

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI  
ESCUELA DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y  
EÓLICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magister Tecnológico en  
Sistemas de Generación Solar y Eólica**

**Tema:**

**Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario  
Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico  
disponible.**

**Autor: María Gabriela Vera**

**Director: Luís Daniel Andagoya Alba**

**Fecha: Septiembre de 2024**

*Sangolquí - Ecuador*



**Autor:** María Gabriela Vera.

**Título a obtener:** Magister Tecnológico en Sistemas de Generación Solar y Eólica.

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador.

**Correo electrónico:** [mariagabriela.vera@ister.edu.ec](mailto:mariagabriela.vera@ister.edu.ec)



**Dirigido por:** Luís Daniel Andagoya Alba.

**Título:** Master en Integración de las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico / Ingeniero Eléctrico.

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador.

**Correo electrónico:** [luis.andagoya@ister.edu.ec](mailto:luis.andagoya@ister.edu.ec)

### **Todos los derechos reservados**

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui  
Sangolquí – Ecuador

***Vera María Gabriela***

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 24 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico disponible** realizado por **María Gabriela Vera** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

LUIS DANIEL  
ANDAGOYA  
ALBA

Firmado digitalmente  
por LUIS DANIEL  
ANDAGOYA ALBA  
Fecha: 2024.09.25  
09:46:15 -05'00'

Luis Daniel Andagoya-Alba  
Director del Trabajo de Titulación  
C.I.:1723285993  
Correo electrónico: [luis.andagoya@ister.edu.ec](mailto:luis.andagoya@ister.edu.ec)

Sangolquí, 18 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

Por medio de la presente, yo, María Gabriela Vera, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado "**Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico disponible**", de la Maestría Tecnológica **Sistemas de Generación Solar y Eólica**; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**MARIA GABRIELA  
VERA**

María Gabriela Vera  
CI: 3050386790

## SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 24 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: *Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico disponible* de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: *María Gabriela Vera*, con documento de identificación No *305038679-0*, estudiante de la Maestría Tecnológica Sistemas de Generación Solar y Eólica.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,



firmado electrónicamente por:  
**MARIA GABRIELA  
VERA**

***María Gabriela Vera***  
**CI: 305038679-0**

**FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTO DE TITULACIÓN EN  
BIBLIOTECA**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA:** Sistemas de Generación Solar y Eólica

**AUTORA:**

María Gabriela Vera

**TUTOR:**

Luis Daniel Andagoya Alba

**CORREO ELECTRÓNICO:**

[mariagabriela.vera@ister.edu.ec](mailto:mariagabriela.vera@ister.edu.ec)

[gabithvera@gmail.com](mailto:gabithvera@gmail.com)

**TEMA:**

Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico disponible.

## **RESUMEN**

El trabajo titulado “Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico disponible” analiza cómo optimizar el uso de la energía solar para satisfacer la creciente demanda energética del campus. El autor, María Gabriela Vera, propone la ampliación de la microrred fotovoltaica ya existente, evaluando su rendimiento mediante bases de datos meteorológicas como METEONORM, NASA y PVGIS. El proyecto se enfoca en maximizar la eficiencia energética utilizando el espacio disponible en los edificios del campus. El análisis abarca la radiación solar, el consumo de energía actual y futuro, y la capacidad de almacenamiento necesaria para asegurar un suministro estable. Se proponen varias configuraciones de paneles solares, sistemas de almacenamiento y reguladores, comparando su rendimiento y costos. Mediante simulaciones con el software PVsyst, el estudio concluye que, con una planificación adecuada, es posible aumentar significativamente la generación de energía renovable, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional y disminuyendo las emisiones de carbono. El proyecto también destaca la importancia de adaptar las soluciones energéticas a las condiciones meteorológicas específicas del sitio y a las limitaciones de espacio.

**PALABRAS CLAVES:** MICRORED FOTOVOLTAICA, ENERGÍA SOLAR, BASES DE DATOS METEOROLÓGICAS, SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA, PANELES SOLARES.

## **ABSTRACT**

The work entitled “Study and design of the expansion of the Photovoltaic Microgrid of the Rumiñahui University considering different meteorological databases and the available physical space” analyzes how to optimize the use of solar energy to meet the growing energy demand of the campus. The author, María Gabriela Vera, proposes the expansion of the existing photovoltaic microgrid, evaluating its performance using meteorological databases such as METEONORM, NASA and PVGIS. The project focuses on maximizing energy efficiency using the available space in the campus buildings. The analysis covers solar radiation, current and future energy consumption, and the storage capacity needed to ensure a stable supply. Various configurations of solar panels, storage systems and controllers are proposed, comparing their performance and costs. Through simulations with PVsyst software, the study concludes that, with proper planning, it is possible to significantly increase renewable energy generation, reducing dependence on the conventional power grid and reducing carbon emissions. The project also highlights the importance of adapting energy solutions to site-specific weather conditions and space constraints.

**KEYWORDS:** PHOTOVOLTAIC MICROGRID, SOLAR ENERGY, WEATHER DATABASES, ENERGY SUSTAINABILITY, SOLAR PANELS.

## **Dedicatoria**

*A mí madre **Gloria América Vera Cedeño** quien ha sido mi ejemplo y motor de vida, tú siempre me guiaste y apoyaste en todo momento, por ello te dedico todos mis logros.*

***Te amo mami***

## CONTENIDOS

Aprobación del director del Trabajo de Titulación .....	iii
Carta de cesión de derechos.....	iv
Solicitud publicación trabajo de titulación .....	v
Formulario para entrega de proyecto de titulación .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Tema.....	1
Planteamiento del Problema .....	1
Problema científico.....	2
Preguntas científicas o directrices .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos.....	3
Justificación.....	3
Variables.....	5
Hipótesis.....	6
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>7</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
1.1. Contextualización espacio temporal del problema.....	7
1.2. Revisión de investigaciones previas sobre el objeto de estudio .....	8
1.3. Cuerpo teórico-conceptual.....	11
1.3.1. Energía solar fotovoltaica.....	11
1.3.2. Proceso de generación de energía solar fotovoltaica.....	12
1.3.3. Componentes de un sistema fotovoltaico .....	13
1.3.4. Ventajas de la energía solar fotovoltaica.....	14
1.3.5. Desafíos de la energía solar fotovoltaica.....	15
1.3.6. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica .....	16
1.3.7. Microrredes.....	17
1.3.8. Tipos de microrredes .....	18
1.3.9. Sistemas de almacenamiento de energía .....	18
1.3.10. Componentes de los sistemas de almacenamiento de energía.....	18
1.3.11. Ventajas de los sistemas de almacenamiento de energía.....	19

<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>20</b>
<b>2. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>20</b>
2.1. Enfoque metodológico de la investigación.....	20
2.2. Población, unidades de estudio y muestra .....	20
2.3. Métodos y técnicas empleadas para la recolección de información .....	21
2.3.1. Métodos .....	21
2.3.2. Técnicas de recolección de información .....	21
2.3.3. Formas de procesamiento de la información.....	21
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>23</b>
<b>3. PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO .....</b>	<b>23</b>
3.1. Elección del emplazamiento .....	23
3.2. Datos de radiación .....	24
3.3. Bases de datos.....	24
3.3.1. Base de datos meteorológicos METEONORM.....	24
3.3.2. Base de datos meteorológicos NASA.....	25
3.3.3. Base de datos meteorológicos PVGIS .....	26
3.4. Datos fundamentales para diseño .....	27
3.4.1. Datos de los CEPROBYS .....	27
3.4.2. Equipamiento de CEPROBYS .....	27
3.4.3. Radiación diaria.....	28
3.4.4. Radiación mensual.....	30
3.4.5. Carta solar del sitio .....	32
3.4.6. Datos meteorológicos del sitio .....	33
3.4.7. Cielo nublado, sol y días de precipitación.....	34
3.4.8. Temperaturas máximas.....	34
3.4.9. Cantidad de precipitación .....	35
3.4.10. Velocidad del viento .....	36
3.4.11. Rosa de los vientos .....	37
3.5. Características técnicas de los componentes .....	38
3.5.1. Paneles .....	39
3.5.2. Batería.....	41
3.5.3. Controlador de Carga.....	43
3.5.4. Inversor .....	45

3.6.	Diseño para la ampliación .....	47
3.6.1.	Determinación de las necesidades del usuario .....	47
3.6.2.	Determinación de las pérdidas totales del sistema .....	49
3.6.3.	Carga energética máxima del sistema .....	49
3.6.4.	Determinación de la energía solar disponible.....	49
3.6.5.	Dimensionado del sistema de acumulación.....	51
3.6.6.	Selección del regulador .....	51
3.6.7.	Selección del convertidor .....	52
3.6.7.1.	Cálculo del inversor.....	52
3.6.7.2.	Dimensiones del inversor .....	53
3.7.	Dimensionado del cableado y protecciones.....	54
3.7.1.	Protecciones.....	60
3.8.	Datos de la simulación con PVSYST .....	61
3.8.1.	Necesidades Detalladas del Usuario.....	61
3.8.2.	Parámetros de simulación Caso de estudio N°1 .....	61
3.8.3.	Parámetros de simulación Caso de estudio N°2 .....	63
3.8.4.	Parámetros de simulación Caso de estudio N°3 .....	65
3.8.5.	Generador fotovoltaico Caso de estudio N°1 .....	67
3.8.6.	Generador fotovoltaico Caso de estudio N°2 .....	68
3.8.7.	Generador fotovoltaico Caso de estudio N°3 .....	69
3.8.8.	Batería Caso de estudio N°1 .....	71
3.8.9.	Batería Caso de estudio N°2.....	72
3.8.10.	Batería Caso de estudio N°3.....	74
3.8.11.	Regulador .....	75
3.9.	Resultados de simulación Caso de estudio N° 1 .....	76
3.10.	Resultados de simulación Caso de estudio N° 2 .....	78
3.11.	Resultados de simulación Caso de estudio N° 3 .....	79
3.12.	Comparativo de resultados de la energía solar disponible y arreglo de paneles solares por base de datos meteorológicos.....	80
3.13.	Determinación de energía disponible en techos de los CEPROBYS .....	84
	CONCLUSIONES.....	94
	RECOMENDACIONES .....	96
	REFERENCIAS.....	97

