	S/ 704.50	Poli	350	38.93	8.99	47	9	18.0
14	S/ 822.60	Mono	400	41.70	9.6	50	10	20.2
15	S/ 940.12	Mono	450	41.06	11.1	49	12	20.8
16	S/ 809.27	Mono	455	41.82	10.9	50	11	21.2

17	S/ 1,051.11	Mono	545	41.80	13	50	14	21.3
18	S/ 1,337.27	Mono	550	40.95	13.4	50	14	21.3

Como se aprecia en la TABLA VII los paneles policristalinos tienen potencias desde 20 a 350 W mientras que a partir de 400W el tipo de panel que se encuentra es el monocristalino, según esto se realiza una comparación entre parámetros eléctricos del panel como la eficiencia en la Figura 7 se muestra la eficiencia de los paneles según su potencia.

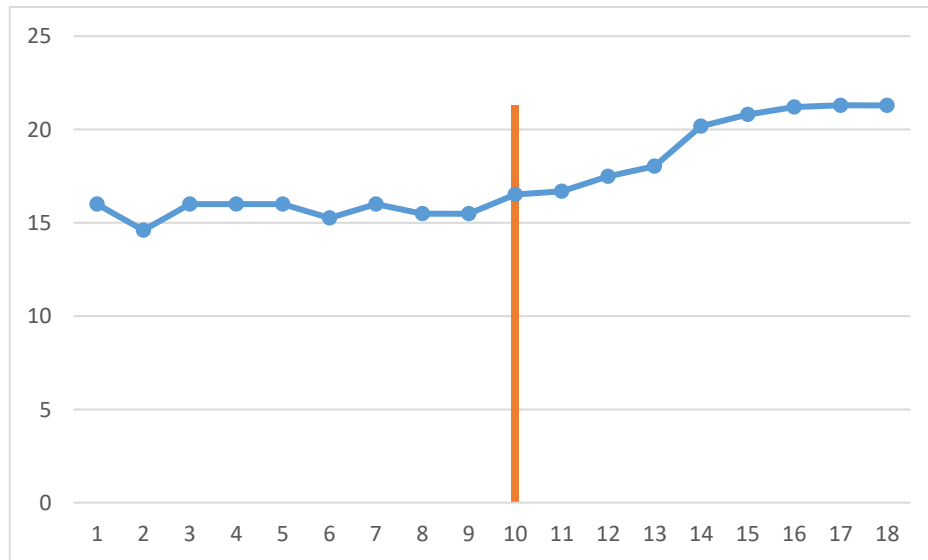


Figura 7. Eficiencia de los paneles según su potencia

Como se aprecia en la Figura 7 las eficiencias son variables para los policristalinos que son los paneles hasta el ítem 13 estas no son proporcionales a la potencia es decir como se ve en la gráfica estas son variables aun con el aumento progresivo de las potencias, pero desde el ítem 14 que es donde empiezan los paneles monocristalinos la eficiencia aumenta conforme aumenta la potencia. En la figura 8 se muestra la representación de las intensidades de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ) y de cortocircuito ( $I_{sc}$ )

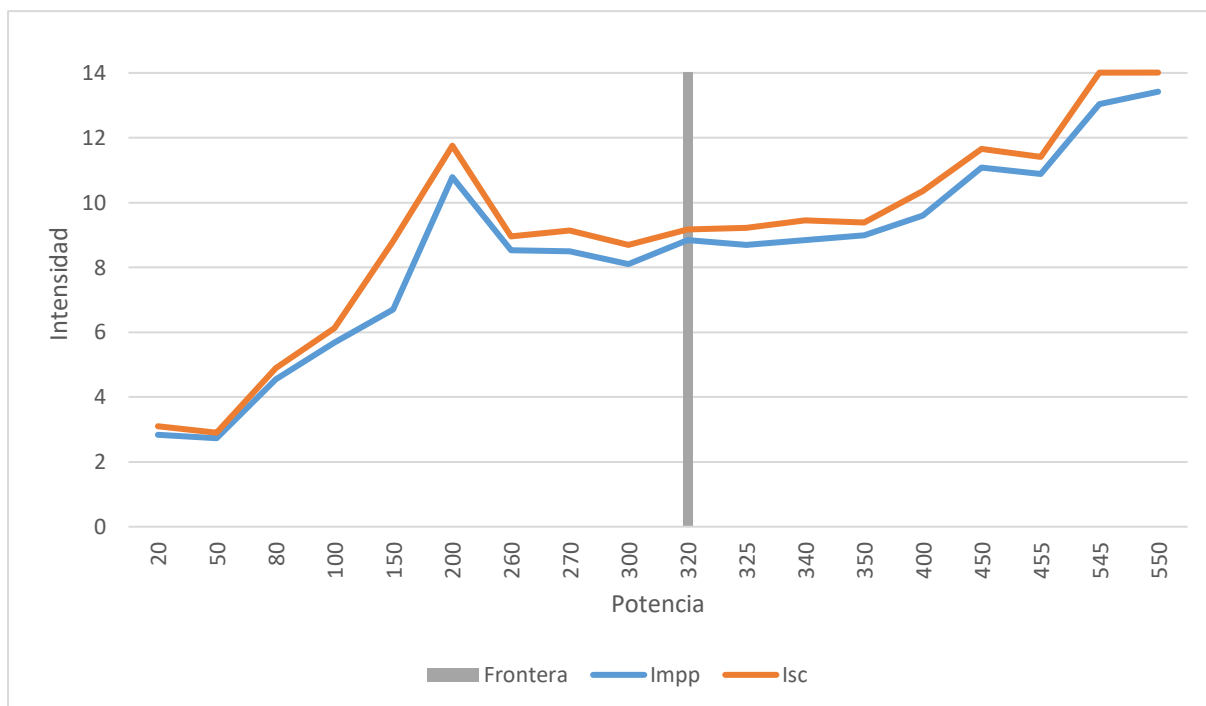


Figura 8. Corriente a potencia máxima  $I_{mpp}$  y cortocircuito  $I_{sc}$  según potencia de paneles

En la figura 8 se muestra la evolución de la corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ) y la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), en términos generales, se observa una tendencia ascendente en ambos parámetros conforme aumenta la potencia, aunque con algunas excepciones notables.

En los paneles policristalinos, que abarcan el rango de 20W a 350W, el incremento de la corriente sigue un patrón progresivo hasta alcanzar un pico en el panel de 200W, donde los valores de corriente son significativamente superiores a los de paneles con potencias mayores, como los de 260W, 270W y 300W. Este comportamiento sugiere que la corriente no sigue una relación estrictamente proporcional con la potencia, sino que depende de otros factores, como la eficiencia del panel y su diseño eléctrico.

A partir de los 400W, donde comienzan los paneles monocristalinos, se observa un aumento más constante en los valores de corriente. Sin embargo, al comparar paneles dentro del mismo tipo de tecnología, se identifican algunas inconsistencias en la relación entre potencia y corriente, como el hecho de que el panel de 260W presenta valores de corriente más altos que el de 300W. Además, hay otros puntos donde la tendencia no sigue una progresión estrictamente creciente.

Este comportamiento sugiere que, aunque la potencia es un factor determinante en la capacidad de generación de corriente, existen otros elementos como la eficiencia del material fotovoltaico, la configuración interna del módulo y las condiciones de operación que influyen en la distribución de los valores eléctricos. Ahora se realiza el mismo análisis para los voltajes esto se muestra en la figura 9



Figura 9. Voltaje a potencia máxima  $V_{mpp}$  y circuito abierto  $V_{oc}$  según potencia de paneles

La figura 9 muestra la evolución del voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ) y el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) en función de la potencia de los paneles fotovoltaicos. Se observa que ambos parámetros mantienen una relación creciente con la potencia, aunque no de manera estrictamente lineal. En los paneles policristalinos, que abarcan el rango de 20W a 350W, los voltajes presentan una tendencia estable hasta los 200W, con ligeros aumentos en  $V_{mpp}$  y  $V_{oc}$ . Sin embargo, a partir de este punto, los valores experimentan un crecimiento más pronunciado, especialmente en el rango de 260W a 300W, donde se produce un salto notable en los voltajes.

La línea de frontera que separa los paneles policristalinos de los monocristalinos marca un cambio significativo en el comportamiento de los voltajes. A partir de los 400W, se observa que los valores de  $V_{oc}$  se estabilizan en torno a los 50V, mientras que  $V_{mpp}$  continúa aumentando de manera más progresiva hasta alcanzar su punto máximo en los paneles de mayor potencia. Esta diferencia sugiere que los paneles monocristalinos están diseñados para

operar en sistemas de mayor voltaje, permitiendo configuraciones más eficientes en instalaciones que requieren minimizar la caída de tensión en largas distancias de cableado.

El comportamiento observado en el gráfico indica que, si bien el voltaje tiende a incrementarse con la potencia del panel, existen puntos donde este aumento es más pronunciado, especialmente en la transición de tecnologías. Esto implica que el diseño del sistema eléctrico debe considerar la compatibilidad entre los valores de voltaje de los paneles y los componentes del sistema fotovoltaico, como los reguladores de carga y los inversores, para garantizar un rendimiento óptimo y una integración eficiente en la red.

#### 4.1.3. Comparación Económica

La comparación económica se basó en el costo por unidad de potencia del panel, expresado en soles por watt (S/. /W), este enfoque permite evaluar la relación entre el precio de adquisición de cada panel y su capacidad de generación de energía, el análisis se basa en la fórmula costo por potencia (S/. /W), obtenida dividiendo el costo total de cada panel entre su potencia nominal en watts. Con este indicador se busca determinar qué paneles ofrecen un mejor rendimiento en términos de inversión, considerando que una menor relación S/. /W lo que implica un costo más eficiente por unidad de energía generada. A través de esta comparación, se identifican las tendencias de precio en función de la potencia del panel y se analiza la diferencia entre tecnologías policristalinas y monocristalinas, en la tabla y figura se muestra esta relación en los paneles encontrados.

TABLA VIII.

#### COSTO POR UNIDAD DE POTENCIA DE PANELES SELECCIONADOS

Ítem	Costo (S/.)	Potencia (W)	Costo por unidad de potencia (S/. /W)
1	S/ 122.92	20	S/ 7.68
2	S/ 183.10	50	S/ 12.54
3	S/ 305.03	80	S/ 19.06
4	S/ 472.00	100	S/ 29.50
5	S/ 571.93	150	S/ 35.75
6	S/ 609.75	200	S/ 39.93
7	S/ 944.58	260	S/ 59.04
8	S/ 628.40	270	S/ 40.54
9	S/ 820.84	300	S/ 52.96
10	S/ 907.69	320	S/ 54.94

11	S/ 956.02	325	S/ 57.25
12	S/ 638.32	340	S/ 36.48
13	S/ 704.50	350	S/ 39.05
14	S/ 822.60	400	S/ 40.78
15	S/ 940.12	450	S/ 45.18
16	S/ 809.27	455	S/ 38.17
17	S/ 1,051.11	545	S/ 49.35
18	S/ 1,337.27	550	S/ 62.84

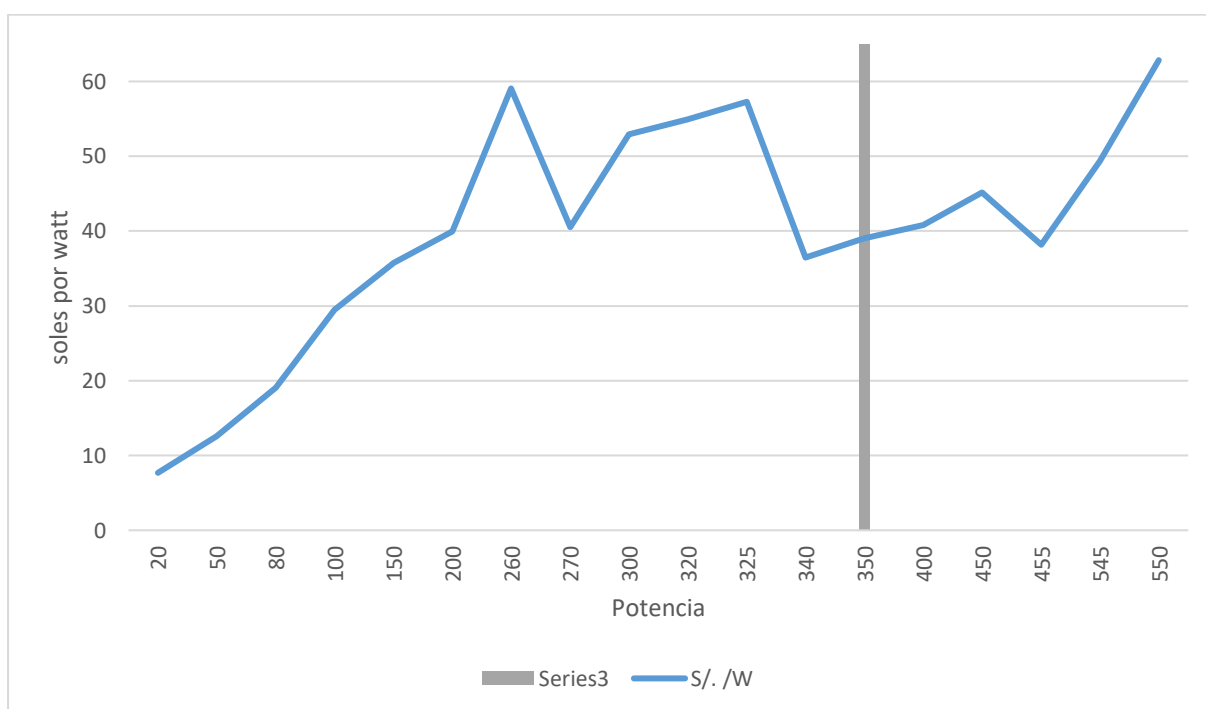


Figura 10. Costo por unidad de potencia de paneles seleccionados

El análisis del costo por unidad de potencia generada, expresado en soles por watt (S./W), revela una tendencia no lineal en la relación entre el precio de los paneles y su potencia nominal. La TABLA VIII y la figura 10 muestran que, en general, los paneles de menor potencia presentan un costo por watt más bajo, mientras que a medida que la potencia aumenta, el precio por watt tiende a elevarse, aunque con fluctuaciones significativas en algunos intervalos.

En el rango de 20W a 200W, correspondiente a los paneles policristalinos de menor capacidad, se observa un incremento progresivo en el costo por watt, sin embargo, a partir de los 260W, el precio por unidad de potencia experimenta un aumento abrupto, alcanzando su valor más

alto en el panel de 260W (S/. 59.04/W). Posteriormente, los costos fluctúan sin seguir una relación estrictamente proporcional con la potencia. En el caso de los paneles monocristalinos, que inician a partir de los 400W, el costo por watt se mantiene relativamente más estable, con valores entre S/. 38.17/W y S/. 49.35/W. No obstante, el panel de 550W muestra el mayor costo unitario de todo el análisis, alcanzando S/. 62.84/W, lo que indica que, a pesar de su alta eficiencia, los costos asociados a esta tecnología pueden ser significativamente más elevados en algunos modelos.

#### **4.2. Análisis del costo total del sistema fotovoltaico en función de la energía requerida y las configuraciones serie-paralelo compatibles con los parámetros de los reguladores de carga**

Se analizó el comportamiento del costo total del sistema fotovoltaico en función de diferentes niveles de energía diaria requerida (de 10 a 200 kWh), considerando no solo la cantidad de paneles necesarios, sino también su configuración serie-paralelo, la compatibilidad con reguladores MPPT, y los costos asociados al cableado y ocupación de terreno, con objetivo de identificar las combinaciones más eficientes y económicamente viables para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas.

##### **4.2.1. Cálculo de la potencia del campo solar requerido y número de paneles necesarios**

Para diseñar adecuadamente un sistema fotovoltaico aislado, es fundamental calcular la potencia total que debe generar el campo solar y, en función de ello, determinar la cantidad de paneles necesarios. Este paso inicial permite establecer una base técnica sólida para la configuración posterior del sistema, asegurando el cumplimiento del requerimiento energético diario y optimizando los recursos. Se empleó la fórmula general para calcular el número total de paneles solares requeridos, la cual tiene en cuenta la energía diaria que se desea cubrir, las condiciones de radiación solar en el lugar, la eficiencia del sistema y la potencia del panel seleccionado.

Para este estudio se utilizó una radiación solar promedio de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, correspondiente a la ciudad de Chiclayo, según datos del SENAMHI y reportes de bases de datos internacionales como PVGIS. Este valor representa una media adecuada para el análisis anual y permite un diseño confiable sin sobredimensionar el sistema. Aunque en ciertas épocas del año la radiación

puede superar los 5.0 kWh/m<sup>2</sup>, el valor de 4.5 se adopta como una estimación conservadora y representativa del promedio anual.

Por otro lado, se aplicó una eficiencia del 60% (0.60) para el sistema fotovoltaico, de acuerdo con las recomendaciones del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) en su documento técnico “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red”. En dicho documento, se indica que una eficiencia del 60% es adecuada para sistemas que integran reguladores, inversores y acumuladores, ya que contempla pérdidas por temperatura, desviaciones del punto de máxima potencia, conversión en inversor, cableado, y eficiencia de las baterías.

TABLA IX.

REQUERIMIENTO DE ENERGÍA DIARIA VS POTENCIA DEL CAMPO SOLAR  
REQUERIDO

Ítem	Energía	Pr
	kWh	kW
1	10	3.70
2	20	7.41
3	30	11.11
4	40	14.81
5	50	18.52
6	60	22.22
7	70	25.93
8	80	29.63
9	90	33.33
10	100	37.04
11	110	40.74
12	120	44.44
13	130	48.15
14	140	51.85
15	150	55.56
16	160	59.26
17	170	62.96
18	180	66.67
19	190	70.37
20	200	74.07

La TABLA X muestra el número total de paneles necesarios para cubrir diferentes niveles de energía diaria (de 10 a 200 kWh), según la potencia nominal de cada panel policristalino evaluado. Se han considerado trece tecnologías de paneles, desde 20 W hasta 350 W, lo cual permite observar cómo varía la cantidad de unidades requeridas en función del tamaño del panel.

TABLA X.  
NÚMERO DE PANELES REQUERIDOS SEGÚN POTENCIA DE PANEL –  
TECNOLOGÍAS POLICRISTALINAS

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	20 W	50 W	80 W	100 W	150 W	200 W	260 W	270 W	300 W	320 W	325 W	340 W	350 W
1	186	75	47	38	25	19	15	14	13	12	12	11	11
2	371	149	93	75	50	38	29	28	25	24	23	22	22
3	556	223	139	112	75	56	43	42	38	35	35	33	32
4	741	297	186	149	99	75	57	55	50	47	46	44	43
5	926	371	232	186	124	93	72	69	62	58	57	55	53
6	1112	445	278	223	149	112	86	83	75	70	69	66	64
7	1297	519	325	260	173	130	100	97	87	82	80	77	75
8	1482	593	371	297	198	149	114	110	99	93	92	88	85
9	1667	667	417	334	223	167	129	124	112	105	103	99	96
10	1852	741	463	371	247	186	143	138	124	116	114	109	106
11	2038	815	510	408	272	204	157	151	136	128	126	120	117
12	2223	889	556	445	297	223	171	165	149	139	137	131	127
13	2408	963	602	482	321	241	186	179	161	151	149	142	138
14	2593	1038	649	519	346	260	200	193	173	163	160	153	149
15	2778	1112	695	556	371	278	214	206	186	174	171	164	159
16	2963	1186	741	593	396	297	228	220	198	186	183	175	170
17	3149	1260	788	630	420	315	243	234	210	197	194	186	180
18	3334	1334	834	667	445	334	257	247	223	209	206	197	191
19	3519	1408	880	704	470	352	271	261	235	220	217	207	202
20	3704	1482	926	741	494	371	285	275	247	232	228	218	212

Del análisis de la TABLA X se desprende que, como es lógico, a mayor potencia individual del panel, menor será la cantidad necesaria para satisfacer un mismo requerimiento energético. Tomado el consumo de 100 kWh/día (ítem 10), se necesitan 1852 paneles de 20 W, pero solo 109 paneles de 340 W o 106 de 350 W. Sin embargo, la reducción de paneles no siempre es proporcional al aumento de potencia, ya que factores como eficiencia, dimensiones físicas y

compatibilidad eléctrica también influyen en la selección final. Esta información permite realizar un primer filtro técnico-económico basado en la cantidad de paneles, considerando además que un menor número de módulos puede reducir los costos de instalación, cableado y estructura, aunque no necesariamente el costo total del campo solar. Complementando el análisis realizado para paneles policristalinos, la TABLA XI presenta la cantidad de paneles necesarios para cubrir los mismos niveles de energía diaria utilizando paneles de tecnología monocristalina, cuyas potencias van desde 30 W hasta 550 W. Esta tabla permite observar la eficiencia en la reducción del número de unidades requeridas al usar tecnologías más avanzadas, facilitando una comparación directa entre ambas tecnologías y sus implicancias en el diseño del sistema fotovoltaico aislado.

TABLA XI.

NÚMERO DE PANELES REQUERIDOS SEGÚN POTENCIA DE PANEL –  
TECNOLOGÍAS MONOCRISTALINAS

Ítem	1	2	3	4	5	6	7
	30 W	50 W	400 W	450 W	455 W	545 W	550 W
1	124	75	10	9	9	7	7
2	247	149	19	17	17	14	14
3	371	223	28	25	25	21	21
4	494	297	38	33	33	28	27
5	618	371	47	42	41	34	34
6	741	445	56	50	49	41	41
7	865	519	65	58	57	48	48
8	988	593	75	66	66	55	54
9	1112	667	84	75	74	62	61
10	1235	741	93	83	82	68	68
11	1359	815	102	91	90	75	75
12	1482	889	112	99	98	82	81
13	1605	963	121	107	106	89	88
14	1729	1038	130	116	114	96	95
15	1852	1112	139	124	123	102	102
16	1976	1186	149	132	131	109	108
17	2099	1260	158	140	139	116	115
18	2223	1334	167	149	147	123	122
19	2346	1408	176	157	155	130	128
20	2470	1482	186	165	163	136	135

En la TABLA XI se evidencia que los paneles monocristalinos, especialmente aquellos de mayor potencia (400 W a 550 W), permiten una reducción significativa en el número de unidades necesarias para cubrir una misma demanda energética. Tomando el requerimiento de 100 kWh/día, se requieren solo 82 paneles de 455 W o 68 paneles de 545 W, en comparación

con los 124 paneles de 300 W o más de 300 paneles de tecnologías menos eficientes. Esta diferencia no solo implica ahorro en espacio y estructura, sino también menor complejidad en cableado y montaje. Asimismo, se observa que los paneles de 30 W y 50 W, aunque pertenecen a la misma tecnología monocristalina, resultan ineficientes frente a los de mayor capacidad, por lo que su uso estaría justificado únicamente en proyectos de muy baja demanda o con restricciones físicas específicas. Esta tabla, por tanto, refuerza la importancia de considerar el equilibrio entre potencia individual, eficiencia tecnológica y costos globales del sistema en la selección final del panel fotovoltaico.

#### **4.2.2. Configuraciones serie-paralelo válidas según el rango del MPPT (80–450 V)**

Una vez determinada la cantidad total de paneles para cada requerimiento energético y tipo de tecnología, se procedió a establecer las posibles configuraciones eléctricas en serie y paralelo que cumplan con los requisitos de voltaje de los reguladores MPPT. Según las especificaciones técnicas de los modelos analizados, el rango operativo óptimo de los reguladores se encuentra entre 80 V y 450 V en la entrada fotovoltaica.