## LISTAS DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de variables .....	5
Tabla 2 Equipamiento.....	28
Tabla 3 Determinación de las necesidades del usuario .....	48
Tabla 4 Análisis de consumo.....	52
Tabla 5 Datos para el inversor .....	53
Tabla 6 Calibre de conductor.....	60
Tabla 7 Resultados de la energía solar disponible y arreglo de paneles solares por base de datos meteorológicos .....	80
Tabla 8 Resultados del sistema de acumulación .....	82
Tabla 9 Resultados del sistema de regulación .....	83
Tabla 10 Número de paneles por área .....	84
Tabla 11 Cálculo de Energía disponible en techos con la base de datos METEONOR 8.1	89
Tabla 12 Cálculo de Energía disponible en techos con la base de datos NASA.....	90
Tabla 13 Cálculo de Energía disponible en techos con la base de datos PVGYS.....	91
Tabla 14 Comparativo del Cálculo de Energía disponible en techos .....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del emplazamiento .....	24
Figura 2 Meteonorm 8.1 Caso de estudio N° 1 .....	25
Figura 3 NASA-SSE satellite data 1983-2005 Caso de estudio N° 2 .....	26
Figura 4 Base de datos meteorológicos PVGIS Caso de estudio N° 3.....	27
Figura 5 Base de datos con radiación diaria Caso de estudio N°1 .....	28
Figura 6 Base de datos con radiación diaria Caso de estudio N°2 .....	29
Figura 7 Base de datos con radiación diaria Caso de estudio N°3 .....	29
Figura 8 Base de datos con radiación mensual Caso de estudio N°1 .....	30
Figura 9 Base de datos con radiación mensual Caso de estudio N°2 .....	31
Figura 10 Base de datos con radiación mensual Caso de estudio N°3 .....	31
Figura 11 Carta solar del sitio.....	32
Figura 12 Temperaturas medias y precipitaciones .....	33
Figura 13 Días nublados y de precipitación .....	34
Figura 14 Temperaturas máximas .....	35
Figura 15 Cantidad de precipitación.....	36
Figura 16 Velocidad de viento.....	37
Figura 17 Rosa de los vientos.....	38
Figura 18 Características técnicas del panel.....	39
Figura 19 Características técnicas de la batería.....	41
Figura 20 . Características técnicas del controlador de carga.....	43
Figura 21 . Características técnicas del controlador de carga.....	45
Figura 22 Características técnicas del Inversor .....	47
Figura 23 Parámetros de simulación .....	61
Figura 24 Parámetros de simulación Caso de estudio N°1 .....	63
Figura 25 Parámetros de simulación Caso de estudio N°2.....	65
Figura 26 Parámetros de simulación Caso de estudio N°3.....	67
Figura 27 Generador fotovoltaico Caso de estudio N°1 .....	68
Figura 28 Generador fotovoltaico Caso de estudio N°2.....	69
Figura 29 Generador fotovoltaico Caso de estudio N°3.....	70
Figura 30 Baterías Caso de estudio N°1 .....	72

Figura 31 Baterías Caso de estudio N°2.....	73
Figura 32 Baterías Caso de estudio N°3.....	75
Figura 33 Características técnicas del regulador .....	76
Figura 34 Resultados de simulación Caso de estudio N° 1 .....	77
Figura 35 Resultados de simulación Caso de estudio N° 2 .....	79
Figura 36 Resultados de simulación Caso de estudio N° 2 .....	80
Figura 37 Medidas de espacio disponibles en techos del A1 .....	85
Figura 38 Medidas de espacio disponibles en techos del A2 .....	85
Figura 39 Medidas de espacio disponibles en techos del A3 .....	85
Figura 40 Medidas de espacio disponibles en techos del A4 .....	86
Figura 41 Medidas de espacio disponibles en techos del A5 .....	86
Figura 42 Medidas de espacio disponibles en techos del A6 .....	86
Figura 43 Medidas de espacio disponibles en techos del A7 .....	87
Figura 44 Medidas de espacio disponibles en techos del A8 .....	87
Figura 45 Medidas de espacio disponibles en techos del A9 .....	87
Figura 46 Medidas de espacio disponibles en techos del A10 .....	88
Figura 47 Medidas de espacio disponibles en techos del A11 .....	88
Figura 48 Medidas de espacio disponibles en techos del A12 .....	88

# INTRODUCCIÓN

## **Tema**

Estudio y diseño de la ampliación de la Microred Fotovoltaica del Universitario Rumiñahui considerando diferentes bases de datos meteorológicos y el espacio físico disponible.

## **Planteamiento del Problema**

El cambio climático y la creciente demanda energética a nivel global han puesto de manifiesto la necesidad urgente de buscar fuentes de energía limpias y renovables. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una alternativa viable y sostenible para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los efectos del calentamiento global.

El Universitario Rumiñahui, como institución de educación superior comprometida con la sostenibilidad, ha dado un primer paso importante al implementar una microrred fotovoltaica. Sin embargo, la creciente demanda energética de la institución y el potencial aún no explotado de la radiación solar en la región, hacen necesario ampliar esta infraestructura para optimizar el aprovechamiento de este recurso natural y contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible.

El problema central de este estudio radica en la necesidad de dimensionar y diseñar adecuadamente la ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui, considerando las variables climáticas, el consumo energético de la institución y las limitaciones del espacio físico disponible.

El aumento constante del consumo energético en la institución, debido al crecimiento de la matrícula, la incorporación de nuevas tecnologías y la expansión de las instalaciones, supera la capacidad actual de la microrred. Las condiciones climáticas variables, como la nubosidad y las estaciones del año, afectan directamente la producción de energía solar, generando inestabilidad en el suministro eléctrico. La capacidad actual de almacenamiento de la microrred es insuficiente para garantizar un suministro continuo de energía en momentos de baja radiación solar.

El Universitario Rumiñahui sigue dependiendo en gran medida de la red eléctrica convencional, lo que la expone a los riesgos asociados a las interrupciones del servicio. La radiación solar disponible en la región no se está aprovechando al máximo, lo que representa una oportunidad perdida para generar energía limpia y gratuita.

Se evaluará la radiación solar incidente en el campus universitario a través del análisis de datos meteorológicos históricos y proyecciones futuras.

Se calculará la capacidad de generación necesaria para satisfacer la demanda energética de los CEPROBYS ubicados en los parqueaderos 1 y 2, considerando los factores de carga y las pérdidas en el sistema.

A nivel global, la creciente preocupación por el cambio climático ha impulsado un fuerte crecimiento del sector de las energías renovables. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024), la energía solar fotovoltaica es la tecnología de generación de electricidad de más rápido crecimiento en el mundo, representando el 73% del desarrollo de las energías renovables durante el año 2023.

En el sector educativo, numerosas universidades han implementado proyectos de generación de energía solar con el objetivo de reducir su huella de carbono y fomentar la investigación en el campo de las energías renovables. Estudios de caso de instituciones similares al Universitario Rumiñahui demuestran los beneficios económicos y ambientales de estas iniciativas.

La ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui representa una oportunidad única para que la institución se consolide como un referente en materia de sostenibilidad y eficiencia energética. Sin embargo, es fundamental realizar un estudio detallado y riguroso para garantizar el éxito del proyecto y maximizar sus beneficios.

### **Problema científico**

¿Cómo optimizar el diseño y la ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui para maximizar su eficiencia energética y aprovechar al máximo la radiación solar disponible, considerando la variabilidad de los datos meteorológicos y las limitaciones del espacio físico, a fin de contribuir a la sostenibilidad energética de la institución?

## **Preguntas científicas o directrices**

¿Cuál es la capacidad de generación máxima de energía solar que puede alcanzarse en el sitio considerando las condiciones meteorológicas promedio y el espacio disponible?

¿Cómo influye la variabilidad de los datos meteorológicos en la producción de energía de la microrred y cómo se puede mitigar este impacto?

## **Objetivo general**

Diseñar una ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui, optimizando su capacidad de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, considerando las condiciones climáticas locales y las limitaciones del espacio físico, con el fin de reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y promover la sostenibilidad energética en la institución.

## ***Objetivos específicos***

- Recopilar y analizar datos meteorológicos históricos de la región para determinar la radiación solar incidente en el Instituto Universitario Rumiñahui.
- Seleccionar la tecnología fotovoltaica más adecuada para las condiciones específicas del proyecto.
- Simular el funcionamiento de la microrred en diferentes escenarios de bases de datos meteorológicas (Meteonor, NASA y PVGYS).

## **Justificación**

La propuesta de investigación para la ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui se sustenta en una serie de razones que la convierten en una iniciativa relevante y necesaria en el contexto actual.

Desde el punto de vista técnico, la propuesta representa un desafío interesante debido a la complejidad de integrar sistemas de generación de energía renovable a una infraestructura existente. El diseño y la implementación de una microrred fotovoltaica requieren de

conocimientos especializados en ingeniería eléctrica, electrónica y sistemas de control, así como el uso de herramientas de simulación y análisis de datos. La investigación permitirá desarrollar soluciones innovadoras para optimizar el funcionamiento de la microrred y garantizar su estabilidad y confiabilidad.

Metodológicamente, la investigación se beneficiará de la combinación de diferentes enfoques, como el análisis de datos meteorológicos, la modelización de sistemas energéticos, la evaluación económica y la ingeniería de diseño. La utilización de software PVSYST permitirá obtener resultados precisos y confiables. Además, la investigación se basará en una revisión exhaustiva de la literatura científica existente y en el conocimiento de expertos en el área.

En cuanto a los beneficios, la ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui generará un impacto positivo en diversos ámbitos:

- La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero contribuirá a mitigar el cambio climático y a mejorar la calidad del aire.
- La universidad se posicionará como un referente en materia de sostenibilidad y eficiencia energética, fomentando la conciencia ambiental en la comunidad universitaria y local.
- El proyecto servirá como una plataforma de aprendizaje para estudiantes y docentes, promoviendo la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías.
- La universidad se convertirá en un actor activo en la transición hacia un modelo energético más sostenible, contribuyendo al desarrollo de las energías renovables en el país.

La ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui es un proyecto estratégico que permitirá a la institución alcanzar sus objetivos de sostenibilidad, reducir su huella de carbono y fortalecer su posición como referente en el sector educativo. La investigación propuesta contribuirá a generar conocimiento científico y tecnológico en el área de las energías renovables, y a promover la adopción de soluciones sostenibles en el sector energético.