El objetivo fue encontrar combinaciones que, sumando los voltajes de trabajo ( $V_{mpp}$ ) de los paneles en serie, resultaran compatibles con ese rango, mientras que el número de ramas en paralelo permitiera alcanzar el total de paneles requerido  $NT$ . Este enfoque garantiza que el sistema funcione dentro del margen seguro del controlador, evitando pérdidas por incompatibilidad eléctrica o desconexiones de seguridad. El proceso de cálculo se realizó los resultados de cada tabla según los modelos seleccionados se realizó según el siguiente orden:

- 1.- Determino el número de panes en serie ( $N_s$ ) .- Paneles en serie requeridos para alcanzar un voltaje dentro del rango de operación del MPPT
- 2.- Determino número de ramas en paralelo ( $N_p$ ).- Cantidad de ramas en paralelo para alcanzar como mínimo la potencia requerida en algunos casos estar por encima de ella.

Estas combinaciones no solo cumplen con los parámetros técnicos de operación, sino que también se usaron como base para determinar los costos de cableado, ya que la disposición eléctrica afecta directamente el diseño físico del sistema y el tipo de conductores requeridos.

En caso un modelo no pudiera cumplir con una configuración dentro del rango MPPT, se descartó para ese requerimiento energético. Esta depuración permite concentrar el análisis económico solo en configuraciones viables técnicamente.

La TABLA XII presenta las configuraciones serie-paralelo válidas para los modelos de paneles fotovoltaicos más eficientes en términos de cantidad total de unidades requeridas, considerando tanto tecnologías policristalinas como monocristalinas. Se seleccionaron únicamente los nueve paneles mejor posicionados en el análisis anterior, es decir, aquellos que requerían menor cantidad de unidades para satisfacer distintos niveles de demanda energética. Esta depuración permite concentrar el estudio en combinaciones viables y óptimas, tanto técnica como económicamente. Las configuraciones indicadas corresponden a la cantidad de paneles en serie (Ns) multiplicado por el número de ramas en paralelo (Np), asegurando que el voltaje total del arreglo se mantenga dentro del rango operativo de 80 a 450 V exigido por los reguladores MPPT, estas configuraciones no solo garantizan compatibilidad eléctrica, sino que son la base para evaluar el impacto del diseño en el costo de cableado y en la disposición física del sistema.

TABLA XII.

CONFIGURACIONES SERIE-PARALELO VÁLIDAS PARA PANELES  
POLICRISTALINOS Y MONOCRISTALINOS

Ítem	270W-P	300W-P	340W-P	350W-P	400W-M	450W-M	455W-M	545W-M	550W-M
1	14 x 1	7 x 2	11 x 1	11 x 1	10 x 1	9 x 1	9 x 1	7 x 1	7 x 1
2	14 x 2	5 x 5	11 x 2	11 x 2	10 x 2	9 x 2	9 x 2	6 x 2	7 x 2
3	14 x 3	3 x 13	11 x 3	8 x 4	7 x 4	5 x 5	5 x 5	6 x 4	7 x 3
4	5 x 11	10 x 5	11 x 4	11 x 4	2 x 19	3 x 11	3 x 11	7 x 5	9 x 3
5	3 x 23	9 x 7	11 x 5	9 x 6	8 x 6	7 x 6	7 x 6	6 x 6	2 x 17
6	14 x 6	3 x 25	11 x 6	8 x 8	8 x 7	10 x 5	7 x 7	7 x 6	7 x 6
7	14 x 7	3 x 29	11 x 7	5 x 15	5 x 13	10 x 6	3 x 19	8 x 6	8 x 6
8	11 x 10	11 x 9	11 x 8	5 x 17	5 x 15	6 x 11	6 x 11	5 x 11	9 x 6
9	4 x 31	8 x 14	11 x 9	8 x 12	7 x 12	5 x 15	5 x 15	2 x 31	2 x 31
10	6 x 23	4 x 31	11 x 10	9 x 12	3 x 31	7 x 12	7 x 12	4 x 17	4 x 17
11	8 x 19	8 x 17	10 x 12	9 x 13	6 x 17	7 x 13	10 x 9	5 x 15	5 x 15
12	11 x 15	10 x 15	11 x 12	8 x 16	8 x 14	9 x 11	7 x 14	2 x 41	9 x 9
13	12 x 15	7 x 23	11 x 13	6 x 23	4 x 31	9 x 12	9 x 12	10 x 9	8 x 11
14	13 x 15	6 x 29	9 x 17	10 x 15	10 x 13	4 x 29	6 x 19	8 x 12	5 x 19
15	10 x 21	6 x 31	4 x 41	3 x 53	10 x 14	4 x 31	3 x 41	6 x 17	6 x 17
16	11 x 20	11 x 18	7 x 25	10 x 17	10 x 15	6 x 22	6 x 22	8 x 15	9 x 12
17	13 x 18	10 x 21	6 x 31	10 x 18	10 x 16	10 x 14	10 x 14	4 x 29	5 x 23
18	13 x 19	8 x 28	11 x 18	8 x 24	8 x 21	7 x 21	7 x 21	5 x 25	9 x 14

19	9 x 29	5 x 47	9 x 23	7 x 29	8 x 22	2 x 79	5 x 31	10 x 13	10 x 13
20	11 x 25	8 x 31	11 x 20	4 x 53	6 x 31	5 x 33	4 x 41	8 x 17	9 x 15

Al analizar la TABLA XII, se constata que todas las configuraciones serie-paralelo listadas continúan cumpliendo con el rango de operación MPPT (80–450 V), asegurando la compatibilidad eléctrica del sistema. Los modelos de mayor potencia, como el 550W-M y el 545W-M, siguen mostrando ventajas en la reducción de componentes, ya que requieren menos módulos conectados en paralelo y en serie. Por ejemplo, para una demanda de 150 kWh (ítem 15), el modelo 550W-M puede operar con una configuración de 6 x 17, mientras que el panel de 300W-P necesita una configuración de 6 x 31, duplicando prácticamente el número de módulos en serie y, por ende, incrementando la complejidad del montaje. En contraste, paneles como el 340W-P ofrecen configuraciones viables en todo el espectro de demanda, aunque a costa de una mayor cantidad de módulos totales. Este análisis permite comparar el desempeño técnico de cada modelo, además de evaluar sus implicancias logísticas y económicas de forma integral.

#### 4.2.3. Costo total de cada configuración

Una vez definidas las configuraciones eléctricas válidas (serie-paralelo) para cada modelo de panel, se procedió a calcular el costo total de implementación para cada una de ellas. Este análisis incluyó tres componentes principales:

1. Costo de adquisición de los paneles solares, en función del número total requerido.
2. Costo del cableado, determinado por la cantidad de ramas en paralelo y su longitud estimada.
3. Costo del terreno ocupado, calculado con base en las dimensiones de cada panel y el área total requerida por la configuración.

El análisis se realizó para cada uno de los modelos viables en las configuraciones MPPT, separando los resultados por tipo de tecnología (policristalina y monocristalina), y considerando el requerimiento energético desde 10 hasta 200 kWh diarios.

Para cada configuración se estimó:

1. El costo total por paneles, resultante de multiplicar el número total de paneles por el precio unitario del modelo.

2. El costo del cableado, calculado en función del número de ramas en paralelo, la distancia promedio entre las filas y el punto de conexión, y el precio del cable por metro lineal.
3. El costo del terreno, estimado considerando el área que ocuparía la configuración (número de paneles  $\times$  área individual del panel  $\times$  factor de distribución) y el precio por metro cuadrado del terreno disponible.

Cabe destacar que, si bien en la mayoría de casos se seleccionó la configuración que permitía el menor número total de paneles —lo que naturalmente reducía el costo de adquisición—, en ciertos modelos se observaron configuraciones que, aunque usaban más paneles, ofrecían una mejor distribución serie-paralelo. En particular, algunas configuraciones que requerían solo 2 o 3 paneles en serie implicaban un número elevado de ramas en paralelo, lo que aumentaba considerablemente el costo del cableado. En estos casos, se optó por una configuración con una o dos unidades más que la cantidad mínima de paneles, pero que resultaba más económica en el balance final al reducir el número de ramas paralelas y la cantidad de cable por instalación. Por tanto, la selección final de configuraciones también consideró este criterio de optimización económica integral, más allá del simple conteo de paneles.

La TABLA XIII presenta el costo total estimado para cada una de las configuraciones serie-paralelo válidas previamente seleccionadas, considerando los nueve modelos de paneles fotovoltaicos (tanto policristalinos como monocristalinos) que ofrecieron los mejores resultados en términos de cantidad de paneles requeridos y viabilidad técnica. El cálculo del costo total incorpora tres componentes principales: el costo de adquisición de los paneles solares, el costo del cableado en función de las ramas paralelas necesarias, y el costo estimado del terreno requerido según el área ocupada por cada configuración. Cabe resaltar que las configuraciones aquí analizadas no siempre corresponden al menor número de paneles, ya que también se optimizó el balance económico considerando una distribución serie-paralelo más eficiente, en casos donde menos ramas paralelas representaban una reducción significativa del costo de cableado.

TABLA XIII.

## COSTO TOTAL DE CADA CONFIGURACIÓN PANELES POLI Y MONO CONSIDERANDO LOS 9 DE MEJOR COSTO

Ítem	270W-P	300W-P	340W-P	350W-P	400W-M	450W-M	455W-M	545W-M	550W-M
1	S/ 9,943.97	S/ 12,833.99	S/ 8,098.44	S/ 8,826.42	S/ 9,223.49	S/ 9,457.06	S/ 8,295.01	S/ 8,276.56	S/ 10,280.07
2	S/ 19,845.95	S/ 23,022.85	S/ 16,154.88	S/ 17,610.84	S/ 18,404.99	S/ 18,872.13	S/ 16,548.03	S/ 14,158.40	S/ 20,518.14
3	S/ 29,789.92	S/ 35,979.24	S/ 24,211.31	S/ 25,608.67	S/ 25,762.18	S/ 26,373.36	S/ 23,145.43	S/ 28,286.79	S/ 30,768.21
4	S/ 38,996.61	S/ 45,865.69	S/ 32,267.75	S/ 35,191.67	S/ 35,871.27	S/ 34,960.70	S/ 30,699.85	S/ 41,258.82	S/ 39,543.69
5	S/ 49,839.79	S/ 57,767.57	S/ 40,324.19	S/ 43,161.31	S/ 44,257.97	S/ 44,157.13	S/ 38,781.26	S/ 43,290.31	S/ 50,524.72
6	S/ 59,581.84	S/ 69,702.14	S/ 48,466.63	S/ 51,376.54	S/ 51,683.56	S/ 52,433.91	S/ 45,133.07	S/ 49,663.45	S/ 61,684.48
7	S/ 69,609.82	S/ 80,937.90	S/ 56,595.06	S/ 60,597.76	S/ 60,245.70	S/ 64,120.05	S/ 53,274.44	S/ 56,720.78	S/ 70,459.10
8	S/ 78,077.22	S/ 90,711.67	S/ 64,663.50	S/ 68,832.59	S/ 69,793.00	S/ 69,586.04	S/ 61,064.33	S/ 65,558.74	S/ 79,288.59
9	S/ 88,081.20	S/ 102,862.35	S/ 72,789.54	S/ 77,076.41	S/ 77,536.94	S/ 79,311.07	S/ 69,627.30	S/ 74,595.99	S/ 92,341.32
10	S/ 99,079.57	S/ 115,062.32	S/ 80,884.38	S/ 86,676.21	S/ 86,624.09	S/ 88,472.25	S/ 77,672.44	S/ 80,976.59	S/ 100,439.20
11	S/ 108,607.75	S/ 125,074.68	S/ 88,292.41	S/ 93,977.46	S/ 94,651.43	S/ 95,707.48	S/ 82,850.13	S/ 89,274.19	S/ 110,740.31
12	S/ 117,455.84	S/ 137,739.08	S/ 97,081.25	S/ 103,173.28	S/ 103,529.12	S/ 104,053.63	S/ 90,741.54	S/ 98,456.59	S/ 118,834.76
13	S/ 128,065.09	S/ 149,084.33	S/ 105,179.69	S/ 111,736.51	S/ 116,122.11	S/ 113,770.69	S/ 99,714.07	S/ 106,316.96	S/ 129,687.55
14	S/ 138,674.35	S/ 161,042.41	S/ 113,239.13	S/ 120,541.51	S/ 120,114.21	S/ 122,969.76	S/ 105,918.16	S/ 113,405.16	S/ 140,280.24
15	S/ 149,270.61	S/ 171,894.17	S/ 120,868.16	S/ 127,939.77	S/ 129,231.30	S/ 131,470.71	S/ 114,548.21	S/ 121,147.36	S/ 150,341.29
16	S/ 156,863.45	S/ 181,900.34	S/ 129,439.80	S/ 136,712.18	S/ 138,621.40	S/ 139,862.61	S/ 122,819.18	S/ 141,583.95	S/ 158,503.09
17	S/ 166,693.42	S/ 193,194.91	S/ 138,788.64	S/ 144,698.02	S/ 147,814.89	S/ 147,572.55	S/ 129,279.20	S/ 137,394.89	S/ 169,821.44
18	S/ 175,960.11	S/ 206,728.90	S/ 146,204.88	S/ 155,033.82	S/ 155,910.88	S/ 154,943.38	S/ 136,601.61	S/ 149,160.18	S/ 185,109.88
19	S/ 187,578.09	S/ 217,714.75	S/ 153,314.91	S/ 164,711.44	S/ 163,698.88	S/ 165,826.68	S/ 143,967.14	S/ 153,311.61	S/ 190,929.96
20	S/ 196,615.06	S/ 229,316.03	S/ 162,546.76	S/ 174,286.49	S/ 174,197.97	S/ 174,369.43	S/ 152,671.99	S/ 160,867.81	S/ 198,165.59

El análisis de la TABLA XIII confirma que los paneles de mayor potencia, como el 550W-M y el 545W-M, tienden a ofrecer costos totales más competitivos en ciertas demandas energéticas, debido a su menor requerimiento de módulos, cableado y estructuras. Para una demanda de 150 kWh/día (ítem 15), el modelo 545W-M presenta un costo total de S/ 126,975.69, siendo inferior al del panel 300W-P (S/ 171,894.17) pese a tener un precio unitario más alto. No obstante, nuevamente se observa que modelos intermedios pueden ser más eficientes: el panel 340W-P logra cubrir esta demanda con un costo de S/ 120,868.16, por debajo incluso de algunos modelos de alta potencia. Asimismo, se evidencia que ciertas configuraciones aparentemente viables en términos de número de paneles, como las de 300W-P en los ítems 3 y 4, presentan costos elevados (superiores a S/ 35,000), en gran parte debido al mayor número de ramas paralelas que incrementan el costo de instalación eléctrica. Estos resultados subrayan la necesidad de evaluar integralmente la configuración eléctrica y no solo el precio unitario o la potencia del panel, a fin de seleccionar la alternativa más eficiente y económicamente sostenible.

#### **4.2.4. Ranking de optimización de paneles fotovoltaicos**

Luego de determinar los costos totales para cada configuración válida, el siguiente paso consistió en establecer un ranking de optimización de los paneles fotovoltaicos, con el objetivo de identificar cuáles resultan ser los más convenientes técnica y económicamente para diferentes niveles de demanda energética.

Este ranking se construyó considerando múltiples criterios que integran tanto el rendimiento eléctrico como los costos asociados a la implementación del sistema. A diferencia de un análisis basado únicamente en el precio por panel o por watt, aquí se priorizó una visión multicriterio, propia de un enfoque de ingeniería aplicada a sistemas aislados.

- Los principales criterios de evaluación utilizados fueron:
- Costo total acumulado de la configuración, incluyendo paneles, cableado y terreno.
- Compatibilidad eléctrica con el rango del regulador MPPT (80 a 450 V).
- Eficiencia del panel fotovoltaico, como medida del aprovechamiento de área útil.
- Costo por unidad de potencia instalada (S/. / Wp).

- Costo estimado por energía entregada (S/. / kWh/día).

Con base en estos criterios, se construyeron rankings separados para paneles policristalinos y monocristalinos, y se seleccionaron los modelos que ofrecían el mejor balance costo-rendimiento para cada nivel de energía requerido.

La TABLA XIV muestra el ranking de optimización de paneles fotovoltaicos establecido a partir de un enfoque multicriterio, considerando tanto aspectos técnicos como económicos. Este ranking se construyó para cada nivel de energía diaria (de 10 a 200 kWh), con el fin de identificar cuáles modelos ofrecen el mejor balance costo-rendimiento. A diferencia de un análisis simple por menor precio o cantidad de paneles, se evaluaron criterios como el costo total de implementación (paneles, cableado y terreno), compatibilidad con el rango de los reguladores MPPT, eficiencia energética del panel, y costos normalizados por potencia (S/. / Wp) y energía generada (S/. / kWh/día). En cada fila se listan los nueve modelos con mejor desempeño para el nivel de energía correspondiente, ordenados de mejor a menor conveniencia según la ponderación de los factores. Este enfoque permitió seleccionar las opciones más viables para sistemas aislados en contextos reales, donde el costo global y la eficiencia del diseño son determinantes.

TABLA XIV.  
RANKING DE OPTIMIZACIÓN DE PANELES

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	340W-P	545W-M	455W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
2	545W-M	340W-P	455W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
3	455W-M	340W-P	350W-P	400W-M	450W-M	545W-M	270W-P	550W-M	300W-P
4	455W-M	340W-P	450W-M	350W-P	400W-M	270W-P	550W-M	545W-M	300W-P
5	455W-M	340W-P	350W-P	545W-M	450W-M	400W-M	270W-P	550W-M	300W-P
6	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
7	455W-M	340W-P	545W-M	400W-M	350W-P	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
8	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	450W-M	400W-M	270W-P	550W-M	300W-P
9	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
10	455W-M	340W-P	545W-M	400W-M	350W-P	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
11	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
12	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
13	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	450W-M	400W-M	270W-P	550W-M	300W-P
14	455W-M	340W-P	545W-M	400W-M	350W-P	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
15	455W-M	340W-P	545W-M	350W-P	400W-M	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
16	455W-M	340W-P	350W-P	400W-M	450W-M	545W-M	270W-P	550W-M	300W-P
17	455W-M	545W-M	340W-P	350W-P	450W-M	400W-M	270W-P	550W-M	300W-P
18	455W-M	340W-P	545W-M	450W-M	350W-P	400W-M	270W-P	550W-M	300W-P
19	455W-M	545W-M	340W-P	400W-M	350W-P	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P
20	455W-M	545W-M	340W-P	400W-M	350W-P	450W-M	270W-P	550W-M	300W-P

Del análisis de la TABLA XIV, se observa que durante los niveles de demanda más altos (ítems 11 al 20), el panel 455W-M lidera de forma clara el ranking, manteniéndose ininterrumpidamente en la posición 1. Esta consistencia refleja su destacada capacidad técnica y económica para cubrir demandas elevadas con un número reducido de paneles. A su vez, los modelos 340W-P y 545W-M también tienen una fuerte presencia en las posiciones 2 y 3, demostrando un buen balance entre rendimiento, costo total y adaptabilidad a distintas configuraciones. Por otro lado, el panel 450W-M, que anteriormente figuraba con más frecuencia en los primeros puestos, en esta versión del ranking se traslada a posiciones intermedias (4 a 6), lo que sugiere una eficiencia ligeramente inferior frente a los modelos líderes. En las posiciones del 6 al 9, paneles como el 270W-P, 550W-M, 400W-M y 300W-P aparecen de manera recurrente, indicando su rol como alternativas complementarias viables, especialmente cuando se prioriza la disponibilidad o el costo por unidad. Estos resultados reafirman la importancia de un enfoque de optimización global en la selección de paneles fotovoltaicos, donde se valoren múltiples criterios técnicos, económicos y logísticos para lograr un diseño eficiente y sostenible.

#### **4.3. Determinar según comparación de parámetros eléctricos y económicos la optimización de selección de paneles fotovoltaicos**

Este subcapítulo tiene como propósito integrar los resultados obtenidos en los análisis técnicos y económicos presentados en los puntos anteriores, con el objetivo de establecer cuáles paneles fotovoltaicos resultan óptimos para su implementación en sistemas aislados. La optimización se define aquí como la capacidad de un modelo de panel para ofrecer el mejor balance entre eficiencia eléctrica, compatibilidad operativa y costo total de instalación. Para ello, se comparan los modelos más representativos según cinco criterios específicos: número total de paneles requeridos, compatibilidad con reguladores MPPT, eficiencia del panel, costo total por configuración y su posición en el ranking multicriterio.

##### **4.3.1. Comparación técnica de parámetros eléctricos**

La evaluación técnica de los modelos fotovoltaicos seleccionados se centró en su comportamiento eléctrico frente a diferentes niveles de demanda energética, considerando parámetros clave como el número total de paneles requeridos, la compatibilidad con el rango MPPT (80–450 V), la eficiencia energética por unidad de superficie y la configuración serie-

paralelo requerida. Este análisis tiene como finalidad comparar, desde un enfoque de ingeniería, el rendimiento técnico de los paneles más viables para su aplicación en sistemas aislados.

Inicialmente, se identificaron los modelos que requerían menor cantidad de paneles para cubrir cada nivel de demanda diaria, desde 10 hasta 200 kWh. Esta característica influye directamente en el diseño físico, el número de conexiones, las estructuras necesarias y el mantenimiento del sistema. Aunque estos datos ya se encuentran en las TABLAS X y XI, en este apartado se presenta un resumen comparativo específico para los tres modelos mejor posicionados en el ranking global: 340W-P, 455W-M y 545W-M

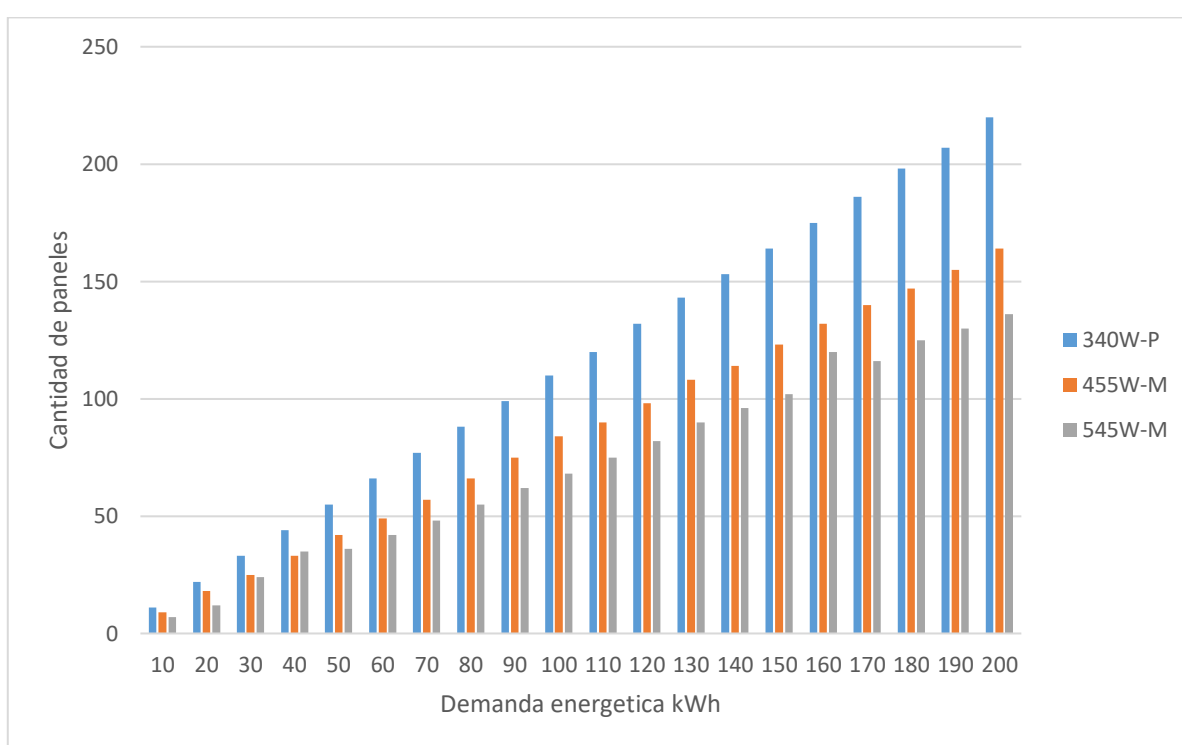


Figura 11. Comparación del número total de paneles requeridos por nivel de energía diaria para 340W-P, 455W-M y 545W-M.