## VARIABLES

**Tabla 1:** Cuadro de variables

	<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Independientes</b>	Radiación solar	Cuantitativa continua	Intensidad de la luz solar que incide sobre los paneles
	Ángulo de incidencia	Cuantitativa continua	Ángulo formado entre los rayos solares y la superficie del panel
	Temperatura ambiente	Cuantitativa continua	Temperatura del aire en el entorno de los paneles
	Velocidad del viento	Cuantitativa continua	Velocidad del viento en el sitio de instalación
	Tipo de panel solar	Cualitativa nominal	Tecnología y características de los paneles (monocristalino, policristalino, etc.)
	Capacidad de almacenamiento	Cuantitativa continua	Capacidad total de almacenamiento de energía
	Orientación de los paneles	Cuantitativa discreta	Dirección a la que se orientan los paneles (norte, sur, este, oeste)
	Inclinación de los paneles	Cuantitativa continua	Ángulo de inclinación de los paneles respecto a la horizontal
<b>Dependientes</b>	Eficiencia de la microrred	Cuantitativa continua	Relación entre la energía producida y la consumida
	Generación de energía	Cuantitativa continua	Energía eléctrica producida por la microrred en un período determinado
	Consumo de energía	Cuantitativa continua	Energía eléctrica consumida por la institución en un período determinado
	Costo de implementación	Cuantitativa continua	Costo total de la inversión en la microrred
	Retorno de la inversión (ROI)	Cuantitativa continua	Relación entre las ganancias y la inversión inicial
	Emisiones de CO2 evitadas	Cuantitativa continua	Reducción de emisiones de CO2 comparado con la generación convencional
<b>Intervenientes</b>	Nubosidad	Cuantitativa continua	Porcentaje de cielo cubierto por nubes
	Humedad relativa	Cuantitativa continua	Cantidad de vapor de agua en el aire
	Presión atmosférica	Cuantitativa continua	Fuerza ejercida por el aire sobre la superficie terrestre
	Consumo energético de la institución	Cuantitativa continua	Variaciones en el consumo a lo largo del tiempo y en función de diferentes actividades

**Fuente:** Elaboración Propia.

## **Hipótesis**

Se espera que, al optimizar el diseño y la ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui, considerando las variables mencionadas, sea posible aumentar significativamente la generación de energía limpia, reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y contribuir a la sostenibilidad energética de la institución.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Contextualización espacio temporal del problema

A nivel global la creciente preocupación por el cambio climático y el aumento de la demanda energética ha impulsado un fuerte crecimiento del sector de las energías limpias y renovables. En este sentido, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una alternativa viable y sostenible para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los efectos del calentamiento global. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024), la energía solar fotovoltaica es la tecnología de generación de electricidad de más rápido crecimiento en el mundo, representando el 73% del desarrollo de las energías renovables durante el año 2023.

El Ecuador no escapa de esta tendencia, especialmente si se considera el potencial de energía solar del país y los esfuerzos del gobierno para promover la energía renovable, incluyendo la solar, con el objetivo de alcanzar una participación del 15% de energía limpia en la matriz energética para el año 2030. El país tiene un alto potencial de energía solar debido a la ubicación en la zona intertropical, con una capacidad fotovoltaica estimada de más de 15 GW (Inca Yajamín et al., 2023). Además, el menor costo de la energía solar y el incremento del costo de la electricidad en Ecuador, sumado con los niveles extremos de estiaje originado por la sequía sin precedente del presente año que acarrea cortes e interrupciones en el suministro de energía, hacen que los sistemas fotovoltaicos sean cada vez más atractivos desde un punto de vista económico.

En el sector educativo, numerosas universidades han implementado proyectos de generación de energía solar con el objetivo de reducir la huella de carbono y fomentar la investigación en el campo de las energías renovables, basado en los beneficios económicos y ambientales de la energía fotovoltaica que han sido demostrados en los innumerables estudios desarrollados en todo el mundo. Además, promueve la conciencia ambiental entre los estudiantes, mediante el aprendizaje acerca de energías amigables de forma práctica, ofreciendo también beneficios en términos cuantitativos, considerando que la instalación de paneles solares genera un ahorro significativo en los costos de energía, recursos que pueden ser destinados a la mejora de la

infraestructura escolar, ampliar los recursos educativos y beneficiar directamente a los estudiantes.

El Universitario Rumiñahui, como institución de educación superior comprometida con la sostenibilidad, ha dado un primer paso importante al implementar una microrred fotovoltaica, sin embargo, aún es altamente dependiente de la red eléctrica convencional, lo cual expone a la institución a los riesgos asociados a las interrupciones de servicio. Por otra parte, el aumento constante del consumo energético en la institución, debido al crecimiento de la matrícula, la incorporación de nuevas tecnologías y la expansión de las instalaciones, supera la capacidad actual de la microrred. Además, las condiciones climáticas variables, como la nubosidad y las estaciones del año, afectan directamente la producción de energía solar, generando inestabilidad en el suministro eléctrico, por lo que la capacidad actual de almacenamiento de la microrred es insuficiente para garantizar una distribución continua de energía en momentos de baja radiación solar.

Lo anterior indica que la institución cuenta con una microrred fotovoltaica que podría aprovecharse de una manera más eficiente debido al potencial poco explotado de la radiación solar en la región, por lo que se hace necesario ampliar esta infraestructura para optimizar el aprovechamiento de este recurso natural con el fin de generar energía limpia, sostenible y a menor costo.

En base a todo lo expuesto el presente estudio se enfoca en la necesidad de dimensionar y diseñar adecuadamente la ampliación de la microrred fotovoltaica del Universitario Rumiñahui, considerando las variables climáticas, el consumo energético de la institución y las limitaciones del espacio físico disponible.

## **1.2. Revisión de investigaciones previas sobre el objeto de estudio**

En el estudio de Shirzadi et al. (2020) con el objetivo de desarrollar un enfoque de dimensionamiento de configuración para mejorar la eficiencia de costos y la confiabilidad del abastecimiento de energías renovables integradas en microrredes de un campus universitario urbano en Montreal, considerando diversas tecnologías, entre ellas la energía solar fotovoltaica, analizando el impacto de la reducción de las ventas de electricidad excedentes a la red y el uso de seguidores solares en el área necesaria para paneles fotovoltaicos, demostrando los

resultados que es posible reducir la superficie necesaria para la instalación de paneles fotovoltaicos y, aunque esto aumenta el LCOE final del sistema, éste sigue siendo económicamente más viable.

Por otra parte, en la investigación de AlKassem et al. (2022) desarrollada con el objetivo de proponer y analizar un diseño óptimo de sistema de microrredes en una universidad de Arabia Saudita, mediante la integración de fuentes de energía renovables, considerando que la creciente demanda de electricidad implica el aumento de los activos del sistema eléctrico y de la mejora de la infraestructura para satisfacerla, lo cual incide en el incremento constante de los costos de operación. Establecieron un proyecto piloto en la Facultad de Ingeniería que incorporaba el perfil de carga medida, garantizando la precisión de los modelos simulados mediante el uso de datos meteorológicos sobre el terreno para formular un perfil meteorológico anual típico, obteniendo como resultado que el sistema fotovoltaico de 1,5 MW de capacidad instalada puede cubrir hasta el 3,03% del consumo eléctrico anual de la universidad, con un coste nivelado de la energía (LCOE) de 0,051 USD/kWh, generando energía anual de 2,68 GWh con un factor de capacidad del 20,2% y un período de recuperación simple de 18,6 años, resultados más óptimos en comparación con un sistema de energía eólica que se fundamenta en la alta disponibilidad de viento.

También se tiene el artículo publicado por Iqbal et al. (2022) con el objetivo desarrollar una red eléctrica híbrida (fotovoltaica/batería/red) para una universidad de Pakistán que permita aliviar el problema de la escasez de energía, así como facilitar el suministro de energía ininterrumpida para la enseñanza, la administración y las actividades experimentales en el campus, determinando los impactos ambientales y socioeconómicos de la energía solar. Al comparar los resultados del sistema propuesto con los resultados del sistema existente al tiempo que se proporciona la misma energía a la carga, se obtuvo como resultado que el COE del sistema híbrido conectado a la red actual es de 27,32 rupias/kWh, lo que indica que la utilización eficaz de la energía solar al reducir los costos de energía hasta en 251 rupias/kWh, concluyendo que los paneles fotovoltaicos conectados a la red representan la alternativa más rentable y eficiente para el suministro de energía ininterrumpida.

En el estudio de Méndez (2023) con el objetivo de diseñar una red WLAN alimentada con energía fotovoltaica para suministrar energía en una unidad educativa de Ecuador, asegurando de esta manera un suministro constante y sostenible de la señal de internet y de este modo

brindar conectividad inalámbrica a las diversas áreas de la institución, usando un enfoque cuantitativo para la recopilación y evaluación de datos y combinando diferentes técnicas estadísticas para el análisis, lo cual permitió conocer las necesidades específicas de cada departamento. A partir de esta información se desarrolló la propuesta del proyecto y a través de las fases que conforman a la metodología se detallaron las zonas sin conexión de los diversos departamentos, se presentaron los equipos utilizados en la construcción de la nueva red y del sistema fotovoltaico, la estructura y se aplicaron pruebas para confirmar el correcto funcionamiento del proyecto, logrando como resultado la correcta verificación de la operatividad, tanto de la red WLAN como del sistema fotovoltaico implementado, mostrando un desempeño eficiente en todas las pruebas realizadas.

Los estudios revisados presentan diferentes enfoques sobre cómo integrar energías renovables dentro del contexto universitario:

- **Diversidad Tecnológica:** Los proyectos abarcan desde sistemas exclusivamente solares hasta configuraciones híbridas que combinan varias fuentes energéticas.
- **Impacto Económico:** Todos los estudios destacan cómo las inversiones iniciales pueden ser justificadas por los ahorros a largo plazo y la mejora en la sostenibilidad energética.
- **Adaptación a Contextos Locales:** Cada investigación se adapta a las condiciones específicas del entorno donde se implementa, considerando factores como disponibilidad solar, perfil de carga eléctrico y políticas energéticas locales.

La integración de energías renovables en microrredes universitarias representa una estrategia viable para abordar desafíos energéticos contemporáneos. Los estudios revisados evidencian que:

La implementación adecuada puede resultar económicamente viable a pesar del aumento en LCOE.

Las microrredes no solo mejoran la eficiencia energética, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental y social dentro del ámbito educativo.

La investigación continua es esencial para optimizar estos sistemas y adaptarlos a diferentes contextos geográficos y económicos.

Destacando la importancia creciente de las microrredes alimentadas por energías renovables como parte integral del futuro energético sostenible en instituciones educativas alrededor del mundo. La colaboración entre universidades e investigadores es fundamental para seguir avanzando hacia modelos energéticos más eficientes e inclusivos.

### **1.3. Cuerpo teórico-conceptual**

#### ***1.3.1. Energía solar fotovoltaica***

Se define energía solar fotovoltaica a la electricidad obtenida directamente de la conversión de la energía solar, incluyendo este concepto términos comunes, tal como electricidad, radiación solar, generación directa y conversión. Este tipo de energía se ha convertido en una de las tecnologías más prometedoras para la generación de electricidad limpia y renovable, siendo una de las industrias de mayor crecimiento, basado en factores tales como disminución de costos de los paneles solares, aumento de la eficiencia de conversión y la creciente conciencia sobre la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Sampaio & González, 2017).

En comparación con las fuentes de generación de energía convencionales, como las que utilizan combustibles fósiles, la tecnología fotovoltaica no origina los graves problemas ambientales que estas fuentes causan durante la generación, como el cambio climático, el calentamiento global, la contaminación del aire o la lluvia ácida, entre otros; además, en relación con los combustibles fósiles la energía solar no necesita ser extraída, refinada o transportada al lugar de generación (Hosenuzzaman et al., 2015).

En relación a otras fuentes renovables, la energía solar fotovoltaica presenta una menor incidencia de daños al medio ambiente donde se genera, lo que no ocurre con la energía producida por las centrales hidroeléctricas, donde para la construcción de hidroeléctricas es necesario cambiar el curso de los ríos e inundar extensas áreas de producción de alimentos y bosques. Otro factor importante es el costo de operación, que para la generación de energía hidráulica es alto en comparación con el costo de operación de una planta solar. A pesar de la disminución de la generación durante los días nublados, la energía del sol es abundante, mientras que el volumen de agua en las presas durante los períodos de sequía es limitado y al compararla con la energía eólica, la energía solar fotovoltaica es silenciosa y puede generarse

en zonas urbanas ya que se pueden instalar paneles en los techos de los inmuebles (Ang et al., 2022).

### ***1.3.2. Proceso de generación de energía solar fotovoltaica***

La energía solar fotovoltaica aprovecha la radiación solar para generar electricidad de manera directa, proceso que se fundamenta en el efecto fotovoltaico, que consiste en la generación de una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre ciertos materiales semiconductores, generalmente silicio. Por tanto, al incidir la luz solar sobre una célula fotovoltaica, los fotones o partículas de luz liberan electrones, lo cual genera una corriente eléctrica que puede ser utilizada para alimentar diversos equipos eléctricos (Coelho et al., 2022).

El efecto fotovoltaico fue observado por primera vez por Becquerel en 1839, produciéndose este proceso en materiales conocidos como semiconductores, los cuales presentan dos bandas de energía, en una de ellas se permite la presencia de electrones y en la otra no hay presencia de ellos, es decir, la banda está completamente vacía, denominada banda de conducción. El material semiconductor más comúnmente utilizado es el silicio, segundo elemento más abundante en la Tierra, debido que sus átomos se caracterizan por tener cuatro electrones que se conectan con sus vecinos, creando una red cristalina (Razykov et al., 2011).

La función de la luz solar sobre el efecto fotovoltaico es suministrar una cantidad de energía al electrón más externo para que pueda pasar de la banda de valencia a la banda de conducción del material, generando así electricidad. En el caso específico del silicio, son necesarios 1,12 eV (electrovoltios) para que los electrones superen el GAP, medida que establece la diferencia de energía entre la parte superior de la banda de valencia y la parte inferior de la banda de conducción (Kalogirou, 2017).

Todos los dispositivos fotovoltaicos incorporan una unión PN en un semiconductor, que se desarrolla a través de un fotovoltaico, que son dispositivos que se conocen como células solares o células fotovoltaicas. Por tanto, una celda solar standard posee una unión PN, que es la parte principal de la celda donde la porción receptora de luz es de material tipo N y en la parte inferior el material es de tipo P. El principio de funcionamiento de una célula solar se basa en el efecto fotoeléctrico, bajo iluminación se generan pares de electrones y huecos y, debido a las fuerzas del campo eléctrico local o campo de unión PN, los huecos y los electrones se dirigen a lados

opuestos. Por esa razón, aparece una mayor diferencia de potencial en el semiconductor, permitiendo identificar y clasificar diferentes efectos fotovoltaicos según el origen de los campos eléctricos locales (Al-Alwani et al., 2016; Duarte et al., 2021; Marques Lameirinhas et al., 2022).

### ***1.3.3. Componentes de un sistema fotovoltaico***

Una instalación solar fotovoltaica se compone de muchos dispositivos y de otros tantos factores que deben ser tomados en cuenta, sin embargo, de forma general, una instalación fotovoltaica se estructura con los siguientes componentes:

- **Paneles solares:** Elementos fundamentales de la instalación y su función es la de convertir la energía solar en energía eléctrica o corriente continua, estos se componen de módulos compuestos por múltiples células fotovoltaicas conectadas en serie y en paralelo para aumentar la tensión y la corriente, respectivamente, aportando a la instalación de la potencia necesaria. Existen dos tipos de paneles solares, policristalinos y monocristalinos, siendo estos últimos los de mayor rendimiento y eficacia.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), compatible con la red eléctrica.
- **Controlador o regulador de carga:** Sirve de unión entre los paneles solares y los elementos de consumo de la instalación, encargándose también de proteger a los acumuladores de las sobrecargas, proporcionando en la salida la tensión continua necesaria para la instalación; también regula la carga de las baterías en sistemas aislados y fija el valor de la tensión nominal. Estos controladores pueden ser PWM, indicados para aplicaciones de sistemas pequeños de bajo voltaje y los MPPT, que ajustan la tensión entrante, estos últimos son más eficientes brindando un rendimiento de hasta un 30% más en relación a los primeros.
- **Baterías:** Solo presentes en instalaciones autónomas, tienen la capacidad de transformar la energía química en eléctrica, almacenan la energía generada durante los períodos de alta radiación solar para su uso posterior durante los períodos de baja radiación.
- **Estructura de soporte:** Sujeta los paneles solares a una superficie, como un techo o el suelo, garantizando la correcta orientación e inclinación (Aguirre, 2020).

#### ***1.3.4. Ventajas de la energía solar fotovoltaica***

Aplicar el concepto de desarrollo sostenible en la producción de energía solar tiene una serie de ventajas frente a otras fuentes de energía renovable que están al alcance, siendo la principal ventaja que es prácticamente inagotable, según estimaciones de los científicos el sol estará disponible en cantidades ilimitadas durante al menos 5 mil millones de años. El uso de energía solar reduce significativamente el costo del consumo de electricidad, pudiendo ser este ahorro mayor si el exceso de energía producida se entrega durante el día y la energía se retira del sistema de distribución durante la noche, cuando el precio de la electricidad es significativamente más bajo. También, un segmento importante de las ventajas del uso de energía solar se refleja en los bajos costos de mantenimiento de los sistemas solares durante el período de explotación, cuidando siempre de mantener limpios los paneles solares para que absorban la mayor cantidad de energía solar posible (Stevanović et al., 2022).

El período de explotación de los sistemas solares oscila entre 20 y 25 años, y el período de retorno del capital invertido en la construcción de sistemas solares es de 8 a 10 años, dependiendo del precio y del número de incentivos por la energía suministrada. Por otra parte, considerando que no existen partes móviles, los costos de mantenimiento y posibles reparaciones de los paneles solares en relación a la inversión inicial son bajos durante el período de explotación, reduciéndose el coste de producción de paneles solares en los últimos 15 años en más de un 50%. La tecnología de producción en la industria solar está en constante evolución, gracias a las innovaciones en física cuántica y nanotecnología, por lo que se estima que esta tecnología multiplique la eficiencia y la potencia de salida de los paneles solares. Gracias a lo fácil de trasladar e instalar en casi todas las superficies, la energía solar encuentra aplicaciones en lugares donde no es posible traer o producir electricidad a partir de otras fuentes, especialmente las no renovables (Daus et al., 2019).

De manera resumida se pueden señalar las siguientes ventajas del uso de la energía solar fotovoltaica:

- **Limpia y renovable:** No genera emisiones de gases de efecto invernadero ni otros contaminantes.
- **Abundante:** La radiación solar es una fuente de energía prácticamente inagotable.

- **Modularidad:** Los sistemas fotovoltaicos pueden ser escalados para adaptarse a diferentes necesidades de energía.
- **Bajo mantenimiento:** Los paneles solares requieren poco mantenimiento.
- **Independencia energética:** Permite a los usuarios reducir la dependencia de la red eléctrica convencional.

### *1.3.5. Desafíos de la energía solar fotovoltaica*

El principal desafío que enfrenta este tipo de energía es la incertidumbre sobre la cantidad de rayos solares que recibirán las celdas solares, considerando que el clima puede cambiar en cualquier momento, lo que dificulta determinar cuánta energía debe ser almacenada para uso futuro, debido que, si bien en los periodos nocturnos es cuando más consumo de energía se registra, la luz solar es escasa durante la noche. Adicionalmente, la energía solar enfrenta una serie de obstáculos importantes que podrían limitar la rápida expansión, tal como la tecnología, la política, la economía y la confiabilidad. Por tanto, abordar estos problemas reduce las desventajas y mejora la confiabilidad en esta modalidad novedosa de generación de energía (Ghosh & Yadav, 2021; Soomar et al., 2022).

Basado en el hecho que el objetivo de la optimización es maximizar los beneficios y reducir los costos, es fundamental comprender las ventajas y desventajas de este sistema, por lo que, en este contexto, los investigadores han comenzado a explorar y proponer estrategias y modelos para maximizar las ventajas y minimizar los inconvenientes. Así se tiene que, para superar las dificultades relacionadas con el diseño, la operación y el proceso de los sistemas renovables, se4 ha planteado la combinación de técnicas de optimización tradicionales con enfoques heurísticos novedosos (Allam et al., 2018; Eajal et al., 2017).

Los sistemas fotovoltaicos requieren datos de rendimiento precisos y confiables para evaluar con precisión la producción de energía y la capacidad en las circunstancias operativas actuales, estos datos confiables facilitan la formulación de opciones operativas y de control efectivas. Por otro lado, el principal problema que enfrenta las células solares es la detención en la producción de energía cuando el panel no está expuesto a la luz solar, por ello se han propuesto dispositivos de almacenamiento de energía solar como un medio para compensar la falta de luz y suavizar la producción de energía. Sin embargo, esta tecnología depende de baterías, que

suelen ser voluminosas, enormes y pesadas, ocupan mucho espacio y requieren mantenimiento o incluso reemplazo de forma regular (Peng Li et al., 2016).