La Figura 11 muestra el número total de paneles requeridos según la demanda energética diaria para los modelos 340W-P, 455W-M y 545W-M. Se observa que los modelos de mayor potencia, en especial el 545W-M, requieren una menor cantidad de paneles para cubrir los distintos niveles de demanda, lo que se vuelve más evidente a partir de los 60 kWh diarios. En cambio, el modelo 340W-P, al tener una potencia nominal menor, requiere un número significativamente mayor de unidades, lo que puede incrementar los costos asociados a

estructuras de soporte, cableado y mantenimiento. Esta diferencia se amplifica conforme la demanda energética aumenta, lo que resalta la ventaja logística y económica de utilizar paneles de mayor potencia en sistemas de mayor escala.

Luego, se analizó la compatibilidad de cada panel con el rango operativo de los controladores MPPT, evaluando cuántas combinaciones serie-paralelo eran técnicamente válidas. En este análisis se observó que los tres modelos seleccionados fueron capaces de mantener configuraciones operativas estables en todos los niveles, aunque con diferencias en el número de ramas en paralelo requeridas, lo que incide directamente en el diseño del cableado.

TABLA XV.

NUMERO DE RAMAS EN PARALELO POR MODELOS MAS OPTIMOS

Energía	340W-P	455W-M	545W-M
10	1	1	1
20	2	2	2
30	3	5	4
40	4	11	5
50	5	6	6
60	6	7	6
70	7	19	6
80	8	11	11
90	9	15	31
100	10	12	17
110	12	9	15
120	12	14	41
130	13	12	9
140	17	19	12
150	41	41	17
160	25	22	15
170	31	14	29
180	18	21	25
190	23	31	13
200	20	41	17

La TABLA XV muestra el número de ramas en paralelo necesarias para alcanzar el total de paneles requeridos en cada nivel de demanda energética, considerando configuraciones compatibles con el rango de operación MPPT (80–450 V). Se observa que el modelo 340W-P presenta un crecimiento progresivo y controlado en el número de ramas, manteniendo una estructura relativamente estable incluso en demandas altas. Por el contrario, los modelos 455W-M y 545W-M evidencian fluctuaciones abruptas, como se aprecia en los niveles de 70,

120 y 150 kWh, donde se alcanzan picos de hasta 41 ramas en paralelo, lo cual puede generar complicaciones en el diseño eléctrico. Estos incrementos abruptos impactan negativamente en la simplicidad del sistema, elevando los requerimientos de cableado, protecciones y espacio físico para canalización. En ese sentido, el modelo 340W-P ofrece una ventaja técnica al facilitar configuraciones más balanceadas, con menor número de interconexiones, lo que contribuye a una menor caída de tensión y una instalación más eficiente.

Adicionalmente, se compararon las Tensiones de operación por configuración ( $V_{mpp}$  total) de cada modelo, observando qué tan cercanos al punto óptimo de eficiencia trabajan dentro del rango MPPT. Esto es relevante ya que trabajar en el límite inferior o superior puede comprometer la estabilidad del sistema.

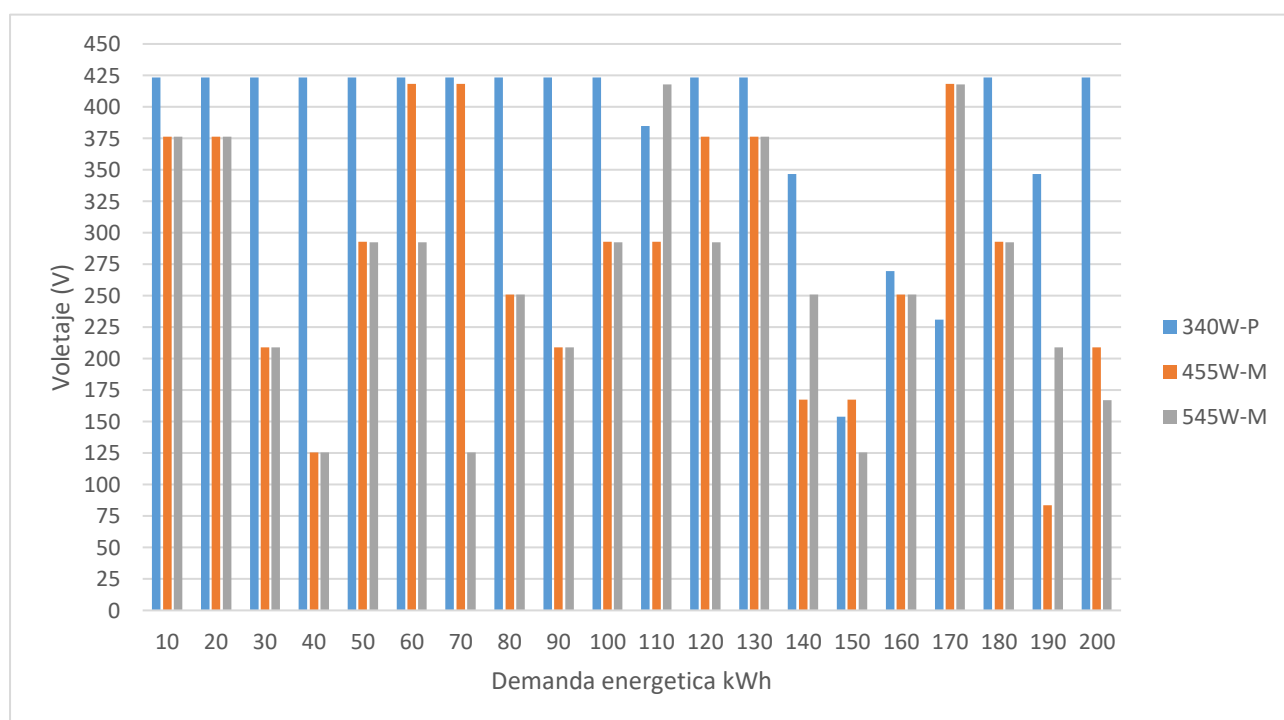


Figura 12. Voltaje de trabajo de configuraciones para los paneles principales en función de la demanda diaria.

En la Figura 12 se observa que el modelo 340W-P mantiene un funcionamiento consistente cerca del límite superior del rango MPPT (alrededor de 420 V) a lo largo de casi todos los niveles de demanda energética, lo que favorece una mayor estabilidad en la etapa de conversión DC-DC. En contraste, los modelos 455W-M y 545W-M muestran una mayor variabilidad en los valores de voltaje, con descensos significativos en algunos tramos, especialmente en

demandas de 40, 90, 160 y 200 kWh, donde incluso se registran valores por debajo de los 200 V, saliendo del rango óptimo de operación. Estas caídas pueden comprometer la eficiencia del seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), así como aumentar las pérdidas por conversión. Esta visualización subraya la importancia de seleccionar configuraciones que no solo estén dentro del rango permitido (80–450 V), sino que operen preferentemente dentro de un intervalo óptimo de 250 a 400 V, asegurando una mayor eficiencia energética del sistema fotovoltaico.

Por otro lado, al analizar la eficiencia energética de los paneles por superficie, se determinó que los modelos monocristalinos (450W-M y 455W-M) presentan una mayor densidad de potencia, lo que les permite generar más energía por metro cuadrado. Esta característica es especialmente importante en instalaciones donde el espacio disponible es limitado.

TABLA XVI.

EFICIENCIA NOMINAL POR SUPERFICIE DE LOS TRES MODELOS

Modelo	Potencia	Área	Eficiencia
340W-P	340	1.94	18%
455W-M	455	2.21	21%
545W-M	545	2.40	23%

La eficiencia de un panel fotovoltaico representa la capacidad que tiene para convertir la radiación solar incidente en electricidad, en función del área que ocupa. Como se observa en la Tabla 14, el modelo 545W-M presenta la mayor eficiencia, con un 23%, seguido por el 455W-M con 21% y el 340W-P con 18%. Esta diferencia se debe principalmente al tipo de tecnología empleada, siendo los modelos más eficientes de tipo monocristalino, mientras que el de menor eficiencia es policristalino. A mayor eficiencia, mayor densidad de generación energética, lo que representa una ventaja clave en sistemas con limitaciones de espacio o donde se busca optimizar el uso del área disponible. Esta comparación refuerza la importancia de considerar no solo la potencia nominal, sino también la eficiencia superficial, especialmente en el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados donde las restricciones de terreno son críticas.

#### 4.3.2. Comparación económica de las configuraciones

El análisis económico de las configuraciones serie-paralelo válidas constituye un componente fundamental en la selección óptima de paneles fotovoltaicos, especialmente en contextos

aislados donde se busca maximizar el rendimiento de la inversión. En esta sección, se comparan los modelos 340W-P, 455W-M y 545W-M, evaluando su comportamiento frente a tres variables económicas críticas: el costo total de la configuración, el costo por potencia instalada (S/. /Wp) y el costo estimado por energía entregada (S/. /kWh/día).

El primer aspecto considerado fue el costo total acumulado por modelo y por nivel de demanda energética, el cual incluye la suma del costo de adquisición de los paneles solares, el costo del cableado (en función del número de ramas paralelas) y el costo estimado del terreno ocupado (considerando el área total de la configuración).

La TABLA XIII presenta de manera consolidada los costos totales asociados a cada configuración de paneles, considerando los nueve modelos de mejor rendimiento. Se evidencia que los modelos 455W-M y 340W-P registran los costos totales más bajos en la mayoría de los niveles de demanda energética, especialmente entre los 10 y 140 kWh/día. El modelo 455W-M resalta por su buen equilibrio entre potencia, cantidad de paneles y costos de instalación, mientras que el 340W-P, pese a requerir más unidades, mantiene un costo competitivo debido a su bajo precio por unidad. Por otro lado, el modelo 450W-M, aunque tiene una potencia intermedia, no se posiciona como la opción más económica en ningún rango de demanda, debido a un precio por unidad menos favorable en relación con el rendimiento total del sistema.

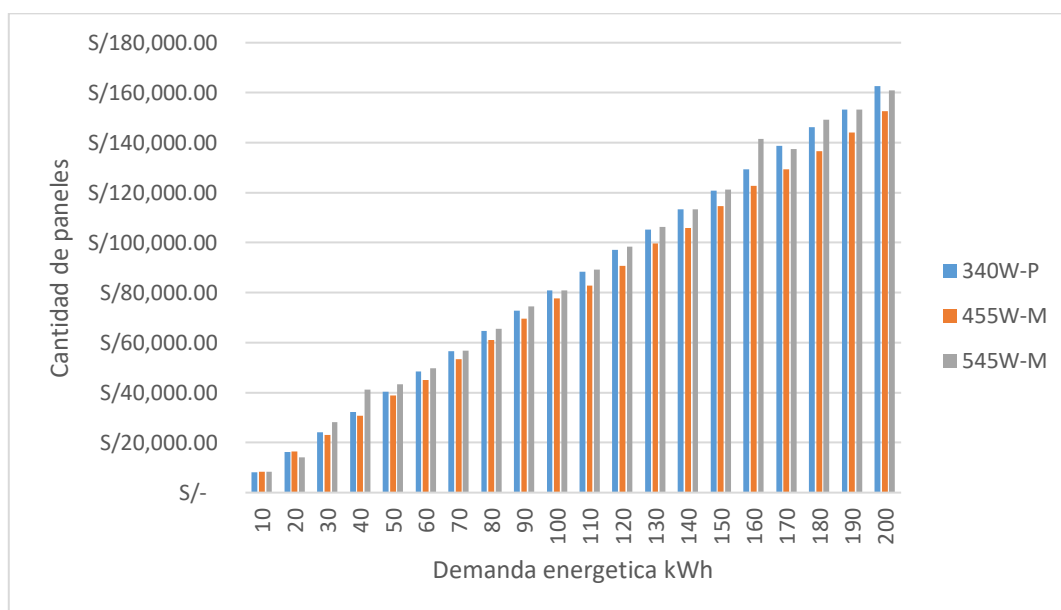


Figura 13. Costo total por nivel de energía diaria para los tres modelos de mejor opción económica

En la Figura 13 se observa que el modelo 455W-M presenta el menor costo total de instalación en prácticamente todos los niveles de demanda energética diaria, lo que evidencia su eficiencia económica integral en relación con su potencia y cantidad de paneles requeridos. El modelo 340W-P, aunque más económico por unidad, muestra un incremento progresivo y más pronunciado en el costo total conforme aumenta la demanda, debido al mayor número de paneles y la consiguiente complejidad del sistema. En contraste, el modelo 545W-M, a pesar de su alta potencia y eficiencia, mantiene los costos más elevados a lo largo de todos los niveles, lo que se atribuye a su mayor precio por unidad, este comportamiento reafirma que la elección del panel no debe basarse únicamente en la potencia o el precio unitario, sino en el impacto global sobre el diseño, instalación y costos operativos del sistema fotovoltaico.

Adicionalmente, se calculó el costo por unidad de potencia instalada (S/. /Wp), tomando como referencia la inversión total y la capacidad instalada de cada configuración, este indicador permite comparar de forma estandarizada la eficiencia económica de cada modelo, independientemente de la escala del sistema fotovoltaico analizado.

TABLA XVII.

COSTO POR WP INSTALADO PARA 340W-P, 455W-M Y 545W-M

Modelo	Demanda (kWh/día)	Costo total (S/.)	Potencia instalada (kW)	Costo por Wp (S/. /Wp)
340W-P	10.00	S/ 8,098.44	3.74	2.165
545W-M	20.00	S/ 14,158.40	6.54	2.165
455W-M	30.00	S/ 23,145.43	11.38	2.035
455W-M	40.00	S/ 30,699.85	15.02	2.045
455W-M	50.00	S/ 38,781.26	19.11	2.029
455W-M	60.00	S/ 45,133.07	22.30	2.024
455W-M	70.00	S/ 53,274.44	25.94	2.054
455W-M	80.00	S/ 61,064.33	30.03	2.033
455W-M	90.00	S/ 69,627.30	34.13	2.040
455W-M	100.00	S/ 77,672.44	38.22	2.032
455W-M	110.00	S/ 82,850.13	40.95	2.023
455W-M	120.00	S/ 90,741.54	44.59	2.035
455W-M	130.00	S/ 99,714.07	49.14	2.029
455W-M	140.00	S/ 105,918.16	51.87	2.042
455W-M	150.00	S/ 114,548.21	55.97	2.047
455W-M	160.00	S/ 122,819.18	60.06	2.045
455W-M	170.00	S/ 129,279.20	63.70	2.030
455W-M	180.00	S/ 136,601.61	66.89	2.042
455W-M	190.00	S/ 143,967.14	70.53	2.041
455W-M	200.00	S/ 152,671.99	74.62	2.046

La TABLA XVII permite evaluar el comportamiento económico de los modelos seleccionados desde un enfoque técnico normalizado, mediante el costo por unidad de potencia instalada (S/. /Wp) en función del crecimiento de la demanda energética. Se observa que el modelo 455W-M presenta una relación costo/potencia instalada baja y estable, con valores que oscilan entre 2.02 y 2.05 S/. /Wp, lo que evidencia su buena eficiencia económica a lo largo de distintos niveles de demanda. En comparación, el modelo 340W-P, aunque constante, mantiene un valor más elevado de 2.165 S/. /Wp, lo que indica un menor aprovechamiento económico del recurso invertido. Por su parte, el modelo 545W-M, también con un valor de 2.165 S/. /Wp en demandas bajas (20 kWh/día), no mantiene continuidad en el resto de rangos, limitando su comparación. En conjunto, estos resultados respaldan la elección del modelo 455W-M como una opción balanceada entre desempeño técnico y optimización del costo por watt pico instalado.

Este indicador reafirma que la selección del panel debe considerar no solo el precio unitario del módulo, sino también la eficiencia global en el uso del presupuesto respecto a la capacidad instalada. Los modelos monocristalinos, como el 455W-M, ofrecen una ventaja significativa al proporcionar mayor potencia por unidad de área y requerir menos componentes adicionales (estructura, cableado y protecciones), lo que se traduce en menores costos por watt pico instalado. Esta eficiencia integrada mejora la rentabilidad y sostenibilidad del sistema fotovoltaico, especialmente en contextos aislados donde la optimización técnica y económica resulta crítica.

Del mismo modo, se estimó el costo por energía entregada (S/. /kWh/día), dividiendo el costo total entre la energía diaria generada, este indicador resulta útil para evaluar el rendimiento económico del sistema en términos de la energía diaria generada.

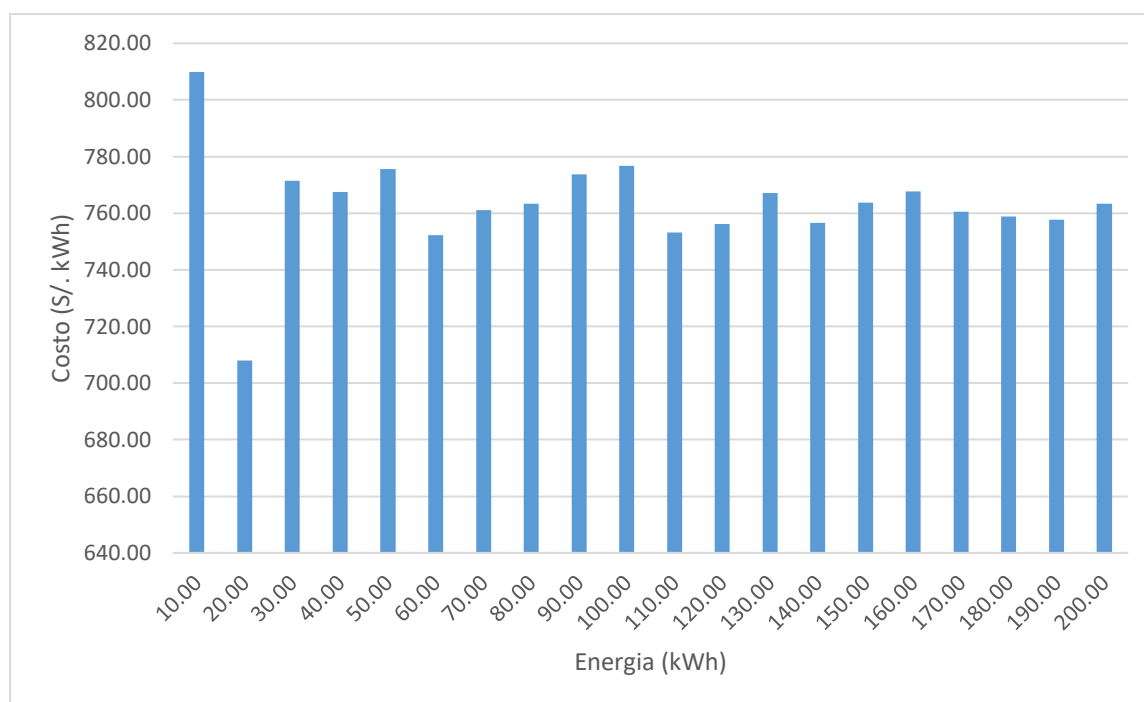


Figura 14. Costo por kWh según el nivel de demanda]

La Figura 14 muestra la evolución del costo por unidad de energía entregada (S/. /kWh/día) en función de la demanda energética diaria para los modelos 340W-P, 455W-M y 545W-M. En los niveles de menor demanda (10 a 20 kWh/día), el modelo 455W-M mantiene un comportamiento relativamente estable, con costos que oscilan entre S/ 752 y S/ 775 por kWh, mientras que el modelo 340W-P, con un valor de S/ 809.84/kWh, resulta menos eficiente debido al mayor número de paneles necesarios y los costos adicionales asociados a estructuras y cableado. Por su parte, el modelo 545W-M muestra un valor puntual más competitivo (S/ 707.92/kWh para 20 kWh/día), aunque no se presenta su comportamiento para otras demandas. En general, el 455W-M se posiciona como la opción más consistente y rentable a medida que la demanda aumenta, mostrando una baja variabilidad y una mejor relación entre inversión y energía suministrada. Este gráfico refuerza el enfoque multicriterio del estudio, mostrando que la selección óptima del panel no se limita al costo unitario o eficiencia nominal, sino a su capacidad de ofrecer energía útil a un costo competitivo en función del diseño total del sistema.

En este análisis se evidenció que, si bien el modelo 340W-P puede resultar competitivo en demandas bajas (como 10 kWh/día), su desempeño económico se deteriora a medida que aumenta la escala, debido al incremento en la cantidad de paneles necesarios y los costos asociados a estructura y cableado. En contraste, el modelo 455W-M muestra un

comportamiento más eficiente y controlado a lo largo de todos los niveles energéticos evaluados, con un menor costo por unidad de potencia instalada y por energía entregada. Este comportamiento confirma la importancia de considerar no solo el precio unitario del panel o la cantidad de módulos, sino el costo total del sistema, incluyendo instalación, materiales auxiliares y rendimiento energético, donde los modelos de mayor eficiencia ofrecen una ventaja técnica y económica integral.

#### 4.3.3. Síntesis de resultados técnicos y económicos para selección óptima

Con base en los análisis técnicos y económicos, se consolidan en esta sección los resultados que permiten establecer con claridad los modelos de paneles fotovoltaicos más adecuados para distintas escalas de demanda energética en sistemas aislados. Para esta síntesis comparativa, se han considerado los tres modelos que ocuparon el primer lugar en el ranking multicriterio por nivel de demanda, elaborado con criterios integrados de desempeño técnico y viabilidad económica, estos modelos son: 340W-P, 455W-M y 545W-M.

La elección de estos tres paneles se fundamenta en el análisis del **ranking por menor costo total del sistema fotovoltaico**, que incluyó los costos de paneles, cableado y terreno. El siguiente gráfico muestra la **frecuencia con la que cada modelo ocupó el primer puesto** en los 20 niveles de demanda evaluados (de 10 a 200 kWh/día):

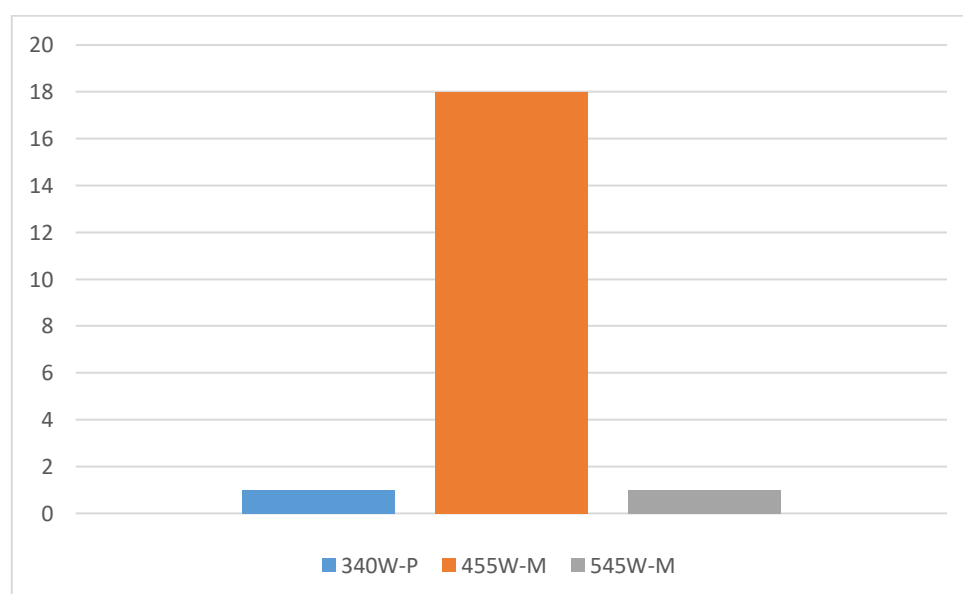


Figura 15. Frecuencia de aparición en primer lugar del ranking multicriterio

Como se aprecia, el modelo 455W-M fue el más destacado, ocupando el primer lugar en 18 de 20 escenarios, lo que refleja su alta consistencia en términos técnicos y económicos. Los modelos 340W-P y 545W-M lideraron únicamente en un escenario cada uno, pero lo hicieron en rangos específicos donde demostraron ventajas competitivas.