De acuerdo a lo anteriormente expresado se pueden resumir los principales desafíos que enfrenta la energía solar fotovoltaica en los siguientes puntos:

- **Intermitencia:** La generación de energía solar depende de las condiciones climáticas, lo que puede generar fluctuaciones en la producción.
- **Costos iniciales:** Aunque los costos han disminuido significativamente, la inversión inicial para instalar un sistema fotovoltaico puede ser elevada.
- **Ocupación de espacio:** La instalación de paneles solares requiere de un área determinada, lo que puede limitar su aplicación en algunos casos.

#### *1.3.6. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica*

El aumento de la eficiencia, la reducción de costos y la menor contaminación de los sistemas fotovoltaicos, han originado que pueda ser aplicado en una amplia gama de aplicaciones, entre las cuales se tiene:

**Sistemas solares domésticos:** Se pueden instalar en cualquier lugar de la vivienda donde haya luz solar, proporcionando electricidad para servicios como iluminación, teléfonos móviles, televisión, ventiladores, cocina, refrigeración, etc., siendo almacenada la electricidad en baterías que permite su empleo durante la noche. Además de los hogares, los sistemas solares domésticos podrían proporcionar energía para escuelas, clínicas o pequeñas empresas (Roche & Blanchard, 2018).

**Sistemas integrados de construcción:** El bajo costo y la buena apariencia de los paneles fotovoltaicos permite que estos sean usados en materiales de construcción como techos, vidrio y revestimientos, por lo que los paneles fotovoltaicos están reemplazando lentamente a los materiales utilizados anteriormente en la construcción de edificios. Algunos especialistas han propuesto diseños de edificaciones que utilizan paneles fotovoltaicos para reducir la carga de enfriamiento al dar sombra al edificio en verano y, al mismo tiempo, permitir la entrada de luz solar durante el invierno para proporcionar luz natural (Roche & Blanchard, 2018).

**Plantas eléctricas:** Debido a los menores costos de mantenimiento, el funcionamiento de plantas alimentadas por energía solar es más económico y tienen un menor impacto ambiental en comparación con la bomba alimentada por diésel (Nikzad et al., 2019).

**Plantas desalinizadoras:** Basado en la energía fotovoltaica se han diseñado plantas de destilación totalmente alimentadas con energía solar, usadas generalmente para tratar la salmuera rechazada obtenida de la planta desalinizadora comunes (Razykov et al., 2011).

**Investigación espacial:** La tecnología solar fotovoltaica también ha sido utilizada en el espacio, mediante la creación de diseños novedosos livianos fabricados para una fuente de energía satelital giratoria que suministra la energía necesaria para la transmisión a la Tierra utilizando una gran torre en forma de microondas, cuyo funcionamiento se basa en el estudio de la generación de energía en cuerpos terrestres durante la noche utilizando el flujo de energía de la luz reflejada de objetos planetarios cercanos, de acuerdo a la última tecnología de células solares de baja intensidad y baja iluminación (Rathore et al., 2021).

### ***1.3.7. Microrredes***

Se define como microrredes al grupo de cargas interconectadas y recursos energéticos distribuidos dentro de límites eléctricos claramente definidos que actúa como una única entidad controlable con respecto a la red. Es decir, una microrred es un sistema eléctrico de pequeña escala que puede operar de forma conectada o desconectada de la red eléctrica principal. Los diversos modos de operación de seguimiento y formación de red les permiten conectarse y desconectarse de la red para permitirle funcionar tanto en modo conectado a la red como en modo isla, lo que indica que, en caso de cortes de la red, pueden funcionar como de manera aislada para brindar soporte continuo a los clientes internos, mejorando así significativamente la resiliencia de la red en conjunto (Chen et al., 2021).

Las microrredes surgen como paradigma de operación emergente en los últimos años, brindando una solución potencial por medio de la construcción de una infraestructura jerárquica para administrar los sistemas de distribución del recurso energético. La principal función de una microrred es la de proporcionar una fuente de energía confiable y sostenible, mejorar la calidad de la energía, aumentar la eficiencia energética y mejorar la resiliencia del sistema eléctrico; generalmente se componen de fuentes de generación distribuida, como

paneles solares, turbinas eólicas, sistemas de almacenamiento de energía y cargas eléctricas (Kwasinski et al., 2012).

### ***1.3.8. Tipos de microrredes***

Las microrredes pueden ser aisladas, conectadas a la red o híbridas. Las microrredes aisladas operan de forma independiente de la red principal, permitiendo aumentar la confiabilidad del suministro de energía al desconectarse en caso de falla de la red o reducción de la calidad de la energía. Una microrred conectada puede intercambiar energía con la red para mantener el suministro en la microrred local, destacando que el flujo de energía puede ser bidireccional y, finalmente, las microrredes híbridas combinan características de ambas, son sistemas energéticos avanzados que combinan múltiples fuentes de energía renovable, como paneles solares, turbinas eólicas y almacenamiento de energía, dentro de una infraestructura de microrred localizada y autónoma (Shahgholian, 2021).

### ***1.3.9. Sistemas de almacenamiento de energía***

Los sistemas de almacenamiento de energía son tecnologías clave en la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible, permitiendo almacenar el exceso de energía generado, principalmente por fuentes renovables como la solar y la eólica, para ser usados posteriormente cuando la demanda es mayor o cuando la generación es menor. Los sistemas de almacenamiento de energía se pueden clasificar según la forma de energía almacenada, el uso, por la duración del almacenamiento y por la eficiencia del almacenamiento. Además, en función de la forma de energía almacenada pueden ser en forma de campos térmicos, mecánicos, químicos, electroquímicos, eléctricos y magnéticos (Mitali et al., 2022).

### ***1.3.10. Componentes de los sistemas de almacenamiento de energía***

Un sistema de almacenamiento de energía típico está compuesto por:

- **Baterías:** Son el corazón del sistema y almacenan la energía eléctrica. Las tecnologías más comunes incluyen las baterías de iones de litio, las baterías de flujo y las baterías de sodio-azufre.

- **Sistema de gestión de baterías (BMS):** Monitorea y controla el estado de las baterías, asegurando su funcionamiento seguro y eficiente.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua de las baterías en corriente alterna para su conexión a la red eléctrica.
- **Sistema de control:** Gestiona la carga y descarga de las baterías, así como la interacción con la red eléctrica.

### *1.3.11. Ventajas de los sistemas de almacenamiento de energía*

Los sistemas de almacenamiento de energía están diseñados para soportar sucesos imprevistos durante las horas de mayor requerimiento energético y de menor actividad, logrando la integración de sistemas de almacenamiento de energía con otras fuentes de generación de energía una reducción significativa de la producción de electricidad, así como una disminución de las emisiones de carbono a la atmósfera durante la producción de energía. Dado que no se utiliza toda la electricidad generada, almacenar el exceso de energía durante las horas de menor actividad mejorará significativamente la eficiencia del sistema, además de mantener las diferentes demandas de energía en diferentes momentos del día (Olabi et al., 2021).

De manera general se pueden señalar como ventajas de los sistemas de almacenamiento de energía los siguientes aspectos:

- **Integración de energías renovables:** Permiten una mayor penetración de las energías renovables en la red eléctrica, al almacenar el exceso de energía generado en momentos de baja demanda.
- **Estabilización de la red:** Ayudan a equilibrar la oferta y la demanda de energía, mejorando la estabilidad de la red eléctrica.
- **Resiliencia:** Proporcionan una fuente de energía de respaldo en caso de interrupciones en el suministro eléctrico.
- **Reducción de costos:** Al optimizar el uso de la energía y reducir la necesidad de construir nuevas centrales eléctricas, los Sistemas de Almacenamiento de Energía pueden contribuir a reducir los costos de energía.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Enfoque metodológico de la investigación**

Este estudio se aborda desde un enfoque mixto debido a la necesidad de combinar el análisis cuantitativo y cualitativo para obtener una visión integral. La parte cuantitativa se justifica en la recopilación y análisis de datos meteorológicos, los cuales se procesarán para optimizar el diseño de la microred fotovoltaica. Mientras tanto, la dimensión cualitativa se centra en el análisis del espacio físico disponible y su adecuación a los requerimientos técnicos del proyecto, así como en la percepción de los actores involucrados en su implementación.

Este estudio es de tipo descriptivo y de campo ya que se analiza la viabilidad de la ampliación de la microred a partir de la observación directa y el levantamiento de información específica del entorno físico. Asimismo, el diseño también puede ser considerado experimental debido a las simulaciones que se llevarán a cabo para determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico bajo diferentes condiciones meteorológicas.

#### **2.2. Población, unidades de estudio y muestra**

La población de este estudio está constituida por la infraestructura existente en el Universitario Rumiñahui, la cual ya cuenta con una microred fotovoltaica. La unidad de estudio se refiere específicamente al espacio físico disponible en el campus universitario para la instalación de los nuevos paneles solares.

El criterio muestral se basa en la selección de diferentes bases de datos meteorológicos de libre acceso y confiables, tales como datos de radiación solar y temperatura, proporcionados por bases de datos internacionales como PVGIS, METEONOR Y NASA. Asimismo, se tomarán en cuenta las características de las áreas seleccionadas dentro del campus, como su orientación y disponibilidad de espacio.

## **2.3. Métodos y técnicas empleadas para la recolección de información**

### **2.3.1. Métodos**

**Observación directa:** Se realizó una evaluación in situ del espacio físico disponible, registrando las características esenciales para la instalación de los paneles solares, como sombras, inclinación y orientación.

**Análisis documental:** Se empleó estudios previos sobre radiación solar y comportamiento de microredes fotovoltaicas en contextos similares, permitiendo realizar proyecciones a partir de estas referencias.

**Simulación computacional:** Se usó herramientas de simulación, como PVsyst para el diseño de la instalación de los nuevos paneles y determinar su rendimiento bajo diferentes condiciones meteorológicas.

### **2.3.2. Técnicas de recolección de información**

**Observación estructurada:** Esta técnica se aplicó durante la visita de campo a las áreas designadas dentro del campus universitario.

**Recopilación de datos meteorológicos:** Se descargaron series históricas de bases de datos meteorológicos, para determinar la radiación solar y la temperatura promedio en la zona de estudio. Esto permitió determinar la factibilidad de la ampliación y calcular la generación de energía fotovoltaica.

### **2.3.3. Formas de procesamiento de la información**

La información recolectada se procesará de la siguiente manera:

**Organización y tabulación de datos:** Los datos meteorológicos recolectados se organizaron en una base de datos, donde se incluirán variables como radiación solar, temperatura promedio, y datos históricos de viento. Estos datos serán tabulados en función de los meses y horas del día para identificar patrones relevantes.

**Análisis de datos:** Se analizaron los datos meteorológicos para determinar la cantidad de energía que podría generar la ampliación de la microred en diferentes escenarios. El software de simulación (PVsyst) permitirá identificar la eficiencia del sistema en función de las condiciones meteorológicas.

## CAPÍTULO III

### 3. PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

#### 3.1. Elección del emplazamiento

El proyecto fotovoltaico aislado de la red consiste en la instalación de un SFAI, en Especificar ubicación.

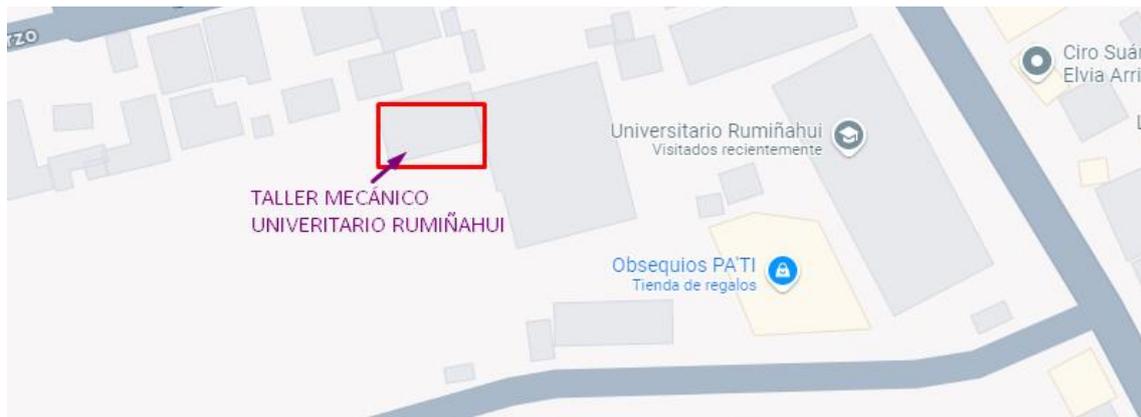
- Provincia: Pichincha
- Cantón: Rumiñahui
- Parroquia: Sangolquí
- Dirección: Av. Atahualpa 1701, Sangolquí

La ubicación geográfica, también conocida como localización geográfica o situación geográfica, es la posición de un lugar o punto específico en la superficie terrestre. Se expresa mediante coordenadas geográficas, que son un sistema de referencia que utiliza dos valores angulares: latitud y longitud. A continuación, se detalla la latitud y longitud de una ubicación específica.

- Latitud: -0.33405 (grados)
- Longitud: -78.45217(grados)

Coordenadas en grados, minutos y segundos (DMS) sería la siguiente:

- Latitud: 0° 20' 258"
- Longitud: 78° 27' 7.811". <https://www.coordenadas-gps.com/mapa-personalizado>



**Figura 1:** Ubicación del emplazamiento

**Fuente:** Google Maps.

### **3.2. Datos de radiación**

Con el objetivo de caracterizar el recurso solar en la región del Universitario Rumiñahui, se han analizado los datos de radiación provenientes de las bases de datos Meteonorm 8.1, NASA y PVGIS TMY 5.2. Esta información detallada resulta de gran utilidad para diversas aplicaciones, tales como la evaluación del potencial de generación de energía solar, el diseño de sistemas fotovoltaicos, el estudio de los efectos de la radiación solar en los ecosistemas y la planificación de actividades al aire libre. Los resultados obtenidos a partir de estas bases de datos proporcionan una visión integral de la distribución espacial y temporal de la radiación solar en la zona.

### **3.3. Bases de datos**

#### ***3.3.1. Base de datos meteorológicos METEONORM***

Es una base de datos meteorológicos de renombre mundial que proporciona una amplia gama de información climática histórica y actual. Esta herramienta es invaluable para una variedad de aplicaciones, desde la evaluación del potencial energético solar hasta la planificación urbana y la agricultura.

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Temperatura</b> °C	<b>Velocidad del viento</b> m/s	<b>Turbidez Linke</b> [-]	<b>Humedad relativa</b> %
Enero	5.80	2.07	14.4	2.70	3.251	77.0
Febrero	5.00	2.49	14.3	2.59	3.438	78.5
Marzo	5.29	2.82	14.3	2.40	3.307	78.5
Abril	5.32	2.42	14.0	2.19	3.161	80.7
Mayo	5.55	1.99	14.3	2.60	3.059	77.4
Junio	5.67	2.00	13.8	3.19	2.951	73.9
Julio	5.86	1.80	13.8	3.50	3.004	69.4
Agosto	6.19	2.07	14.1	3.70	3.355	65.6
Septiembre	5.64	2.23	14.1	3.39	3.492	67.8
Octubre	5.06	2.41	14.5	2.69	3.439	72.6
Noviembre	4.93	2.38	14.1	2.30	3.401	76.9
Diciembre	5.35	2.17	14.3	2.49	3.385	77.4
<b>Año</b> ?	<b>5.48</b>	<b>2.23</b>	<b>14.2</b>	<b>2.8</b>	<b>3.270</b>	<b>74.6</b>
	Pegar	Pegar	Pegar	Pegar		

**Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%**

**Figura 2:** Meteonorm 8.1 Caso de estudio N° 1  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYS.

### 3.3.2. Base de datos meteorológicas NASA

La NASA, además de ser pionera en la exploración espacial, ha desarrollado una serie de herramientas y bases de datos que permiten estudiar y comprender mejor nuestro planeta. Una de estas herramientas son sus bases de datos meteorológicas, que ofrecen una visión global y detallada de los patrones climáticos.

La NASA pone a disposición del público una gran cantidad de datos climáticos recopilados a través de satélites y estaciones terrestres. Esta información es crucial para:

- Al analizar series de tiempo de temperatura, precipitación y otros parámetros climáticos, los científicos pueden identificar tendencias a largo plazo y evaluar los impactos del cambio climático.
- Los datos de la NASA son utilizados por los modelos climáticos para mejorar las predicciones meteorológicas a corto y mediano plazo.

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Temperatura</b> °C
Enero	4.14	2.16	17.5
Febrero	4.35	2.27	17.6
Marzo	4.55	2.34	18.0
Abril	4.33	2.22	17.9
Mayo	4.12	2.05	17.8
Junio	4.02	1.94	17.3
Julio	4.27	1.98	17.5
Agosto	4.46	2.12	18.6
Septiembre	4.27	2.28	19.3
Octubre	4.24	2.26	19.3
Noviembre	4.30	2.18	18.3
Diciembre	3.98	2.11	17.6
<b>Año</b> ?	<b>4.25</b>	<b>2.16</b>	<b>18.0</b>
	Pegar	Pegar	Pegar

**Figura 3:** NASA-SSE satellite data 1983-2005 Caso de estudio N° 2  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

### 3.3.3. Base de datos meteorológicos PVGIS

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) es una herramienta en línea desarrollada por la Comisión Europea que proporciona información detallada sobre el recurso solar en cualquier punto del planeta. Esta base de datos resulta invaluable para el diseño, evaluación y optimización de sistemas fotovoltaicos.

- PVGIS ofrece datos históricos y proyectados de irradiación solar global, directa y difusa, lo que permite estimar la producción de energía de un sistema fotovoltaico.
- Genera mapas interactivos que muestran la distribución espacial del recurso solar a diferentes escalas.
- Permite simular el rendimiento de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos bajo diversas condiciones climáticas.
- Ofrece una variedad de herramientas para analizar los datos, como gráficos, tablas y estadísticas.

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Temperatura</b> °C	<b>Velocidad del viento</b> m/s	<b>Humedad relativa</b> %
Enero	5.03	2.46	12.0	0.91	85.4
Febrero	5.11	2.70	12.4	0.91	87.1
Marzo	4.91	2.73	13.5	0.91	82.7
Abril	4.58	2.60	12.6	0.89	85.0
Mayo	4.97	2.41	13.2	0.95	83.2
Junio	4.88	2.19	12.7	0.90	78.6
Julio	5.84	1.83	12.8	1.11	72.2
Agosto	5.78	2.19	13.0	1.00	66.8
Septiembre	6.51	1.81	13.9	0.96	69.8
Octubre	5.15	2.31	13.0	0.97	80.2
Noviembre	5.75	2.07	12.8	0.95	84.1
Diciembre	5.43	2.07	12.5	0.90	83.5
<b>Año</b>	<b>5.33</b>	<b>2.28</b>	<b>12.9</b>	<b>0.9</b>	<b>79.9</b>

**Figura 4:** Base de datos meteorológicos PVGIS Caso de estudio N° 3

**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

### 3.4. Datos fundamentales para diseño

#### 3.4.1. Datos de los CEPROBYS

El proyecto fotovoltaico aislado de la red consiste en la instalación de un SFAI, en Especificar ubicación.

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Rumiñahui
- Parroquia: Sangolquí
- Dirección: Av. Atahualpa 1701, Sangolquí

#### 3.4.2. Equipamiento de CEPROBYS

En el equipamiento de la vivienda consta el número de cargas a utilizar y la potencia de cada uno de los equipos detallados.