A continuación, se resumen las principales características que explican la inclusión de estos tres modelos:

- **340W-P:** Se caracteriza por su bajo costo unitario y su buen comportamiento eléctrico en configuraciones serie-paralelo estables. Es ideal para demandas menores, donde se prioriza un sistema simple y de bajo costo inicial.
- **455W-M:** Ofrece el mejor equilibrio general. Tiene alta eficiencia por superficie (21%), menor cantidad de paneles requeridos y excelente costo por watt instalado y por energía entregada. Además, mantiene voltajes operativos dentro del rango óptimo del regulador MPPT.
- **545W-M:** A pesar de su mayor costo por unidad, se posiciona como alternativa eficiente en demandas altas o cuando el espacio disponible es limitado. Tiene la mayor eficiencia (23%) y permite reducir la infraestructura necesaria al concentrar más potencia por unidad.

Con base en los resultados integrados del análisis, se propone la siguiente tabla que sintetiza qué modelo resulta óptimo en cada tramo de demanda energética, considerando su desempeño técnico-económico consolidado:

TABLA XVIII.

PANELES RECOMENDADOS SEGÚN RANGO DE DEMANDA ENERGETICA

Energía	Panel	Justificación
10	340W-P	Es el modelo con menor costo total en demandas muy bajas; destaca por su bajo costo unitario y estabilidad eléctrica en configuraciones simples.
20	545W-M	Aunque tiene un mayor costo por unidad, resulta más eficiente para este nivel, con menor número de paneles requeridos y buen rendimiento por superficie.

30 – 200	455W-M	Domina el ranking en todos los niveles superiores; combina alta eficiencia, buena configuración eléctrica y el menor costo total del sistema.
----------	--------	---

La optimización de la selección de paneles no debe centrarse únicamente en parámetros individuales como eficiencia o costo por unidad. Este estudio demuestra que una evaluación multicriterio, que incorpore costos totales, compatibilidad eléctrica y rendimiento técnico, permite obtener decisiones más sólidas y adaptadas al contexto real. Los tres modelos seleccionados constituyen opciones óptimas en función de la escala del sistema, y su elección dependerá de las condiciones técnicas, logísticas y económicas del proyecto.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir del desarrollo metodológico propuesto en esta tesis, cuyo objetivo fue evaluar, desde una perspectiva técnica y económica, diversos modelos de paneles fotovoltaicos aplicables a sistemas aislados. El proceso se llevó a cabo de manera progresiva, comenzando con la caracterización de trece modelos comerciales, tanto monocristalinos como policristalinos, considerando variables como la potencia nominal, los valores de operación eléctrica ( $V_{mpp}$  e  $I_{mpp}$ ), el área de captación solar, el rendimiento energético y el precio unitario. Esta primera fase permitió vincular las propiedades técnicas de cada modelo con su repercusión económica, lo que facilitó una clasificación inicial en función del número de paneles requeridos para cubrir diferentes niveles de demanda energética, desde 10 hasta 200 kWh diarios.

En cuanto a la caracterización eléctrica y económica de los paneles fotovoltaicos, la presente tesis desarrolló un análisis comparativo exhaustivo de trece tecnologías disponibles en el mercado, combinando aspectos técnicos como voltajes de operación, eficiencia, superficie ocupada y comportamiento energético, con criterios económicos como el costo por unidad. Este enfoque permitió identificar variaciones significativas entre modelos y, a su vez, analizar cómo estas diferencias inciden en la cantidad de paneles necesarios para alcanzar determinadas demandas energéticas. Al integrar estas variables con el análisis de costos, fue posible construir una base cuantitativa robusta que fortalece el proceso de toma de decisiones en el diseño de sistemas aislados, optimizando su viabilidad técnica y económica desde las primeras etapas del proyecto.

Este tipo de caracterización encuentra coincidencias metodológicas claras con algunos antecedentes. La tesis de Ziemba (2023), por ejemplo, realiza una evaluación detallada de paneles fotovoltaicos a partir de múltiples parámetros como eficiencia, potencia, área, coeficientes térmicos, garantía y costo por vatio, utilizando el enfoque multicriterio MCDA-PROSA. Si bien su estudio se orienta a instalaciones conectadas a red, coincide con la presente tesis en la necesidad de integrar variables técnicas y económicas para una evaluación robusta de alternativas tecnológicas. De forma similar, Medina (2023) emplea el método AHP para ponderar parámetros como la potencia nominal, eficiencia y voltaje de operación. Aunque no asocia estos valores con una demanda energética específica ni con costos unitarios, resalta la importancia del análisis técnico en la selección de paneles, lo cual coincide con la lógica

comparativa aplicada en esta investigación. Por su parte, Solano (2021) enfatiza la relevancia de factores como la eficiencia, potencia pico y voltaje de aislamiento como criterios para la selección de módulos, destacando su influencia en la reducción de pérdidas y en los costos operativos. Esta visión técnica también se refleja en el presente estudio, donde se vinculan estos factores con el rendimiento global del sistema y la inversión requerida.

Otros antecedentes presentan coincidencias parciales con el enfoque de caracterización técnica y económica adoptado. En el caso de Alvaro (2020), se identifican parámetros como potencia, eficiencia y número de paneles requeridos; sin embargo, no se realiza una comparación entre distintos modelos ni se establece una relación directa con el costo por unidad, lo que limita su alcance. Una situación similar se observa en la tesis de Valdivia (2020), que si bien estima con precisión la demanda energética del caserío El Cardón y define la potencia requerida, selecciona un solo modelo de panel sin evaluar alternativas tecnológicas, lo cual reduce la flexibilidad del análisis frente a escenarios diversos. En el trabajo de Arica (2023), se consideran parámetros como potencia, voltaje y corriente de salida en el contexto de un sistema de bombeo, pero no se profundiza en una comparación entre diferentes tecnologías ni se incorpora la eficiencia por área ni el costo como parte del análisis, quedando el tratamiento en un nivel descriptivo.

En contraste, la tesis de Barajas y Román (2023) se aleja del enfoque técnico adoptado aquí. Su trabajo se basa en una evaluación global del potencial de generación en las terrazas de un edificio institucional, incluyendo una estimación económica de inversión y retorno. Sin embargo, no se proporciona un desglose técnico de los paneles utilizados ni se analizan sus parámetros eléctricos, lo que impide establecer una correspondencia con el análisis detallado desarrollado en esta investigación.

En conjunto, puede afirmarse que la presente tesis representa un aporte metodológico y práctico significativo respecto a los antecedentes revisados. La incorporación simultánea de variables eléctricas, económicas y de escala (relacionadas con la demanda diaria) permite una evaluación comparativa entre tecnologías que no solo mejora la precisión del diseño, sino que también fortalece la toma de decisiones para implementar sistemas fotovoltaicos en zonas rurales aisladas, donde los recursos son limitados y cada componente seleccionado debe maximizar su rendimiento técnico y económico.

En el análisis del costo total del sistema fotovoltaico según la energía requerida y las configuraciones serie-paralelo compatibles con el rango operativo de los reguladores MPPT, esta tesis propuso una metodología integral que contempla no solo el costo de adquisición de paneles, sino también el impacto económico derivado del cableado —dependiente del número de ramas en paralelo— y del área de terreno utilizada por la instalación. Esta perspectiva permitió evaluar no solo la opción más accesible en términos de cantidad de paneles, sino también aquella que minimiza el costo global al optimizar la disposición física del sistema y reducir componentes costosos como el tendido de cables o el uso intensivo del terreno. Además, se priorizaron las configuraciones que cumplieran estrictamente con los requisitos de voltaje del controlador MPPT, asegurando que las alternativas seleccionadas fueran viables tanto técnica como económicamente.

Varios de los antecedentes revisados abordan el análisis económico desde una perspectiva más general, sin entrar en una descomposición técnica de los costos vinculados a las configuraciones eléctricas. Por ejemplo, Medina (2023) se enfoca en comparar propuestas técnicas de diferentes proveedores utilizando criterios como garantía, vida útil y relación costo-beneficio. No obstante, su estudio no incorpora simulaciones de configuraciones serie-paralelo ni evalúa el efecto económico de estas conexiones sobre el sistema. En contraste, la presente investigación vincula directamente el diseño eléctrico con el impacto financiero, lo cual permite una selección fundamentada y alineada con las condiciones reales de operación.

De manera similar, en el trabajo de Arica (2023), orientado a sistemas de bombeo de agua, se mencionan costos de componentes como paneles e inversores, pero no se evalúa cómo el arreglo eléctrico incide en los costos totales. Su enfoque funcional, aunque útil, no incorpora variables como la compatibilidad con el rango MPPT o el costo del terreno utilizado. La diferencia con esta tesis radica en que aquí se estructuró una evaluación comparativa entre distintas configuraciones válidas que cumplen criterios técnicos reales, lo que aporta mayor rigor al diseño y a la estimación económica.

La investigación de Barajas y Román (2023) se centra en indicadores de ahorro energético y reducción de emisiones, abordando los costos desde una perspectiva institucional y ambiental. Si bien se estima una inversión total y se proyecta un retorno económico, no se detalla el efecto de la configuración eléctrica sobre el presupuesto global ni se considera el uso de espacio o el número de interconexiones. La presente tesis, en cambio, descompone el costo en función de

variables técnicas como la longitud del cableado y la ocupación de terreno, lo que permite al diseñador intervenir en cada etapa del proyecto para optimizar la inversión.

El trabajo de Valdivia (2020) incluye una evaluación económica más estructurada, utilizando indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). Sin embargo, no desagrega los costos en función de las configuraciones eléctricas ni considera cómo el número de ramas paralelas o el espacio requerido afectan la inversión. En cambio, esta tesis demuestra que, en ciertos casos, una configuración con más paneles puede resultar más rentable si reduce significativamente los costos asociados al cableado y la instalación. Esta visión detallada proporciona herramientas para afinar los diseños según criterios técnicos y financieros concretos.

El estudio de Alvaro (2020) representa un caso intermedio. Si bien incluye tablas de configuración serie-paralelo y valida la compatibilidad eléctrica del diseño, su análisis de costos no profundiza en el impacto económico específico del número de ramas paralelas ni del área ocupada por el sistema. Por ello, su evaluación queda centrada en el dimensionamiento energético más que en una optimización económica integral. Esta tesis avanza un paso más al convertir esos factores técnicos en variables clave dentro del análisis económico.

Por último, el trabajo de Ziemba (2023) presenta un enfoque multicriterio sólido para la comparación de paneles individuales, incorporando variables como eficiencia, área y costo por vatio. Sin embargo, no desarrolla simulaciones completas ni estima el costo del sistema total en función de la energía requerida. La principal diferencia está en la escala de análisis: mientras Ziemba se centra en el rendimiento aislado de cada módulo, esta tesis modela y compara sistemas completos adaptados a escenarios reales, integrando el comportamiento eléctrico, los costos y la adecuación espacial de las configuraciones.

En conjunto, puede afirmarse que la presente tesis amplía el enfoque tradicional basado únicamente en la cantidad de paneles, al demostrar que la configuración eléctrica influye de forma directa en los costos totales del sistema. La incorporación de variables como la cantidad de ramas en paralelo y el área ocupada no solo permite mejorar la precisión del análisis económico, sino también tomar decisiones estratégicas para optimizar el diseño físico y eléctrico del sistema. Este nivel de desagregación y conexión entre criterios técnicos y financieros constituye un aporte valioso para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos aislados

en entornos rurales, donde cada componente debe justificar su inclusión en términos de costo-beneficio.

En el marco de la comparación de parámetros eléctricos y económicos para seleccionar paneles óptimos, la presente tesis desarrolló una metodología multicriterio basada en datos técnicos reales, simulaciones operativas y análisis económico comparativo para determinar qué modelos de paneles fotovoltaicos presentan un mejor desempeño en función de distintos niveles de demanda energética diaria. A diferencia de enfoques que se limitan a evaluar aspectos aislados como eficiencia o precio, esta investigación integró múltiples variables como la eficiencia del panel, la tensión de operación ( $V_{mpp}$ ), el área ocupada, el número total de paneles requeridos, el costo por watt pico ( $\$/Wp$ ) y el costo estimado por energía diaria entregada ( $\$/kWh/día$ ). A partir de estos parámetros, se construyeron rankings jerárquicos por nivel de demanda y gráficos comparativos que permiten visualizar con claridad qué modelos son más eficientes y rentables en distintos escenarios. Esta estrategia permitió observar, por ejemplo, que el modelo 340W-P es más adecuado para demandas bajas, mientras que los modelos 450W-M y 455W-M presentan un mejor comportamiento técnico-económico en demandas medias y altas.

La tesis de Ziemba (2023) representa uno de los pocos antecedentes que coincide metodológicamente con este enfoque, al aplicar un sistema multicriterio basado en el método PROSA complementado con simulaciones Monte Carlo para evaluar la robustez técnica y la incertidumbre en las preferencias del usuario. Ambos trabajos integran parámetros técnicos y económicos para construir rankings de optimización, aunque se diferencian en su campo de aplicación. Mientras Ziemba se enfoca en instalaciones residenciales conectadas a red, la presente tesis contextualiza su análisis en sistemas fotovoltaicos autónomos en zonas rurales, incluyendo como variable crítica la compatibilidad eléctrica con reguladores MPPT. Esta adaptación al entorno real de implementación amplía el alcance práctico de la herramienta de decisión propuesta.

De forma similar, Medina (2023) aplica el método TOPSIS para seleccionar entre propuestas comerciales, integrando ponderaciones técnicas y económicas. No obstante, su análisis carece de datos cuantitativos específicos como el costo por  $Wp$ , el costo por energía entregada o la eficiencia por área, y no relaciona estos valores con las configuraciones eléctricas del sistema. En contraste, la presente tesis emplea datos normalizados y simulaciones reales para construir

un ranking robusto, segmentado por niveles de demanda, lo cual proporciona una base metodológica más sólida y contextualizada para elegir el panel óptimo en cada escenario.

Otros trabajos, como el de Solano (2021), ofrecen una comparación cualitativa entre tecnologías fotovoltaicas (monocristalinas, policristalinas y amorfas), señalando sus ventajas y desventajas. Si bien no construye un ranking formal, reconoce la importancia de la eficiencia y otras características técnicas sobre la viabilidad del sistema. La presente tesis extiende y fortalece ese enfoque, al transformarlo en un procedimiento cuantitativo que incorpora criterios de compatibilidad eléctrica, comportamiento por nivel de demanda y costos normalizados, lo cual facilita una toma de decisiones más objetiva y replicable.

En cambio, estudios como los de Arica (2023), Barajas y Román (2023), Valdivia (2020) y Alvaro (2020) no aplican metodologías multicriterio ni construyen rankings comparativos. El trabajo de Arica se limita a seleccionar un modelo que cumpla con los requisitos del sistema de bombeo, sin evaluar variantes ni justificar técnicamente la elección mediante indicadores de eficiencia o costo. Barajas y Román, por su parte, trabajan con una única tecnología instalada en función del área disponible, sin análisis de optimización ni comparación técnica entre opciones. Valdivia basa su selección en criterios de disponibilidad y potencia, sin establecer una metodología que permita contrastar diferentes tecnologías bajo criterios cuantitativos. De igual modo, Alvaro selecciona paneles adecuados para cubrir la demanda, pero sin un proceso de priorización ni análisis integrado que relacione eficiencia, costo unitario y comportamiento eléctrico.

Frente a estos enfoques limitados, la presente tesis aporta una herramienta de evaluación y selección más completa y replicable, al establecer un ranking multicriterio adaptado al contexto operativo real. Este ranking no solo ordena paneles por eficiencia o precio, sino que permite visualizar qué modelos presentan un mejor desempeño técnico y económico en función de la energía requerida. La integración de múltiples indicadores, la validación con configuraciones eléctricas reales, y la representación gráfica de los resultados ofrecen una base más precisa para la toma de decisiones en el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados.

En resumen, el enfoque adoptado en esta tesis representa una mejora metodológica frente a los antecedentes revisados, ya que permite seleccionar paneles no solo por sus atributos técnicos individuales, sino por su desempeño global dentro del sistema completo. Este tipo de análisis es especialmente relevante en contextos rurales donde la eficiencia de cada componente tiene

un impacto directo sobre la viabilidad del proyecto. La combinación de rigurosidad técnica, análisis económico detallado y enfoque contextual convierte esta investigación en una herramienta de referencia para procesos de selección tecnológica en aplicaciones energéticas autónomas.

## **VI. PROPUESTA DE INTERVENCION**

La presente propuesta metodológica tiene como finalidad estructurar un procedimiento sistemático y replicable para seleccionar, dimensionar y comparar modelos de paneles fotovoltaicos en aplicaciones de sistemas aislados. Este enfoque nace como respuesta a la necesidad de optimizar la toma de decisiones técnicas y económicas en contextos rurales, donde los recursos son limitados y la eficiencia del sistema resulta crítica. Basado en los resultados obtenidos en la presente investigación, se propone una metodología que integra criterios eléctricos, económicos y de configuración del sistema para ofrecer una guía de diseño que facilite la elección del panel óptimo, la disposición eléctrica más adecuada y la estimación precisa del costo total de implementación.

La metodología planteada abarca desde la estimación de la energía diaria requerida hasta la validación final de compatibilidad con los reguladores MPPT, pasando por etapas clave como el cálculo del número de paneles, la selección técnica-económica del modelo, la configuración eléctrica más eficiente y la evaluación de costos asociados a la instalación. Esta estructura busca ser útil tanto para diseñadores, ingenieros y técnicos, como para formuladores de proyectos de electrificación rural que requieran criterios cuantitativos y prácticos para sus decisiones de implementación.

### **6.1. Objetivo de la propuesta**

Establecer un procedimiento metodológico que permita seleccionar de forma óptima modelos de paneles fotovoltaicos, a partir de la correlación entre parámetros eléctricos y costos asociados, para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas. La propuesta busca integrar criterios técnicos y económicos que garanticen la compatibilidad eléctrica, la eficiencia energética y la viabilidad económica de la instalación, considerando diferentes niveles de demanda y condiciones reales de implementación.

### **6.2. Justificación de la propuesta**

En los antecedentes revisados, se ha identificado que los métodos para seleccionar paneles fotovoltaicos en sistemas aislados suelen basarse en enfoques multicriterio enfocados en variables técnicas como potencia nominal, eficiencia, voltaje y corriente de operación, o incluso, en algunos casos, únicamente en la premisa de que, a mayor potencia del panel, mejor

será su desempeño global, no obstante, este enfoque omite el impacto económico integral que generan estas decisiones sobre el costo total del sistema.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que ni la mayor potencia ni la mejor eficiencia garantizan por sí solas la opción óptima, por el contrario, el verdadero factor determinante es el costo total del sistema fotovoltaico, el cual resulta de la interacción entre el número de paneles requeridos, la longitud del cableado necesario y el área de terreno a utilizar, estos elementos dependen directamente de las características técnicas del panel, pero su efecto se manifiesta en términos económicos concretos.

Por ello, la presente propuesta tiene como objetivo establecer un método sistemático de selección de paneles, basado no solo en variables técnicas, sino en su influencia directa sobre los costos del sistema, permitiendo identificar soluciones económicamente óptimas para cada nivel de demanda energética, esta metodología, validada con los resultados obtenidos, ofrece una herramienta replicable que permite fundamentar decisiones de diseño desde una perspectiva integral, práctica y financieramente eficiente.

### 6.3. Propuesta metodológica

#### 6.3.1. Cálculo de la energía diaria requerida (Ed)

El primer paso para dimensionar un sistema fotovoltaico consiste en determinar la energía diaria requerida por el usuario final, denotada como, esta variable representa el total de energía que debe ser suministrada por el sistema cada día y se obtiene mediante un inventario de cargas, la ecuación 8 muestra la forma de cálculo.

$$E_d = \sum_{i=1}^n (P_i t_i) \quad 8$$

Donde:

$P_i$  : Potencia nominal del equipo (kW)

$t_i$  : Tiempo de uso diario del equipo (h)

La recopilación de estos datos puede basarse en entrevistas o encuestas a usuarios sobre hábitos de consumo, revisión de consumos históricos (en caso de sistemas híbridos o conexiones

anteriores), censos energéticos locales y/o estándares de consumo establecidos por entidades como el MINEM o la GTZ.

### 6.3.2. Cálculo de la cantidad de paneles (NT)

Una vez conocida la demanda total de energía diaria esperada, este valor se utiliza para calcular la potencia requerida del campo solar, para ello, se utiliza la ecuación 9 ampliamente reconocida en la literatura técnica y aplicada comúnmente en estudios de electrificación rural.

$$P_{cs} = \frac{E_d G_{stc}}{H \eta} \quad 9$$

Donde:

- $P_{cs}$  : Potencia del campo solar (kW)
- $E_d$  : Energía requerida diaria (kWh)
- $H$  : Radiación en la ubicación de análisis (kWh/m<sup>2</sup>)
- $G_{stc}$  : Irradiación bajo condiciones STC (1 kW/m<sup>2</sup>)
- $\eta$  : Horas solares pico diarias

Este enfoque es el que se emplea con regularidad, así lo demuestran los antecedentes como Ziemba (2023), Medina (2023) y Alvaro (2020), quienes recurrieron a esta misma fórmula o su equivalente como punto de partida para estimar la potencia del campo solar. Aunque sus aplicaciones varían en contexto (residencial, rural, institucional), todos reconocen su utilidad como modelo base para el dimensionamiento inicial.

Para el diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos, es crucial utilizar valores conservadores que aseguren el suministro energético continuo incluso en las condiciones más críticas, por esta razón, la radiación solar promedio diaria se selecciona como el valor mínimo registrado a lo largo del año, correspondiente al mes de menor radiación solar, este criterio, ampliamente recomendado por normas técnicas internacionales, permite garantizar el funcionamiento del sistema durante todo el año, la cual variará según la ubicación del sistema a dimensionar, teniéndose en cuenta las bases de datos climáticas reconocidas como el NSRDB (National

Solar Radiation Database), el Data Access Viewer de la NOAA, PVGIS de la Comisión Europea y SolarGis.

En cuanto a la eficiencia global del sistema, se consideran todas las pérdidas que ocurren desde la generación en los paneles hasta la entrega final de energía útil. Estas pérdidas incluyen factores como el ángulo de inclinación, temperatura, cableado, suciedad en los módulos, eficiencia del regulador de carga, entre otros. Diversos estudios técnicos y guías de diseño, como las del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) en España, recomiendan utilizar un valor promedio del 60% (0.60) para representar de manera realista el comportamiento del sistema bajo condiciones de campo, recordando que puede reemplazarse por datos empíricos o normados en el país donde corresponde; en Perú no se tiene esta disposición, por lo que sustentarse en la ratio sugerida permite dimensionar sistemas funcionales.

A partir de  $P_{cs}$ , se determina la cantidad total de paneles  $N_T$  a instalar para cada modelo evaluado, dado que el valor resultante puede no ser entero, se aplica la función techo para garantizar que la potencia mínima requerida sea cubierta completamente, la ecuación 10 muestra este razonamiento.

$$N_T = \left\lceil \frac{P_{cs}}{P_{panel}} \right\rceil \quad 10$$

Donde:

$N_T$  : Numero de paneles totales

$P_{cs}$  : Potencia del campo solar (kW)

$P_{panel}$  : Potencia del panel a evaluar (kW)

### 6.3.3. Criterio de selección de la configuración eléctrica óptima por modelo

Cada modelo de panel puede admitir distintas combinaciones eléctricas serie-paralelo para cumplir con la potencia requerida, por tanto, se define un método para seleccionar, de entre todas las configuraciones válidas, la más eficiente según criterios técnico-económicos.

1. Se identifican los valores de  $N_s$  (número de paneles en serie) que cumplen:

$$V_{mpp}N_s \in [80V ; 450V]$$

2. Para cada  $N_s$  válido se calcula un  $N_p$  mediante la ecuación 7, obteniéndose el conjunto de  $(N_s; N_p)$  configuraciones válidas.
3. Entre estas, se selecciona la configuración óptima bajo los siguientes criterios:
  - Menor cantidad total de paneles.
  - Mayor número de paneles en serie ( $N_s$ ), ya que esto reduce la corriente por rama, permitiendo menor sección de conductor y menor caída de tensión.

Este procedimiento permite estandarizar la selección de configuraciones y hacerlas comparables entre modelos.

#### 6.3.4. Definición y ponderación de criterios económicos de selección

Para establecer una selección óptima entre los modelos, se definen tres criterios analizados en la investigación que reflejan el impacto directo en el costo total del sistema, estos se muestran en la tabla

TABLA XIX.

#### CRITERIOS UTILIZADOS EN LA SELECCIÓN DEL MODELO ÓPTIMO

Ítem	Criterio	Descripción	Justificación
1	Costo total de paneles (S/.)	Inversión asociada a los módulos fotovoltaicos requeridos.	Representa el componente principal del costo del sistema, directamente afectado por la cantidad de paneles seleccionada.
2	Área ocupada por los paneles (m <sup>2</sup> )	Superficie total requerida para instalar el arreglo fotovoltaico.	A mayor área, mayor necesidad de estructura, espacio disponible o terreno, lo que incrementa los costos globales.
3	Cantidad de paneles en serie ( $N_s$ )	Número de módulos conectados en serie por voltaje MPPT en la configuración final.	Un mayor $N_s$ reduce la corriente por rama, lo que permite usar conductores de menor sección y reducir la caída de tensión, abaratando el cableado.

Para poder comparar adecuadamente los distintos criterios considerados en el modelo de selección que se muestran en la TABLA XIX, es necesario llevar todos los valores a una escala común, independientemente de sus unidades y rangos, para ello, se aplicó un proceso de normalización lineal para transformar los valores en una escala entre 0 y 1 mediante la ecuación 11 de beneficio mayor y ecuación 12 criterio de beneficio menor.

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad 11$$

$$X_{norm} = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad 12$$

En este proceso, se utilizó la fórmula según el tipo de criterio: si se trata de un criterio de beneficio mayor donde un valor mayor es preferible se utilizó para designar a la cantidad de paneles en serie, mientras que en el caso de un criterio de beneficio menor donde se busca el valor mínimo sea el más óptimo se aplicó en los casos del costo total de paneles y el área ocupada por el sistema. Este enfoque permite integrar los tres indicadores (costo de paneles, área ocupada y número de paneles en serie) en un sistema ponderado coherente y comparable.

Para determinar los pesos asignados a cada criterio dentro del modelo multicriterio, se realizó un análisis cuantitativo basado en la distribución porcentual de costos del sistema fotovoltaico para cada uno de los nueve modelos de paneles evaluados, considerando los tres componentes establecido en la investigación (el costo total de los paneles, el costo asociado al terreno requerido y el costo estimado del cableado) los cuales fueron expresados como porcentaje del costo total del sistema para cada nivel de demanda (Anexo 07). Posteriormente, se calcularon los promedios por componente a lo largo de los 20 escenarios energéticos por modelo, obteniéndose así el peso relativo promedio que representa la participación de cada criterio en el costo total, los resultados consolidados se presentan en la TABLA XX:

TABLA XX.

PESOS RELATIVOS PROMEDIO POR CRITERIO SEGÚN ANÁLISIS DE LOS NUEVE  
MODELOS

<b>Criterio</b>	<b>Peso promedio (%)</b>	<b>Peso utilizado (%)</b>
Costo total de paneles	88.20%	88%

Costo de terreno	11.10%	11%
Costo de cables	0.70%	1%

### 6.3.5. Validación del modelo: selección óptima por nivel de demanda

Una vez definida y aplicada la metodología propuesta, que incluye el cálculo de la energía diaria requerida, la determinación de la cantidad de paneles, la selección de la configuración eléctrica óptima y la evaluación multicriterio ponderada, se procedió a validar su efectividad comparando los resultados obtenidos con los del análisis técnico-económico realizado previamente.

Para esta validación, se aplicó el modelo propuesto a cada nivel de demanda energética (de 10 kWh/día hasta 200 kWh/día, en intervalos de 10), evaluando todos los modelos de paneles seleccionados como configuraciones técnicamente viables, en cada caso se aplicaron los criterios y pesos definidos en el apartado 6.3.4, calculando el puntaje ponderado para cada opción.

Los resultados obtenidos coinciden con los del ranking presentado en el capítulo de resultados (sección 4.3), en el cual los modelos 340W-P, 545W-M y 455W-M fueron identificados como óptimos para los rangos de demanda de 10, 20 y 30 a 200 kWh/día respectivamente. Esta coincidencia valida que el modelo propuesto no solo es teóricamente sólido, sino que además reproduce fielmente los resultados del análisis técnico-económico, permitiendo su uso como herramienta sistemática para la selección de paneles fotovoltaicos en proyectos reales.

TABLA XXI.

#### COMPARACIÓN ENTRE MODELO PROPUESTO Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Energía kWh	Panel óptimo	
	Según análisis	Según Metodología
10	340W-P	340W-P
20	545W-M	545W-M
30	455W-M	455W-M
40	455W-M	455W-M
50	455W-M	455W-M
60	455W-M	455W-M
70	455W-M	455W-M
80	455W-M	455W-M
90	455W-M	455W-M

100	455W-M	455W-M
110	455W-M	455W-M
120	455W-M	455W-M
130	455W-M	455W-M
140	455W-M	455W-M
150	455W-M	455W-M
160	455W-M	455W-M
170	455W-M	455W-M
180	455W-M	455W-M
190	455W-M	455W-M
200	455W-M	455W-M

Esta validación confirma que el modelo propuesto es coherente, reproducible y aplicable como una herramienta de decisión en el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas.

#### IV. CONCLUSIONES

- La caracterización técnica de 34 modelos de paneles fotovoltaicos reveló que los monocristalinos superan en eficiencia a los policristalinos, alcanzando valores de hasta 21.3 % frente a un máximo de 18.04 % en los segundos. Sin embargo, el análisis económico mostró que esta superioridad no se traduce siempre en mejor rentabilidad, ya que los costos por watt (S/. /Wp) varían desde S/. 2.02 hasta S/. 2.165, siendo los paneles de 340W-P y 455W-M los que logran el mejor equilibrio técnico-económico. Se concluye que la eficiencia debe evaluarse junto al costo unitario, pues paneles con menor eficiencia pueden ser más viables cuando su precio por watt es significativamente más bajo.
- El análisis económico demostró que el costo total del sistema fotovoltaico no depende únicamente del precio del panel, sino de su impacto en el diseño completo, incluyendo cantidad de módulos, área requerida y cableado. Por ejemplo, para una demanda de 100 kWh/día, el modelo 455W-M alcanzó un costo total de S/. 77,672.44 con solo 38 paneles, mientras que modelos de menor potencia como el 340W-P necesitaron 109 paneles y superaron los S/. 80,000. Además, se evidenció que configuraciones con más paneles en serie y menos ramas en paralelo tienden a reducir el costo del cableado. Por tanto, el costo óptimo se logra con modelos que equilibran alta potencia por unidad, buena eficiencia y una configuración eléctrica simplificada.
- La integración de parámetros eléctricos (cantidad de paneles, eficiencia, voltaje operativo, número de ramas en paralelo) y económicos (costo total, costo por Wp, costo por kWh) permitió determinar que el modelo 455W-M es óptimo para demandas desde 30 hasta 200 kWh/día, ocupando el primer lugar en el ranking multicriterio en 18 de 20 escenarios. En demandas de 10 kWh/día, el modelo 340W-P fue el más competitivo, y para 20 kWh/día destacó el 545W-M. Estos resultados validan que la selección de paneles debe basarse en un enfoque multicriterio integral, donde la elección más viable no siempre corresponde al panel más eficiente o de mayor potencia, sino al que ofrece el menor costo total del sistema con la mejor adaptación eléctrica al rango MPPT.

#### IV. REFERENCIAS

- [1] D. Barajas y G. Román, «Plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB.», ago. 2023, Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/51883>
- [2] J. O. Alvaro Cachi, «Diseño de un sistema de generación fotovoltaica para abastecer energía eléctrica al caserío La Shoclla – Cajamarca 2019», *Repos. Inst. - UCV*, 2020, Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44736>
- [3] Y. Solano, «Diseño de una central fotovoltaica en Castellon y estudio de la viabilidad económica del uso de baterías para la participación en servicios de ajuste del sistema electrico», Tesis Postgrado, Universitat Jaume I, Catellon de la Plana, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/196689?locale-attribute=en>
- [4] C. Medina, «Modelo estratégico multicriterio para la selección de la mejor alternativa de suministro eléctrico fotovoltaico en instituciones prestadoras de servicios de salud».
- [5] D. A. Barajas Díaz y G. I. Román Pinilla, «Plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB.», ago. 2023, Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/51883>
- [6] J. O. Alvaro Cachi, «Diseño de un sistema de generación fotovoltaica para abastecer energía eléctrica al caserío La Shoclla – Cajamarca 2019», *Repos. Inst. - UCV*, 2020, Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44736>
- [7] H. M. Ridha *et al.*, «Multi-objective and multi-criteria decision making for Technoeconomic optimum design of hybrid standalone renewable energy system», *Renew. Energy*, vol. 223, p. 120041, mar. 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.120041.
- [8] Q. Hassan, «Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification», *Renew. Energy*, vol. 164, pp. 375-390, feb. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.09.008.
- [9] E. Saedpanah, R. Fardi Asrami, A. Sohani, y H. Sayyaadi, «Life cycle comparison of potential scenarios to achieve the foremost performance for an off-grid photovoltaic electrification system», *J. Clean. Prod.*, vol. 242, p. 118440, ene. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118440.
- [10] K. Ndwali, J. G. Njiri, y E. M. Wanjiru, «Multi-objective optimal sizing of grid connected photovoltaic batteryless system minimizing the total life cycle cost and the grid energy», *Renew. Energy*, vol. 148, pp. 1256-1265, abr. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.065.
- [11] W. Cai *et al.*, «Optimal sizing and location based on economic parameters for an off-grid application of a hybrid system with photovoltaic, battery and diesel technology», *Energy*, vol. 201, p. 117480, jun. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117480.

- [12] C. D. Rodríguez-Gallegos *et al.*, «Global Techno-Economic Performance of Bifacial and Tracking Photovoltaic Systems», *Joule*, vol. 4, n.º 7, pp. 1514-1541, jul. 2020, doi: 10.1016/j.joule.2020.05.005.
- [13] A. C. Lazaroiu, M. Gmal Osman, C.-V. Strejoiu, y G. Lazaroiu, «A Comprehensive Overview of Photovoltaic Technologies and Their Efficiency for Climate Neutrality», *Sustainability*, vol. 15, n.º 23, Art. n.º 23, ene. 2023, doi: 10.3390/su152316297.
- [14] C. Cacciuttolo, X. Guardia, y E. Villicaña, «Implementation of Renewable Energy from Solar Photovoltaic (PV) Facilities in Peru: A Promising Sustainable Future». Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4388>
- [15] F. Rinaldi, F. Moghaddampoor, B. Najafi, y R. Marchesi, «Economic feasibility analysis and optimization of hybrid renewable energy systems for rural electrification in Peru», *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 23, n.º 3, pp. 731-748, abr. 2021, doi: 10.1007/s10098-020-01906-y.
- [16] M. H. Fernandez-Fuentes, A. A. Eras-Almeida, y M. A. Egado-Aguilera, «Characterization of Technological Innovations in Photovoltaic Rural Electrification, Based on the Experiences of Bolivia, Peru, and Argentina: Third Generation Solar Home Systems», *Sustainability*, vol. 13, n.º 6, Art. n.º 6, ene. 2021, doi: 10.3390/su13063032.
- [17] J. A. Arica Zavala y D. A. Moori Banda, «Diseño de una central fotovoltaica de 10 kw para suministrar energía eléctrica al caserío la devora-pariñas-talara», *Repos. Inst. - USS*, 2023, Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11925>
- [18] D. A. Barajas Díaz y G. I. Román Pinilla, «Plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB.», ago. 2023, Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/51883>
- [19] M. Valdivia Castrejón, «Diseño de una central fotovoltaico para generar energía eléctrica al anexo El Cardon caserío Pueblo Nuevo distrito de San Juan Cajamarca 2019».
- [20] P. Ziemba, «Selection of Photovoltaic Panels Based on Ranges of Criteria Weights and Balanced Assessment Criteria», *Energies*, vol. 16, n.º 17, Art. n.º 17, ene. 2023, doi: 10.3390/en16176382.
- [21] Alcubierre Diego, *Energía Solar para Todos*. CEMAER, 2017.
- [22] J. Agredano, «Tecnología fotovoltaica», *Boletín IIE Tend. Tecnol.*, 2017, [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Agredano-2/publication/237589407\\_Tecnologia\\_fotovoltaica/links/59bfce5e0f7e9b48a29b90f2/Tecnologia-fotovoltaica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Agredano-2/publication/237589407_Tecnologia_fotovoltaica/links/59bfce5e0f7e9b48a29b90f2/Tecnologia-fotovoltaica.pdf)
- [23] M. Bošnjaković, «Advance of Sustainable Energy Materials: Technology Trends for Silicon-Based Photovoltaic Cells», *Sustainability*, 2024, Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/7962>

- [24] S. Daemi, S. Kaushik, S. Das, T. W. Hamann, y F. E. Osterloh, «BiVO<sub>4</sub> –Liquid Junction Photovoltaic Cell with 0.2% Solar Energy Conversion Efficiency», *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 145, n.º 47, pp. 25797-25805, nov. 2023, doi: 10.1021/jacs.3c09546.
- [25] X. Zhu, M. G. Debije, y A. H. M. E. Reinders, «Simulation of the Effects of Geometry on Performance of Luminescent Solar Concentrator Photovoltaic Devices», *IEEE J. Photovolt.*, vol. 14, n.º 1, pp. 116-122, ene. 2024, doi: 10.1109/JPHOTOV.2023.3323821.
- [26] M. M. Vicente, *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2015.
- [27] M. M. Vicente, *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2016.
- [28] M. Riffo Canales, «Guía paneles fotovoltaicos», 2017. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.anb.cl/documentos\\_sitio/Guia\\_paneles\\_fotovoltaicos.pdf](https://www.anb.cl/documentos_sitio/Guia_paneles_fotovoltaicos.pdf)
- [29] F. Fronthal Rico y Y. López Castrillón, *Energía solar fotovoltaica*. Alpha Editorial, 2019.
- [30] P. Alcalde San Miguel, *Electrotecnia*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2014.
- [31] R. Díaz Martínez, «Diseño, modelamiento y simulación de un sistema fotovoltaico autónomo de bajo costo empleando matlab: caso de estudio Bahía Málaga», abr. 2017, Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/entities/publication/5a778ee4-80fb-49af-957e-c79c0bd7ac10>
- [32] J. C. Vega de Kuyper, *Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías*. Ediciones UC, 2018.
- [33] I. G. Rojas, «PANELES SOLARES. CONCEPTOS BASICOS», 2014.
- [34] J. Trashorras Montecelos, *UF0150 - Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2021.
- [35] L. Jutglar Banyeras, *Generación de energía solar fotovoltaica*. Marcombo, 2013.
- [36] F. Rodríguez Mas, A. Ruiz Gómez, y D. Valiente García, *Apuntes sobre la energía fotovoltaica*. Universidad Miguel Hernández, 2022.
- [37] J. Cantos Serrano, *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas 2.ª edición*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2022.
- [38] G. Torres, *Manual de Camperización Wabi Sabi*. Guillermo Torres, 2022.
- [39] F. de J. Acevedo Garcés, «Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios», *InstnameUniversidad Nac. Abierta Distancia*, dic. 2016, Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/11352>
- [40] M. Baselga Carreras, *Instalaciones solares fotovoltaicas - Ed. 2019*. Editex.
- [41] D. Rojas Hernández, A. Pelegrín Mesa, N. Cabrera Padrón, y D. Rojas Hernández, «Procedimiento de trabajo administrativo para el cálculo del costo de paneles

- fotovoltaicos», *100*, 2020, Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://rc.upr.edu.cu/handle/DICT/3929>
- [42] A. Pacana y D. Siwec, «Model to Predict Quality of Photovoltaic Panels Considering Customers' Expectations | Semantic Scholar», Accedido: 28 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/reader/4e2bb48c59c40ba89a0db435b6949b6d8690fd04>
- [43] X. Zhou, X. Zhou, X. Zhu, J. Liu, y S. Zhou, «Investigating Factors Impacting Power Generation Efficiency in Photovoltaic Double-Skin Facade Curtain Walls», *Buildings*, vol. 14, n.º 9, Art. n.º 9, sep. 2024, doi: 10.3390/buildings14092632.
- [44] C. E. Aristizábal, J. L. González, C. E. Aristizábal, y J. L. González, «Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo», *Semest. Económico*, vol. 24, n.º 57, pp. 30-57, dic. 2021, doi: 10.22395/seec.v24n57a2.
- [45] Isabel, «Principales tendencias en energía solar 2025 que debes conocer», E4e Soluciones. Accedido: 28 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/principales-tendencias-en-energia-solar-2025-que-debes-conocer>
- [46] V. S. Bhadoria, R. K. Pachauri, S. Tiwari, S. P. Jaiswal, y H. H. Alhelou, «Investigation of Different BPD Placement Topologies for Shaded Modules in a Series-Parallel Configured PV Array», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 216911-216921, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041715.
- [47] L. M. Pérez Archila, J. D. Bastidas Rodríguez, y R. Correa, «Implicit modelling of series-parallel photovoltaic arrays using double-diode model and its solution», *Sol. Energy*, vol. 214, pp. 131-137, ene. 2021, doi: 10.1016/j.solener.2020.11.036.
- [48] E. Wittmann, C. Buerhop-Lutz, V. Christlein, J. Hauch, C. J. Brabec, y I. M. Peters, «The Voltage-Ear – An Anomaly in Photovoltaic Systems With Undersized Inverters», *IEEE Photonics J.*, vol. 16, n.º 4, pp. 1-6, ago. 2024, doi: 10.1109/JPHOT.2024.3430029.
- [49] G. Regmi *et al.*, «Perspectives of chalcopyrite-based CIGSe thin-film solar cell: a review», *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 31, n.º 10, pp. 7286-7314, may 2020, doi: 10.1007/s10854-020-03338-2.
- [50] E. R. Antúnez, O. C. Díaz, M. L. F. S. de Rozas, y A. S. Fuentefrias, «Análisis del costo/beneficio para prosumidores de energía solar», *Ing. Energética*, vol. XLV, n.º 1, pp. 15-24, 2024.
- [51] H. Beltran, E. Perez, N. Aparicio, y P. Rodriguez, «Daily Solar Energy Estimation for Minimizing Energy Storage Requirements in PV Power Plants», *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, n.º 2, pp. 474-481, abr. 2013, doi: 10.1109/TSTE.2012.2206413.
- [52] A. T. Dare, D. T. Wemimo, S. T. Emmanuel, S. C. Titilayo, y D. Joseph, «Design methodology and implementation of stand-alone solar photovoltaic power system for daily energy consumption of 9.16 kWh», *Eng. Res. Express*, vol. 5, n.º 4, p. 045033, oct. 2023, doi: 10.1088/2631-8695/acfd5.

- [53] A. Maleki, F. Pourfayaz, H. Hafeznia, y M. A. Rosen, «A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas using a hybrid method: A case study of eastern Iran», *Energy Convers. Manag.*, vol. 153, pp. 129-143, dic. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.061.
- [54] M. Ren, C. R. Mitchell, y W. Mo, «Dynamic life cycle economic and environmental assessment of residential solar photovoltaic systems», *Sci. Total Environ.*, vol. 722, p. 137932, jun. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137932.
- [55] R. Grigore, S. G. Vernica, S. E. Popa, y I. V. Banu, «Simulation and Experimental Results for Energy Production Using Hybrid Photovoltaic Thermal Technology», *Energies*, vol. 17, n.º 6, p. 1422, mar. 2024, doi: 10.3390/en17061422.
- [56] E. D. Fournier, R. Cudd, S. Smithies, y S. Pincetl, «Quantifying the electric service panel capacities of California's residential buildings», *Energy Policy*, vol. 192, p. 114238, sep. 2024, doi: 10.1016/j.enpol.2024.114238.
- [57] R. Zimmerman, A. Panda, y V. Bulović, «Techno-economic assessment and deployment strategies for vertically-mounted photovoltaic panels», *Appl. Energy*, vol. 276, p. 115149, oct. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115149.