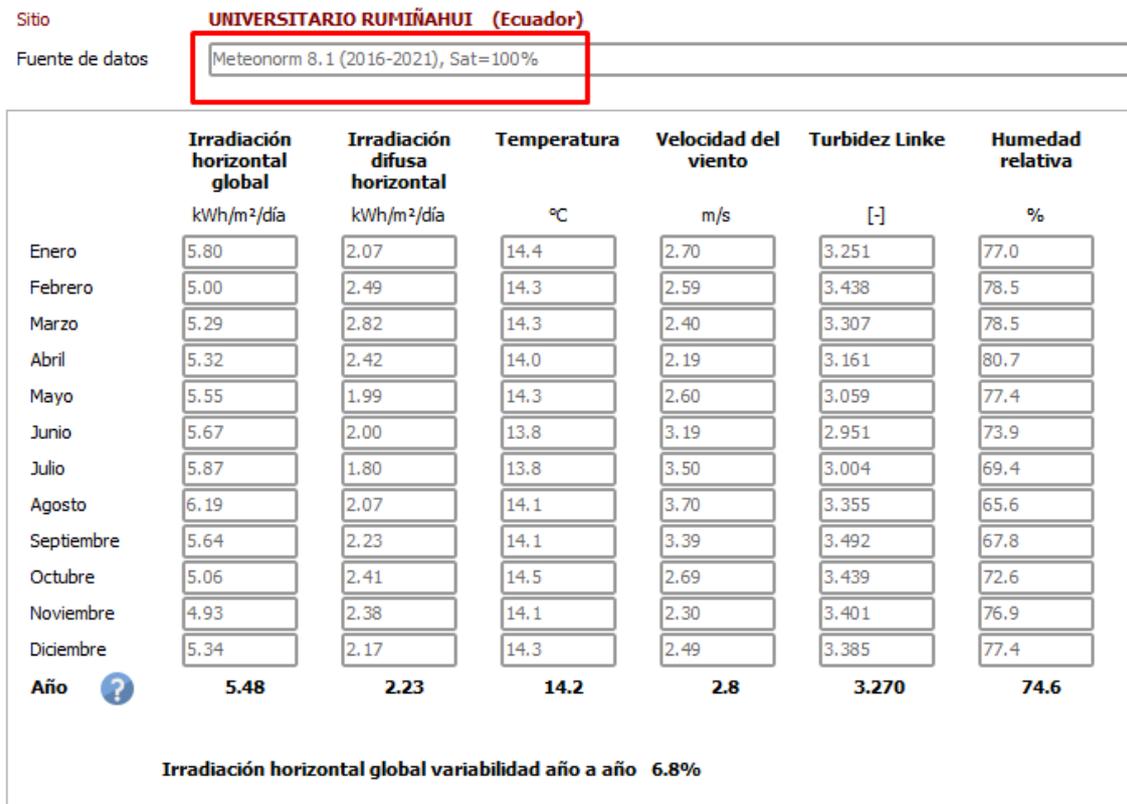
**Tabla 2:** Equipamiento

Equipamiento	N° de equipos	Potencia (W)	Uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Lámparas alta potencia led	8	200/lamp	4	6400
Reflectores	2	300/reflet	12	7200
Tubos led + focos led	8	24/lamp	9	1728
Cargas CEPROBYS	1	2846	6	17076
<b>Total de energía diaria</b>				<b>32404</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.3. Radiación diaria

La radiación diaria, también denominada insolación total o radiación solar global, se refiere a la cantidad total de energía radiante que incide sobre una superficie horizontal durante un periodo de 24 horas. Esta energía se expresa comúnmente en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>) o julios por metro cuadrado (J/m<sup>2</sup>).



**Figura 5:** Base de datos con radiación diaria Caso de estudio N°1

Fuente: Realizado en el software PVSYSY.

Sitio **UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI (Ecuador)**  
 Fuente de datos **NASA-SSE satellite data 1983-2005**

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Temperatura</b> °C
Enero	4.14	2.16	17.5
Febrero	4.35	2.27	17.6
Marzo	4.55	2.34	18.0
Abril	4.33	2.22	17.9
Mayo	4.12	2.05	17.8
Junio	4.02	1.94	17.3
Julio	4.27	1.98	17.5
Agosto	4.46	2.12	18.6
Septiembre	4.27	2.28	19.3
Octubre	4.24	2.26	19.3
Noviembre	4.30	2.18	18.3
Diciembre	3.98	2.11	17.6
<b>Año</b> ?	<b>4.25</b>	<b>2.16</b>	<b>18.0</b>
	Pegar	Pegar	Pegar

**Figura 6:** Base de datos con radiación diaria Caso de estudio N°2  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYS.

Sitio **UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI (Ecuador)**  
 Fuente de datos **PVGIS TMY 5.2**

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /día	<b>Temperatura</b> °C	<b>Velocidad del viento</b> m/s	<b>Humedad relativa</b> %
Enero	5.03	2.46	12.0	0.91	85.4
Febrero	5.11	2.70	12.4	0.91	87.1
Marzo	4.91	2.73	13.5	0.91	82.7
Abril	4.58	2.60	12.6	0.89	85.0
Mayo	4.97	2.41	13.2	0.95	83.2
Junio	4.88	2.19	12.7	0.90	78.6
Julio	5.84	1.83	12.8	1.11	72.2
Agosto	5.78	2.19	13.0	1.00	66.8
Septiembre	6.51	1.81	13.9	0.96	69.8
Octubre	5.15	2.31	13.0	0.97	80.2
Noviembre	5.75	2.07	12.8	0.95	84.1
Diciembre	5.43	2.07	12.5	0.90	83.5
<b>Año</b> ?	<b>5.33</b>	<b>2.28</b>	<b>12.9</b>	<b>0.9</b>	<b>79.9</b>

**Figura 7:** Base de datos con radiación diaria Caso de estudio N°3  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYS.

### 3.4.4. Radiación mensual

La radiación mensual, también conocida como insolación mensual o radiación solar global mensual, es la cantidad total de energía radiante que incide sobre una superficie horizontal a lo largo de un mes. Este valor incluye toda la radiación solar recibida, tanto la radiación directa proveniente del sol como la radiación difusa dispersada por la atmósfera.

La radiación mensual se expresa generalmente en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>) o en julios por metro cuadrado (J/m<sup>2</sup>), y su magnitud varía dependiendo de varios factores como la latitud, la época del año, la altitud, las condiciones meteorológicas y la orientación de la superficie receptora.

Este parámetro es fundamental para aplicaciones como la planificación y diseño de sistemas de energía solar, el estudio del clima y la evaluación del potencial solar en diversas regiones. Además, es utilizado para estimar la eficiencia energética de paneles solares y para analizar el impacto de la radiación en el crecimiento de cultivos en la agricultura, así como en otros sistemas que dependen de la energía solar.

Sitio: **UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI (Ecuador)**  
Fuente de datos: **Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100%**

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /mes	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /mes	<b>Temperatura</b> °C	<b>Velocidad del viento</b> m/s	<b>Turbidez Linke</b> [-]	<b>Humedad relativa</b> %
Enero	179.8	64.2	14.4	2.70	3.251	77.0
Febrero	140.0	69.8	14.3	2.59	3.438	78.5
Marzo	164.0	87.4	14.3	2.40	3.307	78.5
Abril	159.7	72.7	14.0	2.19	3.161	80.7
Mayo	172.2	61.6	14.3	2.60	3.059	77.4
Junio	170.2	59.9	13.8	3.19	2.951	73.9
Julio	181.8	55.8	13.8	3.50	3.004	69.4
Agosto	191.8	64.1	14.1	3.70	3.355	65.6
Septiembre	169.2	66.8	14.1	3.39	3.492	67.8
Octubre	157.0	74.7	14.5	2.69	3.439	72.6
Noviembre	147.9	71.3	14.1	2.30	3.401	76.9
Diciembre	165.7	67.2	14.3	2.49	3.385	77.4
<b>Año</b>	<b>1999.2</b>	<b>815.4</b>	<b>14.2</b>	<b>2.8</b>	<b>3.270</b>	<b>74.6</b>

**Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%**

**Figura 8:** Base de datos con radiación mensual Caso de estudio N°1  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

Sitio **UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI (Ecuador)**  
 Fuente de datos **NASA-SSE satellite data 1983-2005**

	<b>Irradiación horizontal global</b>	<b>Irradiación difusa horizontal</b>	<b>Temperatura</b>
	kWh/m <sup>2</sup> /mes	kWh/m <sup>2</sup> /mes	°C
Enero	128.3	67.0	17.5
Febrero	121.8	63.6	17.6
Marzo	141.1	72.5	18.0
Abril	129.9	66.6	17.9
Mayo	127.7	63.6	17.8
Junio	120.6	58.2	17.3
Julio	132.4	61.4	17.5
Agosto	138.3	65.7	18.6
Septiembre	128.1	68.4	19.3
Octubre	131.4	70.1	19.3
Noviembre	129.0	65.4	18.3
Diciembre	123.4	65.4	17.6
<b>Año</b>	<b>1552.0</b>	<b>787.8</b>	<b>18.0</b>
	Pegar	Pegar	Pegar

**Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%**

**Figura 9:** Base de datos con radiación mensual Caso de estudio N°2

**Fuente:** Realizado en el software PVSYS.

Sitio **UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI (Ecuador)**  
 Fuente de datos **PVGIS TMY 5.2**

	<b>Irradiación horizontal global</b>	<b>Irradiación difusa horizontal</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Velocidad del viento</b>	<b>Humedad relativa</b>
	kWh/m <sup>2</sup> /mes	kWh/m <sup>2</sup> /mes	°C	m/s	%
Enero	155.8	76.3	12.0	0.91	85.4
Febrero	143.1	75.6	12.4	0.91	87.1
Marzo	152.2	84.6	13.5	0.91	82.7
Abril	137.5	78.1	12.6	0.89	85.0
Mayo	154.0	74.8	13.2	0.95	83.2
Junio	146.3	65.8	12.7	0.90	78.6
Julio	180.9	56.7	12.8	1.11	72.2
Agosto	179.1	67.9	13.0	1.00	66.8
Septiembre	195.3	54.2	13.9	0.96	69.8
Octubre	159.6	71.6	13.0	0.97	80.2
Noviembre	172.4	62.1	12.8	0.95	84.1
Diciembre	168.3	64.1	12.5	0.90	83.5
<b>Año</b>	<b>1944.7</b>	<b>831.9</b>	<b>12.9</b>	<b>0.9</b>	<b>79.9</b>

**Figura 10:** Base de datos con radiación mensual Caso de estudio N°3

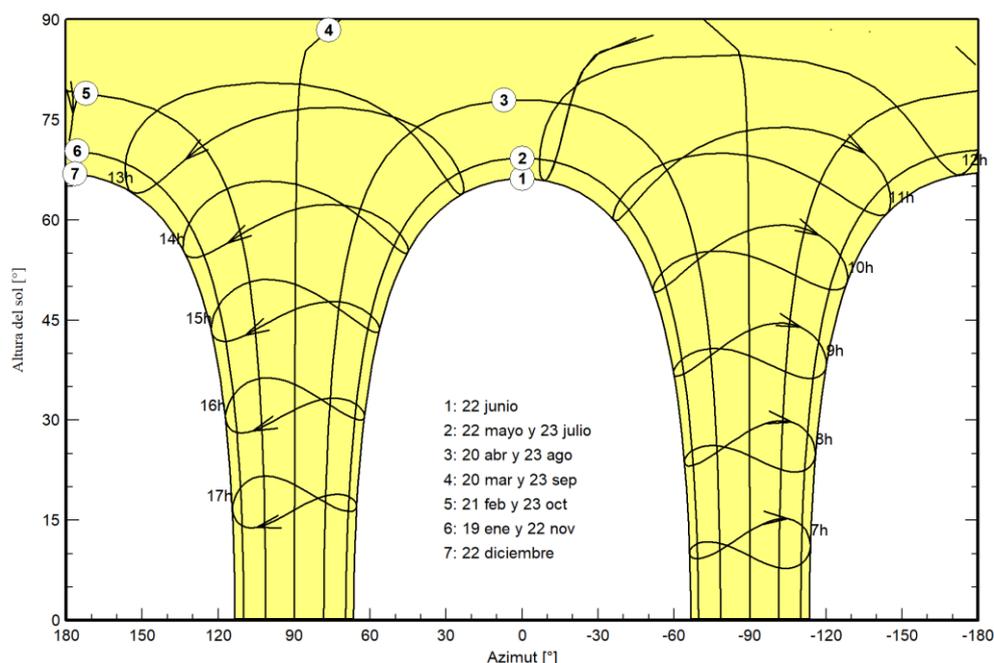
**Fuente:** Realizado en el software PVSYS.