**ANEXOS**

**Anexo 01.- Matriz de consistencia y Cuadro de operacionalización de variables**

TITULO	<b>"Análisis para la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas"</b>		
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL:	HIPOTESIS PRINCIPAL:	
¿Existe una relación para la selección de paneles fotovoltaicos según su potencia y costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas?	Analizar la selección de paneles fotovoltaicos según la correlación potencia costo para el diseño de centrales fotovoltaicas aisladas	La investigación no formula hipótesis porque su enfoque es aplicado y propositivo, centrado en desarrollar y validar un método técnico-económico, sin buscar relaciones causales entre variables.	<p style="color: blue;"><b>VARIABLE DEPENDIENTE (y):</b></p> <p>Selección de paneles fotovoltaicos</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	HIPOTESIS ESPECÍFICAS:	
a) ¿Cuáles son las características eléctricas y costo de distribuidor de paneles para caso de estudio?	Recoger las características eléctricas y costo de distribuidor de paneles para caso de estudio	No aplica	<p style="color: blue;"><b>VARIABLE INDEPENDIENTE (x):</b></p>
b) Cuál es la relación entre costo vs energía requerida?	Analizar la relación entre costo vs energía requerida		Potencia de paneles fotovoltaicos
c) ¿Cuál es la relación entre costo vs voltaje de campo para inversor de demanda ?	Analizar la relación entre costo vs voltaje de campo para inversor de demanda		
d) ¿Cuál es la relación entre costo vs matriz serie paralelo ?	analizar la relación entre costo vs matriz serie paralelo		
e) ¿Cuál es la selección más optima de paneles fotovoltaicos según la comparación de parámetros eléctricos y costo ?	Determinar según comparación de parámetros eléctricos y costo la optimización de selección de paneles fotovoltaicos		

Tipo	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Dependiente	Modelo óptimo seleccionado según análisis técnico-económico	Resultado del análisis multicriterio que determina cuál modelo de panel fotovoltaico ofrece el mejor rendimiento integral [55]	Es el modelo que logra el menor costo total del sistema fotovoltaico considerando como criterio de decisión el costo de campo solar, el cual integra el impacto de la potencia, cantidad de paneles, terreno requerido y cableado.	Costo de campo solar	Costo total del sistema	Intervalo
Independiente	Potencia de paneles fotovoltaicos	Capacidad nominal del panel bajo condiciones estándar, y su influencia en la configuración eléctrica del sistema [56].	Se evalúa a través de tres dimensiones: la potencia pico del panel, el voltaje del campo generado en función de los módulos en serie, y la configuración serie-paralelo que determina la distribución del sistema en ramas eléctricas.	Potencia pico	Potencia nominal (Wp)	Razón
				Voltaje del campo	Voltaje total del arreglo	Intervalo
				Matriz serie paralelo	Ns y Np del arreglo	Razón
Independiente	Costo de paneles fotovoltaicos	Valor económico asociado a la adquisición de módulos fotovoltaicos[57].	Se determina en función del costo por unidad y la cantidad de paneles requeridos según el modelo y nivel de demanda, siendo el componente económico base para estimar el costo total del sistema.	Costo de paneles	Costo total de paneles	Razón

### Anexo 02.- Instrumento de recolección de datos

#### Ficha Datos de Costo – Parámetros eléctricos

Fuente \_\_\_\_\_

URL \_\_\_\_\_

Ítem	Pmax	Vmax	I <sub>max</sub>	Costo	Tipo
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					

### Anexo 03.- Recojo de datos

Ítem	Costo	Marca	Largo	Ancho	Espesor	Tipo	Pmp	Vmpp	Impp	Voc	Isc	Rendimiento	Link
1	S/ 122.92	Tai Energy	540	670	25	Policristalino	50	17.6	2.84	21.8	3.1	16	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf</a>
2	S/ 276.33	MESM	345	605	25	Monocristalino	30	17.8	1.69	22.3	1.82	18.43	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-ME-mono-30w-12v.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-ME-mono-30w-12v.pdf</a>
3	S/ 278.95	MESM	650	505	25	Monocristalino	50	17.8	2.81	22.3	3.03	18.43	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-ME-mono-50w-12v.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-ME-mono-50w-12v.pdf</a>
4	S/ 183.10	Era Solar	532	674	30	Policristalino	50	18.3	2.73	22.7	2.9	14.6	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-50W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-50W.pdf</a>
5	S/ 305.03	Tai Energy	1030	670	35	Policristalino	80	17.6	4.55	21.8	4.9	16	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf</a>
6	S/ 370.11	Eco Green Energy	1020	670	30	Policristalino	100	18.41	5.43	22.41	5.89	14.63	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-100w-12v-ecogreen.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-100w-12v-ecogreen.pdf</a>
7	S/ 345.74	Era Solar	1014	676	35	Policristalino	100	18.3	5.46	22.7	5.79	14.6	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-100W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-100W.pdf</a>
8	S/ 472.00	Tai Energy	1030	670	35	Policristalino	100	17.6	5.68	21.8	6.12	16	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf</a>
9	S/ 411.96	Era Solar	1482	676	35	Policristalino	150	18.3	8.2	22.7	8.69	15	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-150W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-150W.pdf</a>
10	S/ 482.80	Eco Green Energy	1480	670	30	Policristalino	150	18.4	8.15	22.51	8.75	15.13	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-150w-12v-ecogreen.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-150w-12v-ecogreen.pdf</a>
11	S/ 571.93	Tai Energy	1470	680	35	Policristalino	150	17.9	6.7	22.4	8.81	16	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-paneles-solares-tai-poly.pdf</a>
12	S/ 609.75	Eco Green Energy	1320	992	35	Policristalino	200	18.54	10.79	22.51	11.75	15.27	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-200w-12v-ecogreen.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-200w-12v-ecogreen.pdf</a>
13	S/ 532.39	Era Solar	1332	992	35	Policristalino	200	18.2	11	22.7	11.86	15.1	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-200W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-12V-200W.pdf</a>
14	S/ 752.12	Waaree	1490	990	42	Policristalino	200	36.1	5.55	44.53	6	13.56	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/waaree_200w_24v.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/waaree_200w_24v.pdf</a>
15	S/ 944.58	ReneSola	1640	992	40	Policristalino	260	30.5	8.53	37.6	8.95	16	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-Solar-260W-ReneSolar-Virtus-II.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-Solar-260W-ReneSolar-Virtus-II.pdf</a>
16	S/ 628.40	Era Solar	1640	992	45	Policristalino	270	31.8	8.5	37.4	9.14	15.5	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/PANEL-SOLAR-ERA-270W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/PANEL-SOLAR-ERA-270W.pdf</a>
17	S/ 648.14	Talesun	1640	990	35	Policristalino	270	31.3	8.63	38.5	9.09	16.6	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Talesun-270w.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Talesun-270w.pdf</a>
18	S/ 862.06	Amerisolar	1640	992	40	Policristalino	270	38.4	9.06	31.1	8.69	16.6	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/AMERISOLAR-270W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/AMERISOLAR-270W.pdf</a>

19	S/	733.82	JnkoSolar	1650	992	40	Policristalino	270	31.7	8.52	38.8	9.09	16.5	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jnko-270W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jnko-270W.pdf</a>
20	S/	820.84	Era Solar	1956	992	35	Policristalino	300	37	8.1	44.8	8.7	15.5	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Era-330.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Era-330.pdf</a>
21	S/	786.67	Era Solar	1956	992	45	Policristalino	320	37.65	8.5	45.45	9.1	16.5	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/PANEL-SOLAR-ERA-320W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/PANEL-SOLAR-ERA-320W.pdf</a>
22	S/	907.69	Csun	1956	990	50	Policristalino	320	36.2	8.84	45	9.17	16.52	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/CSUN320-72P.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/CSUN320-72P.pdf</a>
23	S/	835.81	JnkoSolar	1956	992	40	Policristalino	325	37.6	8.66	46.7	9.1	16.75	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jnko-325W-24V.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jnko-325W-24V.pdf</a>
24	S/	956.02	Talesun	1960	992	40	Policristalino	325	37.4	8.7	45.7	9.22	16.7	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-tecnica-alesun-325-poli.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-tecnica-alesun-325-poli.pdf</a>
25	S/	638.32	Era Solar	1956	992	40	Policristalino	340	38.5	8.84	46.4	9.45	17.5	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/ERA-340w.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/ERA-340w.pdf</a>
26	S/	704.50	Eco Green Energy	1956	992	40	Policristalino	350	38.93	8.99	47.12	9.38	18.04	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/HELIOS-PLUS-425-350M.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/HELIOS-PLUS-425-350M.pdf</a>
27	S/	822.60	Era Solar	1979	1002	40	Monocristalino	400	41.7	9.6	49.8	10.36	20.17	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/ERA-Mono-PERC-400W.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/ERA-Mono-PERC-400W.pdf</a>
28	S/	940.12	Eco Green Energy	2102	1040	35	Monocristalino	450	41.06	11.08	49.41	11.66	20.81	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/HELIOS-PLUS-425-450M.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/HELIOS-PLUS-425-450M.pdf</a>
29	S/	983.33	Harvest the Sunshine	2120	1052	40	Monocristalino	450	41.52	10.84	49.7	11.36	20.2	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-ja-solar-450w-24v.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/Panel-ja-solar-450w-24v.pdf</a>
30	S/	809.27	Harvest the Sunshine	2112	1052	35	Monocristalino	455	41.82	10.88	49.85	11.41	21.2	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-tecnica-ja-solar-455.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-tecnica-ja-solar-455.pdf</a>
31	S/	1,051.11	Harvest the Sunshine	2278	1134	30	Monocristalino	545	41.8	13.04	49.75	14	21.3	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-jasolar-545w.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-jasolar-545w.pdf</a>
32	S/	1,337.27	Eco Green Energy	2279	1134	35	Monocristalino	550	40.95	13.42	49.68	14.01	21.28	<a href="https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-550w-24v-ecogreen.pdf">https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-panel-550w-24v-ecogreen.pdf</a>

### Anexo 04.- Análisis de costo de cables

El presente anexo describe la metodología aplicada para estimar el costo del cableado en corriente continua del sistema fotovoltaico propuesto, considerando tanto aspectos eléctricos como constructivos. Se detallan los criterios técnicos utilizados para la selección del calibre de conductor, el diseño de las configuraciones serie-paralelo, la ubicación de cajas de conexión, y la distribución física del campo solar. Además, se incluye el procedimiento empleado para verificar la caída de tensión admisible y la distancia mínima entre bloques por sombreado, garantizando la eficiencia operativa y la viabilidad económica del sistema.

#### 1. Costos unitarios por sección de conductor

Se recopilieron costos unitarios por metro lineal de cable solar fotovoltaico según sección transversal (mm<sup>2</sup>), capacidad de corriente (A) y valores de mercado nacional. Los valores de amperaje utilizados fueron tomados del catálogo técnico de cables solares Procables, el cual especifica la capacidad de corriente permisible para instalaciones al aire libre, de acuerdo con la norma NTC 2050 (Tabla 310-17). Esta fuente garantiza que los valores utilizados no son estimaciones arbitrarias, sino que corresponden a condiciones reales de operación térmica y eléctrica, estos datos sirvieron como base para valorizar los tramos eléctricos en corriente continua utilizados en el diseño del sistema.

TABLA XXII.

COSTO POR SECCIÓN DE CONDUCTOR SOLAR

Calibre	Amperaje	Costo
2.5	35	S/ 4.20
4	45	S/ 5.40
6	58	S/ 8.60
10	83	S/ 15.80
16	117	S/ 19.20
25	140	S/ 36.20
35	182	S/ 50.70
50	229	S/ 65.20
70	293	S/ 90.00
95	353	S/ 120.00
120	415	S/ 150.00

150	476	S/ 180.00
185	541	S/ 220.00
240	631	S/ 280.00

## 2. Definición de configuraciones eléctricas por modelo y nivel de demanda

Para cada modelo de panel seleccionado y cada nivel de demanda energética (de 10 a 200 kWh/día), se determinó:

- La cantidad total de paneles necesarios utilizando la ecuación general del campo solar.
- Todas las combinaciones serie-paralelo válidas dentro del rango MPPT (80 V–450 V).
- Las configuraciones seleccionadas fueron las que representaban el menor número total de paneles por nivel de energía.

La información se organizó en dos tablas complementarias la primera la Tabla XXIII presenta las configuraciones eléctricas válidas para cada modelo de panel fotovoltaico y nivel de demanda energética. En ella se muestran las combinaciones de paneles en serie ( $N_s$ ) y en paralelo ( $N_p$ ) que cumplen con el rango de operación del MPPT (80–450 V), lo que permite garantizar la compatibilidad técnica del sistema. Esta tabla sirve como base para identificar cuáles configuraciones son eléctricamente viables antes de evaluar su eficiencia o costo.

Por su parte, la Tabla XXIV complementa esta información al mostrar la cantidad total de paneles resultante de cada configuración válida, calculada como el producto ( $N_s \times N_p$ ) esta información es fundamental para seleccionar la configuración más adecuada, priorizando aquella que utilice el menor número total de paneles, lo cual reduce la inversión, la superficie ocupada y la complejidad del sistema.

TABLA XXIII.

## CONFIGURACIONES SERIE-PARALELO VÁLIDAS POR NIVEL DE DEMANDA

Panel	Ns	Pr	3.70	7.41	11.11	14.81	18.52	22.22	25.93	29.63	33.33	37.04	40.74	44.44	48.15	51.85	55.56	59.26	62.96	66.67	70.37	74.07
		Vmppt	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np
270W-P	3	95.4	5	10	14	19	23	28	33	37	42	46	51	55	60	65	69	74	78	83	87	92
	4	127.2	4	7	11	14	18	21	25	28	31	35	38	42	45	49	52	55	59	62	66	69
	5	159	3	6	9	11	14	17	20	22	25	28	31	33	36	39	42	44	47	50	53	55
	6	190.8	3	5	7	10	12	14	17	19	21	23	26	28	30	33	35	37	39	42	44	46
	7	222.6	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	8	254.4	2	4	6	7	9	11	13	14	16	18	19	21	23	25	26	28	30	31	33	35
	9	286.2	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19	20	22	23	25	26	28	29	31
	10	318	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	16	17	18	20	21	22	24	25	27	28
	11	349.8	2	3	4	5	7	8	9	10	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	25
	12	381.6	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	21	22	23
	13	413.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22
14	445.2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
300W-P	3	111	5	9	13	17	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	62	66	70	75	79	83
	4	148	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	38	41	44	47	50	53	56	59	62
	5	185	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	40	42	45	47	50
	6	222	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	38	40	42
	7	259	2	4	6	8	9	11	13	15	16	18	20	22	23	25	27	29	30	32	34	36
	8	296	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19	21	22	24	25	27	28	30	31
	9	333	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	16	17	18	20	21	22	24	25	27	28
	10	370	2	3	4	5	7	8	9	10	12	13	14	15	17	18	19	20	21	23	24	25

	11	407	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23
	12	444	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
340W-P	3	115.5	4	8	11	15	19	22	26	30	33	37	40	44	48	51	55	59	62	66	69	73
	4	154	3	6	9	11	14	17	20	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55
	5	192.5	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22	24	27	29	31	33	35	38	40	42	44
	6	231	2	4	6	8	10	11	13	15	17	19	20	22	24	26	28	30	31	33	35	37
	7	269.5	2	4	5	7	8	10	11	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	29	30	32
	8	308	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	26	28
	9	346.5	2	3	4	5	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23	25
	10	385	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	11	423.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
350W-P	3	116.79	4	8	11	15	18	22	25	29	32	36	39	43	46	50	53	57	60	64	68	71
	4	155.72	3	6	8	11	14	16	19	22	24	27	30	32	35	38	40	43	45	48	51	53
	5	194.65	3	5	7	9	11	13	15	17	20	22	24	26	28	30	32	34	36	39	41	43
	6	233.58	2	4	6	8	9	11	13	15	16	18	20	22	23	25	27	29	30	32	34	36
	7	272.51	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19	20	22	23	25	26	28	29	31
	8	311.44	2	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	16	18	19	20	22	23	24	26	27
	9	350.37	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	22	23	24
	10	389.3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22
	11	428.23	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
400W-P	2	83.4	5	10	14	19	24	28	33	38	42	47	51	56	61	65	70	75	79	84	88	93
	3	125.1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	38	41	44	47	50	53	56	59	62
	4	166.8	3	5	7	10	12	14	17	19	21	24	26	28	31	33	35	38	40	42	44	47
	5	208.5	2	4	6	8	10	12	13	15	17	19	21	23	25	26	28	30	32	34	36	38
	6	250.2	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	17	19	21	22	24	25	27	28	30	31
	7	291.9	2	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	16	18	19	20	22	23	24	26	27

	8	333.6	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	24
	9	375.3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	10	417	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19
450W-M	2	83.64	5	9	13	17	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	62	66	70	75	79	83
	3	125.46	3	6	9	11	14	17	20	22	25	28	31	33	36	39	42	44	47	50	53	55
	4	167.28	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	38	40	42
	5	209.1	2	4	5	7	9	10	12	14	15	17	19	20	22	24	25	27	28	30	32	33
	6	250.92	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	16	17	18	20	21	22	24	25	27	28
	7	292.74	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	22	23	24
	8	334.56	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	9	376.38	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	10	418.2	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	17
455W-M	2	83.64	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	62	66	70	74	78	82
	3	125.46	3	6	9	11	14	17	19	22	25	28	30	33	36	38	41	44	47	49	52	55
	4	167.28	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41
	5	209.1	2	4	5	7	9	10	12	14	15	17	18	20	22	23	25	27	28	30	31	33
	6	250.92	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26	28
	7	292.74	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	23	24
	8	334.56	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	9	376.38	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	10	418.2	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17
545W-M	2	83.6	4	7	11	14	17	21	24	28	31	34	38	41	45	48	51	55	58	62	65	68
	3	125.4	3	5	7	10	12	14	16	19	21	23	25	28	30	32	34	37	39	41	44	46
	4	167.2	2	4	6	7	9	11	12	14	16	17	19	21	23	24	26	28	29	31	33	34
	5	209	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	26	28
	6	250.8	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23

	7	292.6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	8	334.4	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	17
	9	376.2	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	13	14	15	16
	10	418	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14
500W-M	2	81.9	4	7	11	14	17	21	24	27	31	34	38	41	44	48	51	54	58	61	64	68
	3	122.85	3	5	7	9	12	14	16	18	21	23	25	27	30	32	34	36	39	41	43	45
	4	163.8	2	4	6	7	9	11	12	14	16	17	19	21	22	24	26	27	29	31	32	34
	5	204.75	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	23	25	26	27
	6	245.7	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23
	7	286.65	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	8	327.6	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	16	17
	9	368.55	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	15
10	409.5	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	

TABLA XXIV.

## TOTAL DE PANELES REQUERIDOS POR CONFIGURACIÓN SERIE-PARALELO

Panel	Pr (Kw) Vmppt	3.70	7.41	11.11	14.81	18.52	22.22	25.93	29.63	33.33	37.04	40.74	44.44	48.15	51.85	55.56	59.26	62.96	66.67	70.37	74.07
		270W-P	95.4	15	30	42	57	69	84	99	111	126	138	153	165	180	195	207	222	234	249
127.2	16		28	44	56	72	84	100	112	124	140	152	168	180	196	208	220	236	248	264	276
159	15		30	45	55	70	85	100	110	125	140	155	165	180	195	210	220	235	250	265	275
190.8	18		30	42	60	72	84	102	114	126	138	156	168	180	198	210	222	234	252	264	276
222.6	14		28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224	238	252	266	280
254.4	16		32	48	56	72	88	104	112	128	144	152	168	184	200	208	224	240	248	264	280
286.2	18		36	45	63	72	90	99	117	126	144	153	171	180	198	207	225	234	252	261	279
318	20		30	50	60	70	90	100	110	130	140	160	170	180	200	210	220	240	250	270	280
349.8	22		33	44	55	77	88	99	110	132	143	154	165	187	198	209	220	242	253	264	275
381.6	24		36	48	60	72	84	108	120	132	144	156	168	180	204	216	228	240	252	264	276
413.4	26		39	52	65	78	91	104	117	130	143	156	169	182	195	208	221	234	247	273	286
445.2	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224	238	252	266	280	
300W-P	111	15	27	39	51	63	75	87	99	114	126	138	150	162	174	186	198	210	225	237	249
	148	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124	136	152	164	176	188	200	212	224	236	248
	185	15	25	40	50	65	75	90	100	115	125	140	150	165	175	190	200	210	225	235	250
	222	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126	138	150	162	174	186	198	210	228	240	252
	259	14	28	42	56	63	77	91	105	112	126	140	154	161	175	189	203	210	224	238	252
	296	16	32	40	56	64	80	88	104	112	128	136	152	168	176	192	200	216	224	240	248
	333	18	27	45	54	63	81	90	99	117	126	144	153	162	180	189	198	216	225	243	252
	370	20	30	40	50	70	80	90	100	120	130	140	150	170	180	190	200	210	230	240	250

	407	22	33	44	55	66	77	88	99	121	132	143	154	165	176	187	198	220	231	242	253
	444	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252
340W-P	115.5	12	24	33	45	57	66	78	90	99	111	120	132	144	153	165	177	186	198	207	219
	154	12	24	36	44	56	68	80	88	100	112	120	132	144	156	164	176	188	200	208	220
	192.5	15	25	35	45	55	70	80	90	100	110	120	135	145	155	165	175	190	200	210	220
	231	12	24	36	48	60	66	78	90	102	114	120	132	144	156	168	180	186	198	210	222
	269.5	14	28	35	49	56	70	77	91	105	112	126	133	147	154	168	175	189	203	210	224
	308	16	24	40	48	56	72	80	88	104	112	120	136	144	160	168	176	192	200	208	224
	346.5	18	27	36	45	63	72	81	90	99	117	126	135	144	153	171	180	189	198	207	225
	385	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220
423.5	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	143	154	165	176	187	198	209	220	
350W-P	116.79	12	24	33	45	54	66	75	87	96	108	117	129	138	150	159	171	180	192	204	213
	155.72	12	24	32	44	56	64	76	88	96	108	120	128	140	152	160	172	180	192	204	212
	194.65	15	25	35	45	55	65	75	85	100	110	120	130	140	150	160	170	180	195	205	215
	233.58	12	24	36	48	54	66	78	90	96	108	120	132	138	150	162	174	180	192	204	216
	272.51	14	28	35	49	56	70	77	91	98	112	119	133	140	154	161	175	182	196	203	217
	311.44	16	24	32	48	56	64	80	88	96	112	120	128	144	152	160	176	184	192	208	216
	350.37	18	27	36	45	54	72	81	90	99	108	117	135	144	153	162	171	180	198	207	216
	389.3	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	200	210	220
428.23	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	143	154	165	176	187	198	209	220	
400W-P	83.4	10	20	28	38	48	56	66	76	84	94	102	112	122	130	140	150	158	168	176	186
	125.1	12	21	30	39	48	57	66	75	84	93	102	114	123	132	141	150	159	168	177	186
	166.8	12	20	28	40	48	56	68	76	84	96	104	112	124	132	140	152	160	168	176	188
	208.5	10	20	30	40	50	60	65	75	85	95	105	115	125	130	140	150	160	170	180	190
	250.2	12	24	30	42	48	60	66	78	84	96	102	114	126	132	144	150	162	168	180	186
	291.9	14	21	28	42	49	56	70	77	84	98	105	112	126	133	140	154	161	168	182	189

	333.6	16	24	32	40	48	56	72	80	88	96	104	112	128	136	144	152	160	168	176	192
	375.3	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189
	417	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	140	150	160	170	180	190
450W-M	83.64	10	18	26	34	42	50	58	66	76	84	92	100	108	116	124	132	140	150	158	166
	125.46	9	18	27	33	42	51	60	66	75	84	93	99	108	117	126	132	141	150	159	165
	167.28	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124	132	140	152	160	168
	209.1	10	20	25	35	45	50	60	70	75	85	95	100	110	120	125	135	140	150	160	165
	250.92	12	18	30	36	42	54	60	66	78	84	96	102	108	120	126	132	144	150	162	168
	292.74	14	21	28	35	42	56	63	70	77	84	91	105	112	119	126	133	140	154	161	168
	334.56	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168
	376.38	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	99	108	117	126	135	144	153	162	171
418.2	10	20	30	40	50	50	60	70	80	90	100	100	110	120	130	140	140	150	160	170	
455W-M	83.64	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	124	132	140	148	156	164
	125.46	9	18	27	33	42	51	57	66	75	84	90	99	108	114	123	132	141	147	156	165
	167.28	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124	132	140	148	156	164
	209.1	10	20	25	35	45	50	60	70	75	85	90	100	110	115	125	135	140	150	155	165
	250.92	12	18	30	36	42	54	60	66	78	84	90	102	108	114	126	132	144	150	156	168
	292.74	14	21	28	35	42	49	63	70	77	84	91	98	112	119	126	133	140	147	161	168
	334.56	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168
	376.38	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171
418.2	10	20	30	40	50	50	60	70	80	90	90	100	110	120	130	140	140	150	160	170	
545W-M	83.6	8	14	22	28	34	42	48	56	62	68	76	82	90	96	102	110	116	124	130	136
	125.4	9	15	21	30	36	42	48	57	63	69	75	84	90	96	102	111	117	123	132	138
	167.2	8	16	24	28	36	44	48	56	64	68	76	84	92	96	104	112	116	124	132	136
	209	10	15	25	30	35	45	50	55	65	70	75	85	90	100	105	110	120	125	130	140
	250.8	12	18	24	30	36	42	48	60	66	72	78	84	90	96	102	114	120	126	132	138

	292.6	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140
	334.4	8	16	24	32	40	48	48	56	64	72	80	88	96	96	104	112	120	128	136	136
	376.2	9	18	27	36	36	45	54	63	63	72	81	90	90	99	108	117	117	126	135	144
	418	10	20	30	30	40	50	50	60	70	70	80	90	90	100	110	110	120	130	130	140
500W-M	81.9	8	14	22	28	34	42	48	54	62	68	76	82	88	96	102	108	116	122	128	136
	122.85	9	15	21	27	36	42	48	54	63	69	75	81	90	96	102	108	117	123	129	135
	163.8	8	16	24	28	36	44	48	56	64	68	76	84	88	96	104	108	116	124	128	136
	204.75	10	15	25	30	35	45	50	55	65	70	75	85	90	95	105	110	115	125	130	135
	245.7	12	18	24	30	36	42	48	54	66	72	78	84	90	96	102	108	120	126	132	138
	286.65	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140
	327.6	8	16	24	32	40	48	48	56	64	72	80	88	88	96	104	112	120	128	128	136
	368.55	9	18	27	27	36	45	54	54	63	72	81	81	90	99	108	108	117	126	135	135
	409.5	10	20	30	30	40	50	50	60	70	70	80	90	90	100	110	110	120	130	130	140

### **4.3. Selección de configuración óptima y distribución física**

A partir de la configuración seleccionada, los paneles se agruparon en bloques de hasta dos filas, cada una compuesta por varios strings en paralelo, cuidando que ninguna fila supere los 30 paneles.

Por ejemplo, con strings de 9 paneles, una fila puede contener hasta 3 strings (27 paneles), y un bloque de dos filas tendrá 54 paneles. Este patrón se repite y se ajusta según la cantidad requerida por nivel de energía.

En la figura 16 se presenta un diagrama esquemático que ilustra cómo se organizaron físicamente los bloques de paneles dentro del campo solar. Cada bloque está compuesto por dos filas, formadas por strings en paralelo, cuidando que ninguna fila supere los 30 paneles. Esta limitación garantiza un equilibrio entre eficiencia de espacio, facilidad de mantenimiento y accesibilidad. Los bloques se repiten tantas veces como sea necesario para cubrir el total de paneles definidos por la configuración óptima. Asimismo, se destaca el recorrido de los conductores desde las cajas de conexionado hacia el punto central de conexión, ubicado estratégicamente en el centro del conjunto para minimizar longitudes de cableado y pérdidas por caída de tensión.

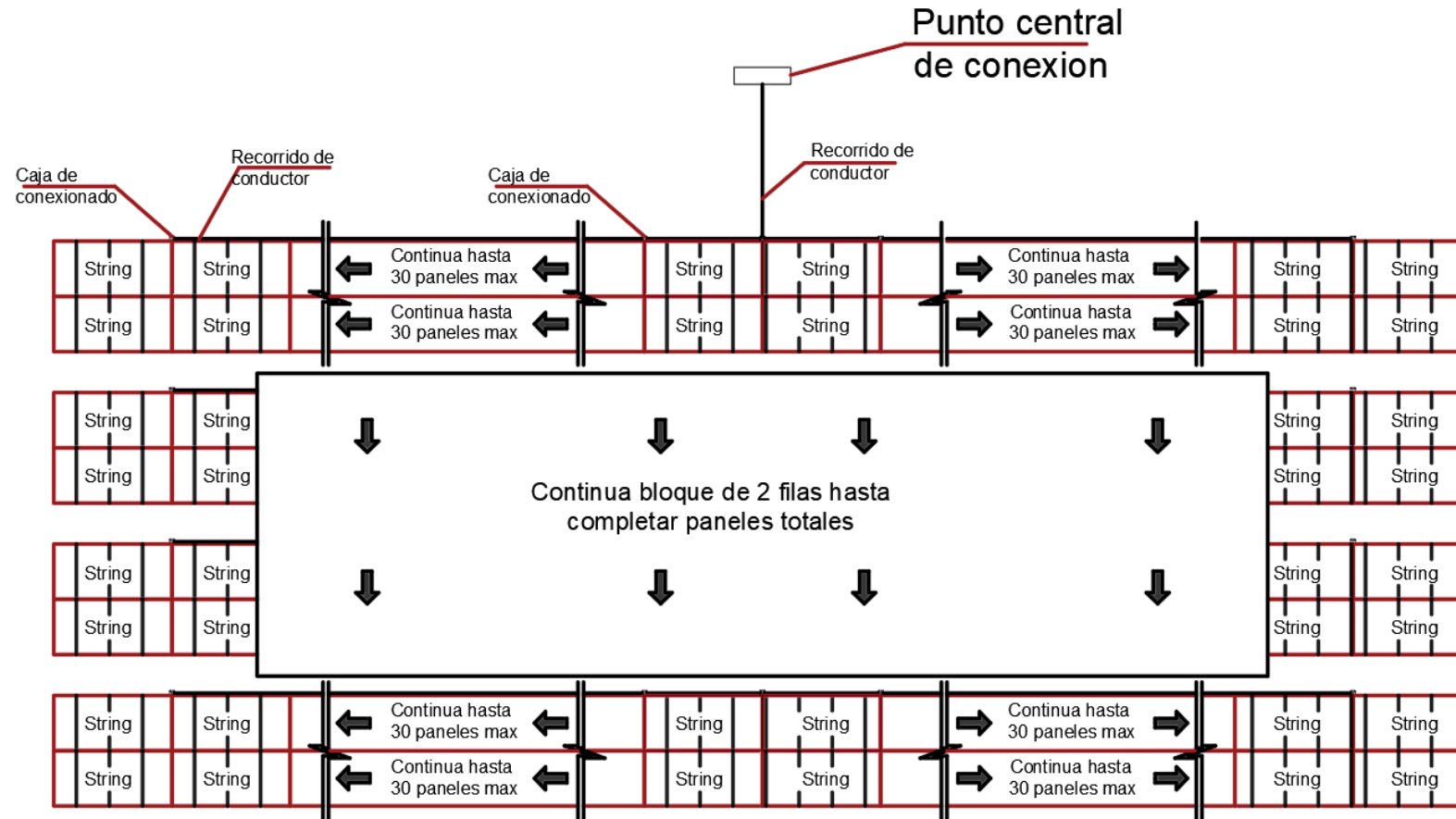


Figura 16. Sistema de ubicación en campo según cálculo de cantidad de módulos y string

#### 4. Diseño de interconexión y ubicación de cajas de conexión

Cada string (grupo de paneles en serie) se conecta mediante cables de interconexión entre módulos, y sus extremos se conducen hacia una caja de conexionado. Estas cajas permiten reunir de 1 hasta 4 strings en paralelo, y su ubicación dentro del bloque de paneles fue definida para minimizar la longitud de cableado, reducir caídas de tensión y facilitar la accesibilidad. En función de la disposición espacial de los strings, se aplicaron dos variantes de diseño, ambas válidas eléctricamente pero con implicaciones distintas en longitud de conductor y mantenimiento.

Diseño con caja de conexión en extremo, en esta disposición, todos los strings están conectados en línea y la caja de conexión se ubica en uno de los extremos del bloque. Desde allí parten dos conductores por string hasta cada módulo en la figura 17 se muestra el conexionado, esta configuración se utilizó cuando todos los strings están alineados de manera que la caja queda cerca del punto de conexión general.

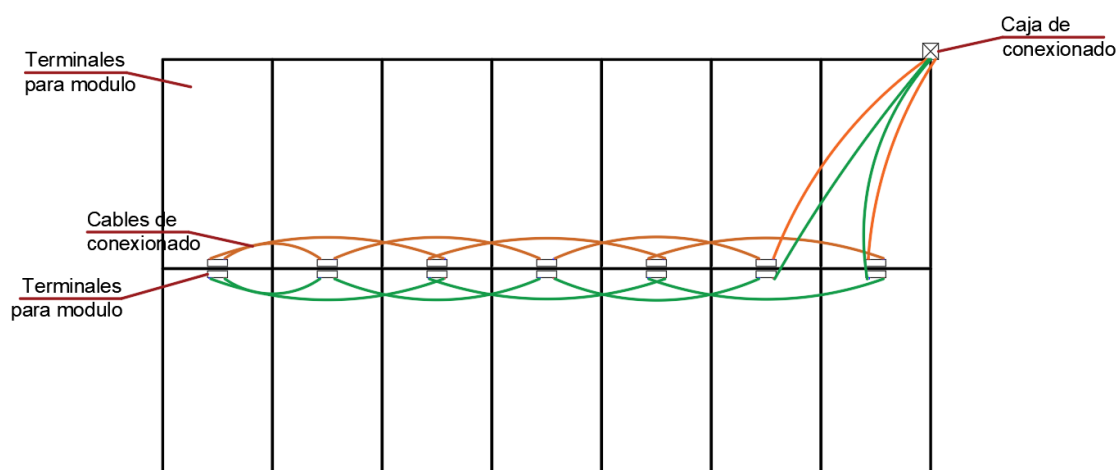


Figura 17. Ubicación de caja de conexión al extremo del string

La otra variante es la caja de conexión en cuerpo, en ella se colocó la caja en una posición central del bloque, permitiendo que los strings conecten desde ambos lados de forma equilibrada en la figura 18 se muestra la conexión. Esta disposición es útil en bloques largos o simétricos, ya que reduce la distancia de cableado de los extremos y permite una organización más compacta del ramal hacia el punto de conexión general.

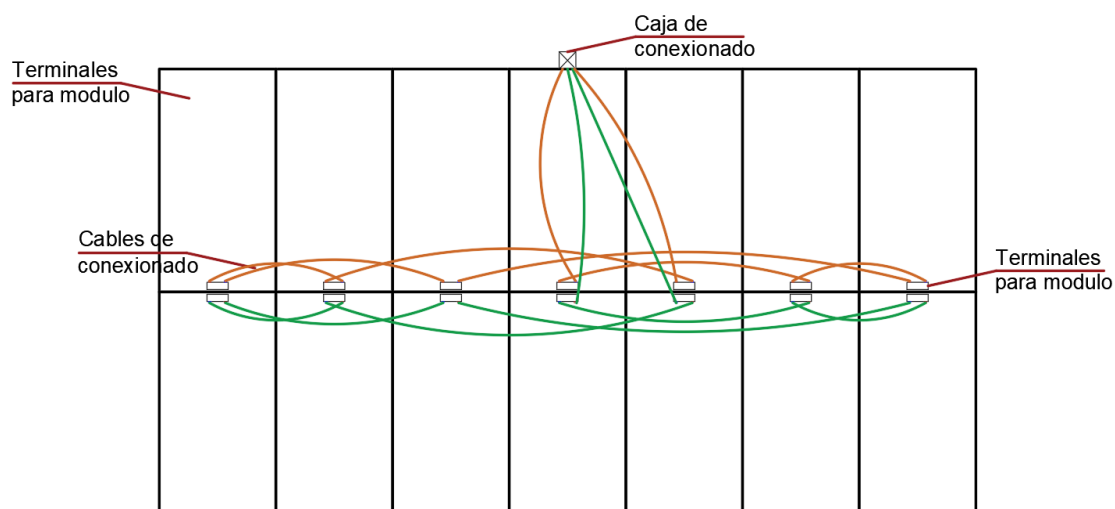


Figura 18. Ubicación de caja de conexión en el cuerpo del string

### 5. Selección del calibre de conductor por caída de tensión

Para cada conexión entre la caja de paso y el punto central de acople del sistema, se calculó la sección mínima del conductor necesaria para cumplir con el criterio de eficiencia eléctrica. En concordancia con las recomendaciones internacionales, se estableció como límite máximo de caída de tensión un 3 % sobre el voltaje total del string en corriente continua, asegurando así una adecuada entrega de energía y minimizando pérdidas por conducción.

Este valor se sustenta en lo dispuesto por la International Electrotechnical Commission (IEC) y otras normativas técnicas como la NFPA 70 (NEC), que sugieren mantener la caída de tensión por debajo del 3 % en sistemas de distribución DC para garantizar eficiencia operativa, especialmente en trayectos de baja tensión y largos recorridos típicos de sistemas fotovoltaicos aislados. Se utilizó la fórmula para calcular la caída de tensión en sistemas de corriente continua.

$$\Delta V = \frac{2LI\rho}{S/1000000}$$

Donde:

L : Longitud del cable (m)

I : Intensidad a transportar (A)

$\rho$  : Resistividad del cobre ( $\Omega\text{m}$ )

S : Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

## 6. Cálculo del costo total del cableado

Para cada modelo de panel fotovoltaico analizado, se desarrollaron 20 configuraciones correspondientes a niveles de energía diaria entre 10 y 200 kWh/día. En cada caso, se evaluó el arreglo óptimo en términos de cantidad total de paneles y se distribuyeron físicamente en bloques de dos filas, cada una compuesta por strings en paralelo. A partir de esta disposición, se determinó el número de cajas de conexión requeridas y, para cada una, se calculó:

- Corriente total ( $I_t$ ) desde la caja hasta el punto central de acople.
- Longitud de recorrido (L) del cable por configuración.
- Sección mínima (A) necesaria para cumplir con el límite de caída de tensión del 3 % sobre el voltaje del string.
- Caída de tensión real ( $\Delta V$ ) en voltios y porcentaje.
- Costo parcial del tramo, calculado como la longitud de cable por el costo unitario del cable según sección.

Cada nivel de energía consideró una o más cajas de conexión, y cada una pudo requerir un calibre distinto dependiendo de la corriente y distancia específica, por ello, el sistema no tiene un único tipo de conductor ni una única caída de tensión por nivel. La tabla XXV, se presenta un cuadro comparativo con los resultados de caída de tensión obtenidos para los nueve modelos de panel fotovoltaico evaluados, en función del nivel de energía diaria y la configuración seleccionada para cada caso. La tabla permite validar que, en todos los casos, las combinaciones de sección y distancia permitieron mantener la caída dentro del límite del 3 %, o identificar en qué condiciones este umbral fue superado, lo que resulta fundamental para decisiones de diseño y selección del modelo óptimo.

TABLA XXV.

## RESUMEN DE CAÍDA DE TENSIÓN POR MODELO DE PANEL Y NIVEL DE ENERGÍA

Energía (kWh/día)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
270W-P	Voltaje del string (V)	445.2	445.2	445.2	159	95.4	445.2	445.2	349.8	127.2	190.8	254.4	349.8	381.6	413.4	318	349.8	413.4	413.4	286.2	349.8
	Caída de Tensión	0.13%	0.26%	0.38%	1.12%	2.87%	0.51%	0.40%	0.65%	1.80%	1.44%	0.54%	0.49%	0.45%	0.41%	0.54%	0.65%	0.35%	0.41%	1.26%	0.51%
		0.57	1.14	1.71	1.79	2.74	2.28	1.79	2.28	2.28	2.74	1.37	1.71	1.71	1.71	1.71	2.28	1.43	1.71	3.60	1.79
300W-P	Voltaje del string (V)	259	185	111	370	333	111	111	407	296	148	296	370	259	222	222	407	370	296	185	296
	Caída de Tensión	0.42%	0.92%	2.35%	0.46%	0.48%	2.35%	4.12%	0.42%	0.40%	1.77%	0.57%	0.44%	1.51%	1.18%	1.18%	0.33%	0.46%	0.74%	1.77%	0.54%
		1.09	1.70	2.61	1.70	1.59	2.61	4.57	1.70	1.19	2.61	1.70	1.63	3.92	2.61	2.61	1.36	1.70	2.18	3.27	1.59
340W-P	Voltaje del string (V)	423.5	423.5	423.5	423.5	423.5	423.5	423.5	423.5	423.5	423.5	385	423.5	423.5	346.5	154	269.5	231	423.5	346.5	423.5
	Caída de Tensión	0.14%	0.28%	0.42%	0.35%	0.44%	0.35%	0.42%	0.35%	0.53%	0.35%	0.39%	0.35%	0.44%	0.93%	1.16%	1.34%	0.77%	0.35%	0.54%	0.35%
		0.59	1.19	1.78	1.49	1.86	1.49	1.78	1.49	2.23	1.49	1.49	1.49	1.86	3.21	1.78	3.62	1.78	1.49	1.86	1.49
350W-P	Voltaje del string (V)	428.2	428.2	311.4	428.2	350.4	311.4	194.7	194.7	311.4	350.4	350.4	311.4	233.6	389.3	116.8	389.3	389.3	311.4	272.5	155.7
	Caída de Tensión	0.14%	0.28%	0.48%	0.35%	0.47%	0.47%	1.16%	1.16%	0.48%	0.47%	0.47%	0.48%	0.93%	0.47%	2.59%	0.48%	0.39%	0.48%	0.69%	2.33%
		0.60	1.21	1.51	1.51	1.63	1.45	2.27	2.27	1.51	1.63	1.63	1.51	2.17	1.81	3.02	1.89	1.51	1.51	1.89	3.62
400W-P	Voltaje del string (V)	417	417	291.9	83.4	333.6	333.6	208.5	208.5	291.9	125.1	250.2	333.6	166.8	417	417	417	417	333.6	333.6	250.2
	Caída de Tensión	0.15%	0.31%	0.55%	1.86%	0.70%	0.46%	1.16%	1.24%	0.55%	1.86%	0.77%	0.46%	2.42%	0.45%	0.39%	0.46%	0.39%	0.58%	1.39%	2.17%
		0.65	1.29	1.61	1.55	2.32	1.55	2.42	2.58	1.61	2.32	1.94	1.55	4.03	1.88	1.61	1.94	1.61	1.94	4.64	5.42
450W-M	Voltaje del string (V)	376.4	376.4	209.1	125.5	292.7	418.2	418.2	250.9	209.1	292.7	292.7	376.4	376.4	167.3	167.3	250.9	418.2	292.7	83.64	209.1
		0.19%	0.39%	1.12%	1.40%	0.55%	0.36%	0.73%	0.93%	1.05%	0.75%	1.50%	0.81%	0.58%	2.30%	2.30%	1.40%	1.87%	4.37%	8.74%	2.62%

	<b>Caída de Tensión</b>	0.73	1.46	2.34	1.75	1.62	1.52	3.07	2.34	2.19	2.19	4.39	3.05	2.19	3.85	3.85	3.51	7.83	12.79	7.31	5.48
<b>455W-M</b>	<b>Voltaje del string (V)</b>	376.4	376.4	209.1	125.5	292.7	292.7	125.5	250.9	209.1	292.7	418.2	292.7	376.4	250.9	125.5	250.9	418.2	292.7	209.1	167.3
	<b>Caída de Tensión</b>	0.19%	0.39%	1.12%	1.40%	1.05%	0.44%	1.81%	0.93%	1.05%	0.55%	0.36%	0.60%	0.55%	1.31%	2.91%	0.61%	0.35%	1.87%	1.64%	2.78%
		0.73	1.46	2.34	1.75	3.07	1.28	2.27	2.34	2.19	1.62	1.52	1.75	2.06	3.29	3.66	1.54	1.46	5.48	3.43	4.64
<b>545W-M</b>	<b>Voltaje del string (V)</b>	292.6	250.8	250.8	292.6	250.8	292.6	334.4	209	83.6	167.2	209	83.6	418	334.4	250.8	334.4	167.2	209	418	334.4
	<b>Caída de Tensión</b>	0.30%	0.70%	0.66%	0.50%	0.59%	0.51%	0.44%	1.26%	1.83%	1.59%	1.36%	2.29%	0.52%	0.79%	1.16%	1.47%	1.15%	1.84%	0.70%	1.26%
		0.88	1.75	1.64	1.46	1.48	1.49	1.48	2.63	1.53	2.66	2.84	1.92	2.19	2.63	2.92	4.93	1.92	3.86	2.92	4.21
<b>550W-M</b>	<b>Voltaje del string (V)</b>	286.7	286.7	286.7	368.6	81.9	286.7	327.6	368.6	81.9	163.8	204.8	368.6	327.6	204.8	245.7	368.6	204.8	368.6	409.5	368.6
	<b>Caída de Tensión</b>	0.31%	0.63%	0.59%	0.46%	1.86%	0.54%	0.46%	0.88%	1.93%	1.67%	1.43%	0.61%	1.54%	1.47%	1.22%	0.92%	1.40%	1.47%	0.66%	1.24%
		0.90	1.80	1.69	1.69	1.52	1.54	1.52	3.25	1.58	2.74	2.92	2.25	5.05	3.01	3.01	3.38	2.87	5.41	2.71	4.57

Nota. La caída de tensión se expresa en porcentaje con respecto al voltaje de operación del string. Todos los valores fueron calculados considerando corriente de diseño, longitud efectiva del cableado y resistividad para cobre a temperatura estándar. En negrita se destacan los valores que se acercan o superan el 3 %.

## 7. Separación mínima entre bloques por sombreado

Para determinar una distancia segura entre bloques de paneles fotovoltaicos y prevenir pérdidas por sombreado, se realizó un cálculo referencial basado en la inclinación óptima anual del módulo y la posición solar durante el solsticio de invierno (cuando se producen las sombras más largas), el ángulo de inclinación  $\beta$  se calcula mediante ecuación 13.

$$\beta = 3.7 + (0.69\phi) \quad 13$$

Donde  $\phi$  representa la latitud geográfica del lugar de instalación (en grados decimales), esta expresión, recomendada por diversos manuales técnicos de dimensionamiento fotovoltaico, permite obtener un valor promedio de inclinación óptima para todo el año, maximizando la captación solar sin necesidad de ajustes estacionales.

Una vez definido  $\beta$ , se estimó la separación mínima para evitar sombras entre bloques de paneles mediante un modelo geométrico simple que considera la proyección solar durante la mañana ( $61^\circ$  de altura solar típica en el solsticio), la disposición física de los módulos se basó en la configuración mostrada en la figura 19, donde se observa el ángulo  $\beta$  aplicado sobre una estructura fija y la relación entre la altura del panel, su sombra proyectada y la caja de conexión.

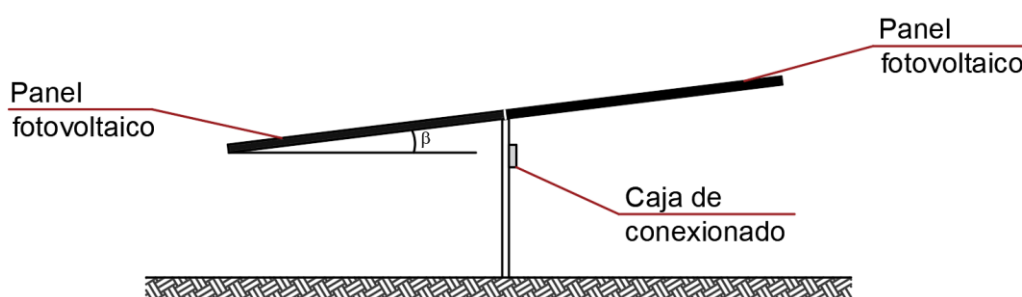


Figura 19. Disposición de inclinación de módulos fotovoltaicos para análisis de sombreado

A partir del valor de  $\beta$ , se estableció un modelo geométrico para calcular la distancia mínima entre bloques de paneles. Este modelo toma como base la longitud del módulo  $L$ ,

la inclinación  $\beta$ , y la latitud geográfica del lugar  $\phi$ , para estimar la proyección de sombra sobre el terreno durante el solsticio de invierno (caso más desfavorable en términos de altura solar), la figura 20 ilustra el concepto geométrico utilizado para el cálculo.

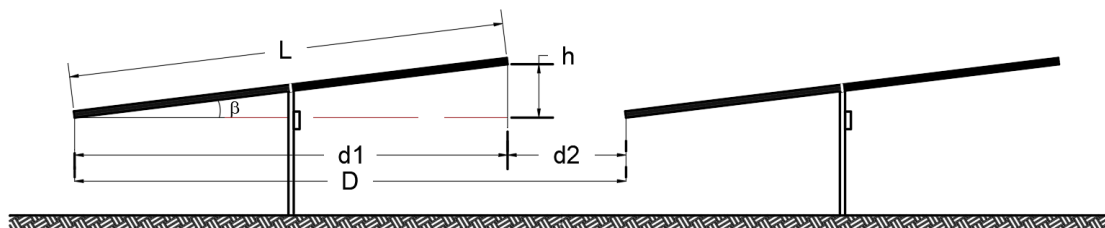


Figura 20. Modelo geométrico para cálculo de separación entre bloques

En esta representación se tiene las siguientes variables:

$L$  : longitud del módulo fotovoltaico.

$\beta$  : ángulo de inclinación calculado.

$h$  : altura del panel en el extremo elevado.

$d_1$  : proyección horizontal del módulo.

$d_2$  : distancia proyectada por la sombra según el ángulo solar

A partir de las relaciones geométricas que se forman entre la inclinación del panel, su longitud y la incidencia solar, se derivan las siguientes expresiones mediante principios de trigonometría plana. Estas ecuaciones permiten calcular tanto la altura proyectada por la inclinación, como las distancias horizontales involucradas en la determinación de la separación mínima entre bloques. Las fórmulas 14 a 17 se emplean para estimar este valor de forma sistemática, garantizando que no se genere sombreado entre estructuras bajo condiciones críticas.

$$h = L \sin (\beta) \quad 14$$

$$d_1 = L \cos (\beta) \quad 15$$

$$d_2 = \frac{h}{\tan (61^\circ - \phi)} \quad 16$$

$$D = d_1 + d_2$$

17

Para ejemplificar el modelo de separación por sombreado, se realizó el cálculo de la distancia proyectada  $d_2$  para distintos modelos de panel fotovoltaico, utilizando como referencia la ciudad de Chiclayo, cuya latitud es de  $6.8^\circ$  S. Aplicando la fórmula empírica para ángulo de inclinación, se obtiene un valor constante de  $\beta=8.37$ , el cual fue utilizado para todos los modelos con el fin de mantener condiciones comparables.

A continuación, se muestra la distancia mínima de separación por sombra  $d_2$  calculada para cada panel, considerando la longitud de módulo especificada por el fabricante. Esta distancia representa la proyección horizontal necesaria para evitar que un módulo proyecte sombra sobre otro en el momento crítico de mínima altura solar (solsticio de invierno).

TABLA XXVI.

SEPARACIÓN MÍNIMA POR SOMBRA ( $d_2$ ) SEGÚN MODELO DE PANEL Y  
LONGITUD DEL MÓDULO (L)

Panel	Largo (L)	Separación por sombra ( $d_2$ )
270W-P	1640	0.34
300W-P	1956	0.41
340W-P	1956	0.41
350W-P	1956	0.41
400W-M	1979	0.42
450W-M	2102	0.44
455W-M	2112	0.44
545W-M	2278	0.48
550W-M	2279	0.48

### **Anexo 05.- Análisis de costo de terreno**

Para estimar el costo del terreno requerido por cada configuración fotovoltaica, se adoptó un valor referencial de S/ 120.00 por metro cuadrado. Esta cifra se basa en precios observados en el mercado inmobiliario de Chiclayo, donde los terrenos rurales con características adecuadas para instalaciones energéticas presentan una amplia gama de precios. No obstante, considerando factores como la proximidad a infraestructuras, accesibilidad y disponibilidad de servicios, se optó por utilizar un valor conservador de S/ 120.00 por metro cuadrado para asegurar que el análisis económico no subestime los costos asociados al terreno.

Ahora, se presentan dos tablas que resumen el análisis del terreno requerido para la instalación del sistema fotovoltaico en función del modelo de panel y el nivel de energía diaria, estas tablas permiten visualizar de manera clara cómo varía tanto el espacio físico necesario como el costo económico asociado, considerando las diferencias dimensionales entre modelos y la cantidad de paneles requeridos.

La Tabla XXVII muestra el área total ocupada (en metros cuadrados) por cada configuración de sistema, considerando únicamente la superficie de los módulos sin aplicar factores adicionales de expansión, ya que el diseño se basó en bloques optimizados de dos filas con separación técnica definida.

Por su parte, la Tabla XXVIII presenta el costo total del terreno para cada modelo y nivel de energía, calculado a partir del área obtenida en la Tabla XXVII y un valor referencial de S/ 120.00 por metro cuadrado, asumido como conservador para terrenos rurales aptos en la región de Chiclayo.

TABLA XXVII.

ÁREA TOTAL OCUPADA POR LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SEGÚN NIVEL DE ENERGÍA Y MODELO DE PANEL (m<sup>2</sup>)

Energía (kWh/día)	270W-P	300W-P	340W-P	350W-P	400W-M	450W-M	455W-M	545W-M	550W-M
10	22.53	26.66	21.12	21.12	19.62	19.47	19.78	17.89	17.90
20	45.07	47.60	42.23	42.23	39.24	38.93	39.57	30.67	35.80
30	67.60	74.26	63.35	61.43	54.93	54.07	54.95	61.34	53.69
40	88.53	95.20	84.47	84.47	74.55	71.37	72.54	89.45	69.03
50	111.06	119.95	105.58	103.66	94.17	90.84	92.32	92.01	86.93
60	135.20	142.80	126.70	122.86	109.86	108.14	107.71	107.34	107.39
70	157.74	165.65	147.82	143.98	127.52	129.77	125.29	122.67	122.73
80	177.05	188.49	168.93	163.17	147.14	142.74	145.08	140.57	138.07
90	199.58	213.25	190.05	184.29	164.79	162.21	164.86	158.46	158.52
100	222.12	236.09	211.16	207.33	182.45	181.67	184.64	173.79	173.87
110	244.65	258.94	230.36	224.60	200.11	196.81	197.83	191.68	191.76
120	265.58	285.60	253.40	245.72	219.72	214.12	215.42	209.57	207.10
130	289.72	306.54	274.51	264.92	243.27	233.58	237.40	230.02	225.00
140	313.86	331.29	293.71	287.95	255.04	250.88	250.59	245.35	242.90
150	338.00	354.14	314.83	305.23	274.66	268.19	270.37	260.68	260.80
160	354.10	376.99	335.94	326.35	294.27	285.49	290.16	306.69	276.14
170	376.63	399.83	357.06	345.54	313.89	302.79	307.74	296.46	294.04
180	397.56	426.49	380.10	368.58	329.59	317.93	323.13	319.47	322.16
190	420.09	447.43	397.37	389.69	345.28	341.72	340.71	332.24	332.39
200	442.63	472.19	422.33	406.97	364.90	356.86	360.50	347.58	345.17



TABLA XXVIII.

## COSTO TOTAL ESTIMADO DEL TERRENO SEGÚN NIVEL DE ENERGÍA Y MODELO DE PANEL (S/.)

Energía (kWh/día)	270W-P	300W-P	340W-P	350W-P	400W-M	450W-M	455W-M	545W-M	550W-M
10	S/ 1,104.37	S/ 1,306.39	S/ 1,034.92	S/ 1,034.92	S/ 961.49	S/ 953.98	S/ 969.58	S/ 876.79	S/ 877.18
20	S/ 2,208.75	S/ 2,332.85	S/ 2,069.84	S/ 2,069.84	S/ 1,922.99	S/ 1,907.97	S/ 1,939.17	S/ 1,503.08	S/ 1,754.36
30	S/ 3,313.12	S/ 3,639.24	S/ 3,104.75	S/ 3,010.67	S/ 2,692.18	S/ 2,649.96	S/ 2,693.28	S/ 3,006.15	S/ 2,631.54
40	S/ 4,338.61	S/ 4,665.69	S/ 4,139.67	S/ 4,139.67	S/ 3,653.67	S/ 3,497.94	S/ 3,555.14	S/ 4,383.97	S/ 3,383.40
50	S/ 5,442.99	S/ 5,878.77	S/ 5,174.59	S/ 5,080.51	S/ 4,615.17	S/ 4,451.93	S/ 4,524.72	S/ 4,509.23	S/ 4,260.58
60	S/ 6,626.24	S/ 6,998.54	S/ 6,209.51	S/ 6,021.34	S/ 5,384.36	S/ 5,299.91	S/ 5,278.84	S/ 5,260.76	S/ 5,263.07
70	S/ 7,730.62	S/ 8,118.30	S/ 7,244.42	S/ 7,056.26	S/ 6,249.70	S/ 6,359.89	S/ 6,140.69	S/ 6,012.30	S/ 6,014.94
80	S/ 8,677.22	S/ 9,238.07	S/ 8,279.34	S/ 7,997.09	S/ 7,211.20	S/ 6,995.88	S/ 7,110.27	S/ 6,889.09	S/ 6,766.81
90	S/ 9,781.60	S/ 10,451.15	S/ 9,314.26	S/ 9,032.01	S/ 8,076.54	S/ 7,949.87	S/ 8,079.85	S/ 7,765.89	S/ 7,769.30
100	S/ 10,885.97	S/ 11,570.92	S/ 10,349.18	S/ 10,161.01	S/ 8,941.89	S/ 8,903.85	S/ 9,049.44	S/ 8,517.43	S/ 8,521.16
110	S/ 11,990.35	S/ 12,690.68	S/ 11,290.01	S/ 11,007.76	S/ 9,807.23	S/ 9,645.84	S/ 9,695.83	S/ 9,394.22	S/ 9,398.34
120	S/ 13,015.84	S/ 13,997.08	S/ 12,419.01	S/ 12,042.68	S/ 10,768.72	S/ 10,493.83	S/ 10,557.68	S/ 10,271.01	S/ 10,150.21
130	S/ 14,199.09	S/ 15,023.53	S/ 13,453.93	S/ 12,983.51	S/ 11,922.51	S/ 11,447.81	S/ 11,634.99	S/ 11,273.06	S/ 11,027.39
140	S/ 15,382.35	S/ 16,236.61	S/ 14,394.77	S/ 14,112.51	S/ 12,499.41	S/ 12,295.80	S/ 12,281.38	S/ 12,024.60	S/ 11,904.57
150	S/ 16,565.61	S/ 17,356.37	S/ 15,429.68	S/ 14,959.27	S/ 13,460.90	S/ 13,143.78	S/ 13,250.96	S/ 12,776.14	S/ 12,781.75
160	S/ 17,354.45	S/ 18,476.14	S/ 16,464.60	S/ 15,994.18	S/ 14,422.40	S/ 13,991.77	S/ 14,220.54	S/ 15,030.75	S/ 13,533.61
170	S/ 18,458.82	S/ 19,595.91	S/ 17,499.52	S/ 16,935.02	S/ 15,383.89	S/ 14,839.75	S/ 15,082.40	S/ 14,529.73	S/ 14,410.79
180	S/ 19,484.31	S/ 20,902.30	S/ 18,628.52	S/ 18,064.02	S/ 16,153.08	S/ 15,581.74	S/ 15,836.52	S/ 15,657.03	S/ 15,789.22
190	S/ 20,588.69	S/ 21,928.75	S/ 19,475.27	S/ 19,098.94	S/ 16,922.28	S/ 16,747.72	S/ 16,698.37	S/ 16,283.31	S/ 16,290.46
200	S/ 21,693.06	S/ 23,141.83	S/ 20,698.36	S/ 19,945.69	S/ 17,883.77	S/ 17,489.71	S/ 17,667.95	S/ 17,034.85	S/ 16,917.02

### Anexo 06.- Selección del rango de voltajes MPPT

El presente anexo tiene por finalidad documentar y justificar el procedimiento seguido para establecer el rango de voltaje de operación de los reguladores MPPT en el análisis técnico de configuraciones serie-paralelo de paneles fotovoltaicos, esta selección es fundamental para garantizar que las combinaciones eléctricas evaluadas se mantengan dentro de los márgenes reales de funcionamiento de los controladores comerciales, asegurando así la viabilidad del diseño propuesto.

Con el objetivo de validar el rango considerado, se recopiló información técnica de diversos modelos de reguladores MPPT comercializados del mismo proveedor de donde se recogieron los datos de paneles, este trabaja con marcas reconocidas en el mercado como Victron Energy, SRNE Solar y Must Solar. La información incluyó el voltaje máximo fotovoltaico permitido, el voltaje de arranque y los límites del rango MPPT (mínimo y máximo), como se muestra en la TABLA XXIX.

TABLA XXIX.

#### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE REGULADORES MPPT RECOPIADAS PARA EL ANÁLISIS DEL RANGO DE OPERACIÓN

Marca del Regulador	Tipo	Voltaje Máximo FV	Voltaje de Arranque	Rango MPPT Mínimo	Rango MPPT Máximo
<b>Victron Energy</b>	75 / 10	75	Vbat + 5	Vbat + 1	75
<b>Victron Energy</b>	75 / 15	75	Vbat + 5	Vbat + 1	75
<b>Victron Energy</b>	100 / 15	100	Vbat + 5	Vbat + 1	100
<b>Victron Energy</b>	100 / 20	100	Vbat + 5	Vbat + 1	100
<b>Victron Energy</b>	100 / 20-48V	100	Vbat + 5	Vbat + 1	100
<b>Victron Energy</b>	100 / 30	100	Vbat + 5	Vbat + 1	100
<b>Victron Energy</b>	100 / 50	100	Vbat + 5	Vbat + 1	100
<b>SRNE Solar</b>	100 / 20	100	Vbat + 2	Vbat + 2	100
<b>SRNE Solar</b>	100 / 30	100	Vbat + 2	Vbat + 2	100
<b>SRNE Solar</b>	100 / 40	100	Vbat + 2	Vbat + 2	100
<b>SRNE Solar</b>	100 / 50	100	Vbat + 2	Vbat + 2	100
<b>Must Solar</b>	100 / 20	100	16	16	100
<b>Must Solar</b>	145 / 30	145	32	32	130
<b>Must Solar</b>	145 / 40	145	32	32	130
<b>Must Solar</b>	130 / 60	130	30	30	130
<b>Must Solar</b>	130 / 80	130	45	45	130
<b>Victron Energy</b>	150 / 35	150	Vbat + 5	Vbat + 1	145
<b>Victron Energy</b>	150 / 45	150	Vbat + 5	Vbat + 1	145

<b>Victron Energy</b>	150 / 60	150	Vbat + 5	Vbat + 1	145
<b>Victron Energy</b>	150 / 70	150	Vbat + 5	Vbat + 1	145
<b>Victron Energy</b>	150 / 85	150	Vbat + 5	Vbat + 1	145
<b>Victron Energy</b>	150 / 100	150	Vbat + 5	Vbat + 1	145
<b>Victron Energy</b>	250 / 60	250	Vbat + 5	Vbat + 1	245
<b>Victron Energy</b>	250 / 70	250	Vbat + 5	Vbat + 1	245
<b>Victron Energy</b>	250 / 85	250	Vbat + 5	Vbat + 1	245
<b>Victron Energy</b>	250 / 100	250	Vbat + 5	Vbat + 1	245
<b>Victron Energy</b>	450 / 100	450	120	80	450
<b>Victron Energy</b>	450 / 200	450	120	80	450
<b>SRNE Solar</b>	120 / 85	120	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 120
<b>SRNE Solar</b>	120 / 100	120	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 120
<b>SRNE Solar</b>	150/60	150	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 120
<b>SRNE Solar</b>	150/70	150	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 120
<b>SRNE Solar</b>	250 / 85	250	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 180
<b>SRNE Solar</b>	250 / 100	250	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 180
<b>SRNE Solar</b>	250/60	25	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 180
<b>SRNE Solar</b>	250/70	250	Vbat + 2	Vbat + 2	Vbat + 180

A partir de los datos recopilados, se organizó la TABLA XXX como resumen con los distintos rangos de operación MPPT identificados en los controladores analizados. Esta tabla agrupa los valores límite inferior y superior utilizados por los fabricantes, lo que permitió observar la diversidad de rangos disponibles y establecer un criterio uniforme de selección aplicable a todo el estudio.

TABLA XXX.

RANGO MÍNIMO Y MÁXIMO DE OPERACIÓN MPPT IDENTIFICADOS EN  
REGULADORES COMERCIALES

ítem	Límite inferior	Limite mayor
1	Vbat + 1	75
2	Vbat + 1	100
3	32	130
4	Vbat + 1	145
5	Vbat + 1	245
6	80	450
7	Vbat + 2	Vbat + 120
8	Vbat + 2	Vbat + 180

Con base en los datos analizados, se seleccionó un rango de 80 V a 450 V como criterio técnico para validar las configuraciones en serie desarrolladas en este estudio. Esta decisión se justifica porque dicho rango representa el intervalo más amplio y estandarizado presente en los controladores de mayor capacidad analizados, y permite

evaluar una mayor variedad de configuraciones viables. Además, evita la dependencia de expresiones referenciales como “ $V_{bat} + 1$ ”, presentes en algunos modelos, y establece un umbral inferior realista para garantizar el arranque eficiente incluso en condiciones de irradiancia baja. Al adoptar este rango, se logró uniformizar el análisis técnico sin limitar la aplicabilidad del diseño propuesto.

**Anexo 07.- Porcentaje de costo por criterio**

Porcentaje de costo total por costo de cantidad de paneles								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
88.47%	89.49%	86.70%	87.80%	89.12%	89.47%	87.80%	88.90%	91.06%
88.66%	89.09%	86.93%	88.01%	89.32%	89.67%	88.03%	89.09%	91.25%
88.60%	88.93%	87.00%	88.03%	89.34%	89.12%	87.41%	89.18%	91.27%
88.63%	89.44%	87.04%	88.08%	87.08%	88.74%	86.99%	89.17%	91.31%
87.00%	89.47%	87.06%	88.14%	89.15%	89.42%	87.64%	87.41%	89.99%
88.59%	88.28%	86.92%	87.76%	89.07%	89.65%	87.86%	88.89%	91.05%
88.47%	88.18%	86.85%	87.19%	88.69%	87.97%	86.59%	88.95%	91.10%
88.53%	89.54%	86.87%	87.00%	88.33%	89.17%	87.47%	88.18%	91.08%
88.47%	89.33%	86.82%	87.75%	89.05%	88.90%	87.17%	87.36%	89.79%
87.52%	88.41%	86.81%	87.78%	88.25%	89.26%	87.52%	88.27%	90.54%
87.95%	89.21%	86.76%	87.71%	88.58%	89.39%	87.91%	88.30%	90.57%
88.28%	89.34%	86.79%	87.40%	88.93%	89.45%	87.40%	87.54%	91.15%
88.32%	88.60%	86.78%	87.01%	87.78%	89.24%	87.65%	88.98%	90.74%
88.36%	88.64%	86.24%	87.67%	88.97%	88.68%	87.10%	88.98%	90.56%
88.41%	88.77%	86.61%	87.55%	89.05%	88.67%	86.90%	88.50%	90.73%
88.13%	89.30%	86.30%	87.60%	88.95%	88.73%	86.98%	89.09%	91.12%
88.21%	89.18%	85.55%	87.64%	88.98%	89.19%	87.64%	88.74%	90.56%

88.21%	88.89%	86.45%	87.25%	88.57%	89.19%	87.09%	88.09%	91.02%
87.44%	88.55%	86.18%	86.83%	88.38%	89.57%	87.13%	89.13%	91.05%
87.89%	88.72%	86.39%	85.69%	87.77%	88.96%	86.93%	88.86%	91.10%
<b>Porcentaje de costo total por costo de ocupacion de terreno</b>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
11.11%	10.18%	12.78%	11.73%	10.42%	10.09%	11.69%	10.59%	8.53%
11.13%	10.13%	12.81%	11.75%	10.45%	10.11%	11.72%	10.62%	8.55%
11.12%	10.11%	12.82%	11.76%	10.45%	10.05%	11.64%	10.63%	8.55%
11.13%	10.17%	12.83%	11.76%	10.19%	10.01%	11.58%	10.63%	8.56%
10.92%	10.18%	12.83%	11.77%	10.43%	10.08%	11.67%	10.42%	8.43%
11.12%	10.04%	12.81%	11.72%	10.42%	10.11%	11.70%	10.59%	8.53%
11.11%	10.03%	12.80%	11.64%	10.37%	9.92%	11.53%	10.60%	8.54%
11.11%	10.18%	12.80%	11.62%	10.33%	10.05%	11.64%	10.51%	8.53%
11.11%	10.16%	12.80%	11.72%	10.42%	10.02%	11.60%	10.41%	8.41%
10.99%	10.06%	12.80%	11.72%	10.32%	10.06%	11.65%	10.52%	8.48%
11.04%	10.15%	12.79%	11.71%	10.36%	10.08%	11.70%	10.52%	8.49%
11.08%	10.16%	12.79%	11.67%	10.40%	10.09%	11.63%	10.43%	8.54%
11.09%	10.08%	12.79%	11.62%	10.27%	10.06%	11.67%	10.60%	8.50%
11.09%	10.08%	12.71%	11.71%	10.41%	10.00%	11.60%	10.60%	8.49%
11.10%	10.10%	12.77%	11.69%	10.42%	10.00%	11.57%	10.55%	8.50%
11.06%	10.16%	12.72%	11.70%	10.40%	10.00%	11.58%	10.62%	8.54%
11.07%	10.14%	12.61%	11.70%	10.41%	10.06%	11.67%	10.58%	8.49%
11.07%	10.11%	12.74%	11.65%	10.36%	10.06%	11.59%	10.50%	8.53%

10.98%	10.07%	12.70%	11.60%	10.34%	10.10%	11.60%	10.62%	8.53%
11.03%	10.09%	12.73%	11.44%	10.27%	10.03%	11.57%	10.59%	8.54%

Porcentaje de costo total por costo de cables								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.42%	0.33%	0.52%	0.48%	0.46%	0.44%	0.51%	0.51%	0.41%
0.21%	0.78%	0.26%	0.24%	0.23%	0.22%	0.25%	0.30%	0.20%
0.28%	0.96%	0.17%	0.21%	0.21%	0.84%	0.95%	0.19%	0.18%
0.25%	0.39%	0.13%	0.15%	2.74%	1.26%	1.43%	0.21%	0.14%
2.08%	0.35%	0.10%	0.09%	0.42%	0.50%	0.69%	2.17%	1.58%
0.29%	1.68%	0.26%	0.52%	0.52%	0.24%	0.44%	0.52%	0.42%
0.43%	1.79%	0.35%	1.16%	0.94%	2.11%	1.89%	0.45%	0.36%
0.35%	0.28%	0.33%	1.38%	1.34%	0.78%	0.89%	1.31%	0.39%
0.43%	0.51%	0.39%	0.54%	0.53%	1.07%	1.22%	2.23%	1.80%
1.49%	1.53%	0.40%	0.50%	1.43%	0.68%	0.83%	1.21%	0.98%
1.01%	0.65%	0.46%	0.58%	1.06%	0.53%	0.39%	1.17%	0.95%
0.64%	0.50%	0.42%	0.93%	0.67%	0.47%	0.96%	2.03%	0.31%
0.59%	1.33%	0.42%	1.37%	1.96%	0.69%	0.68%	0.42%	0.76%
0.54%	1.28%	1.04%	0.63%	0.63%	1.32%	1.30%	0.42%	0.95%
0.50%	1.13%	0.62%	0.75%	0.53%	1.33%	1.53%	0.96%	0.77%
0.80%	0.54%	0.98%	0.70%	0.65%	1.27%	1.45%	0.30%	0.34%
0.71%	0.68%	1.85%	0.66%	0.62%	0.76%	0.70%	0.68%	0.96%

0.72%	1.00%	0.81%	1.10%	1.07%	0.75%	1.32%	1.42%	0.45%
1.59%	1.37%	1.11%	1.58%	1.29%	0.33%	1.27%	0.25%	0.42%
1.07%	1.18%	0.87%	2.86%	1.96%	1.01%	1.50%	0.55%	0.36%