### 3.4.5. Carta solar del sitio

Una carta solar del sitio es una representación gráfica que muestra la trayectoria del sol en el cielo en relación con una ubicación geográfica específica a lo largo de un día determinado del año. Esta herramienta visual permite observar cómo cambia la posición del sol, tanto en términos de altitud como de azimut, a lo largo del día y en distintas épocas del año. Se utiliza principalmente para analizar la cantidad de radiación solar directa que incide sobre un sitio en diferentes momentos, lo que es crucial para evaluar el potencial de aprovechamiento de energía solar en esa localización. La carta solar facilita la identificación de posibles obstrucciones, como edificios o vegetación, que podrían generar sombras y reducir la captación de energía solar.

Además, la carta solar es valiosa para optimizar el diseño y la orientación de paneles solares, ventanas, edificios y otros elementos arquitectónicos, permitiendo maximizar la captación de radiación durante los meses clave y minimizar el sobrecalentamiento en periodos cálidos. También es utilizada en proyectos de agricultura, paisajismo y en el diseño de sistemas pasivos de climatización para aprovechar al máximo la luz natural y la energía solar.

Trayectorias solares en UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI, (Lat. -0.3394° S, long. -78.4418° W, alt. 2525 m) - Hora Local

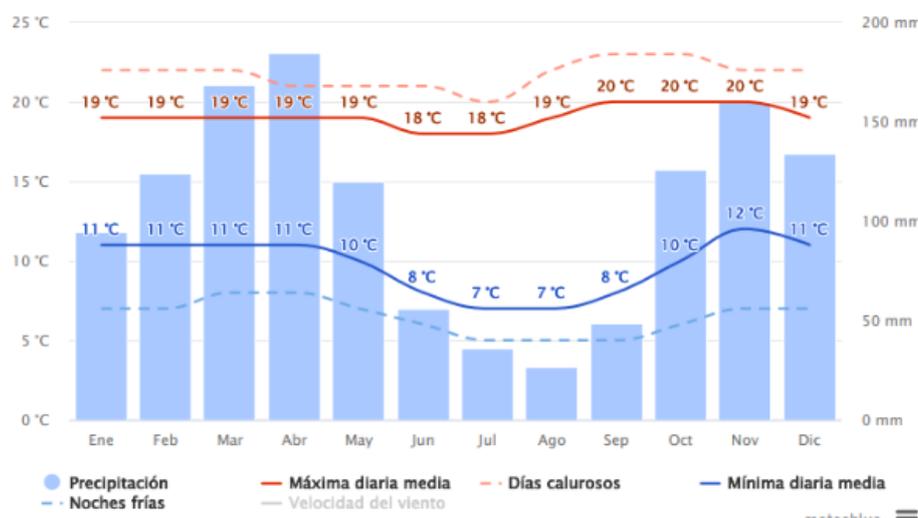


**Figura 11:** Carta solar del sitio  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

### 3.4.6. Datos meteorológicos del sitio

Los diagramas climáticos de Meteoblue se basan en simulaciones meteorológicas horarias acumuladas a lo largo de 30 años, ofreciendo un análisis detallado de los patrones climáticos típicos en cualquier lugar del planeta. Estos diagramas proporcionan valiosas indicaciones sobre las condiciones atmosféricas promedio, incluyendo temperatura, precipitaciones, radiación solar (insolación) y velocidad del viento. Los datos meteorológicos simulados cuentan con una resolución espacial de aproximadamente 30 kilómetros, lo que permite un análisis global con gran precisión. Sin embargo, debido a esta resolución, no siempre capturan con exactitud todos los fenómenos meteorológicos locales, como tormentas aisladas, vientos locales, tornados o microclimas específicos, que pueden variar considerablemente en áreas urbanas, montañosas o costeras. Estas diferencias locales pueden deberse a factores como la topografía, la proximidad al agua y la presencia de grandes infraestructuras urbanas, que influyen en la meteorología de forma más específica que lo que un modelo global puede representar.

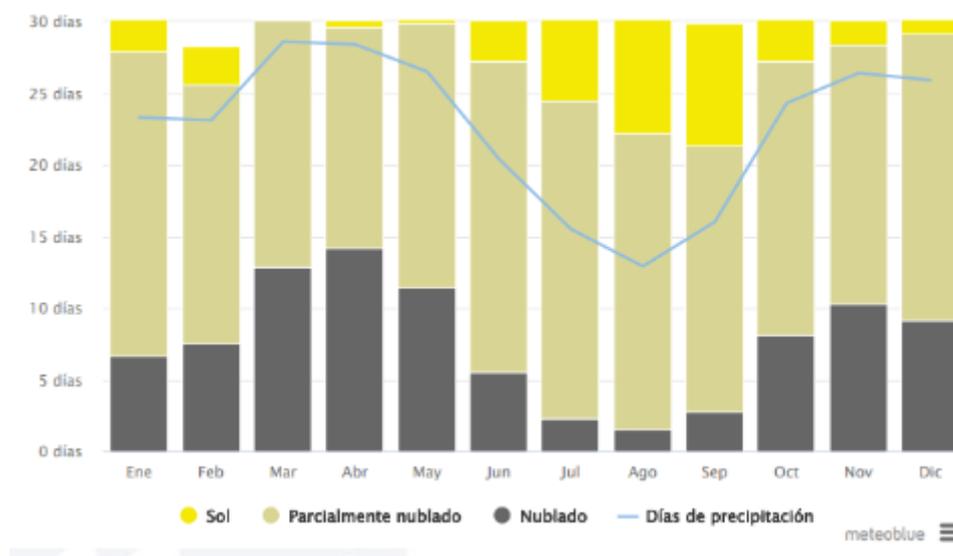
Pese a estas limitaciones, los diagramas climáticos de Meteoblue son una herramienta valiosa para obtener una visión general confiable de las tendencias y condiciones climáticas esperadas en una región, siendo ampliamente utilizados en diversos campos como la planificación urbana, la agricultura, la energía renovable y el turismo. Estos diagramas ofrecen una aproximación robusta para entender el comportamiento climático a lo largo del tiempo, lo que facilita la toma de decisiones informadas en diferentes sectores.



**Figura 12:** Temperaturas medias y precipitaciones  
**Fuente:** Elaboración Propia

La "máxima diaria promedio" (línea roja continua) representa el valor promedio de la temperatura máxima diaria para cada mes en Sangolquí. De manera similar, la "mínima diaria promedio" (línea azul continua) refleja el promedio de la temperatura mínima diaria. Las líneas discontinuas roja y azul muestran, respectivamente, el promedio del día más cálido y de la noche más fría de cada mes durante los últimos 30 años. Al planificar unas vacaciones, se puede tener en cuenta estas temperaturas promedio, así como estar preparado para posibles variaciones con días más calurosos o noches más frías.

### 3.4.7. Cielo nublado, sol y días de precipitación



**Figura 13:** Días nublados y de precipitación

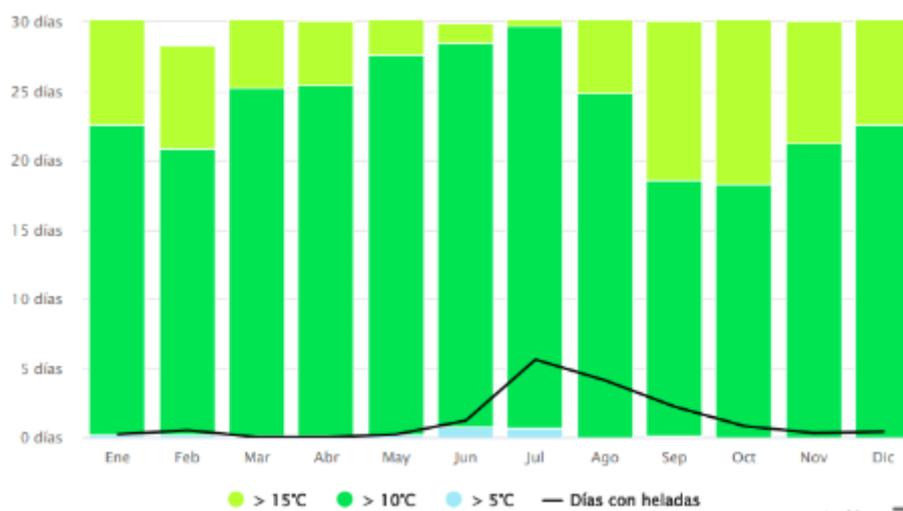
**Fuente:** Elaboración Propia

El gráfico muestra la cantidad mensual de días soleados, parcialmente nublados, nublados y con precipitaciones. Se considera un día soleado cuando la cobertura de nubes es inferior al 20%, un día parcialmente nublado cuando la cobertura está entre el 20% y el 80%, y un día nublado cuando más del 80% del cielo está cubierto por nubes.

### 3.4.8. Temperaturas máximas

El diagrama de temperatura máxima en Sangolquí indica la cantidad de días por mes en los que se alcanzan determinados rangos de temperatura. Este gráfico permite visualizar la frecuencia con la que las temperaturas máximas superan ciertos umbrales, proporcionando una idea clara de los patrones térmicos a lo largo del año.

A través de esta información, es posible identificar los meses más cálidos y los picos de temperatura, lo que resulta útil para planificar actividades al aire libre, evaluar la demanda energética en temporadas de calor, y prever condiciones favorables o desfavorables para la agricultura o el turismo. Además, este tipo de análisis facilita la detección de posibles tendencias de cambio climático si se observa un aumento sostenido de las temperaturas máximas en períodos prolongados.



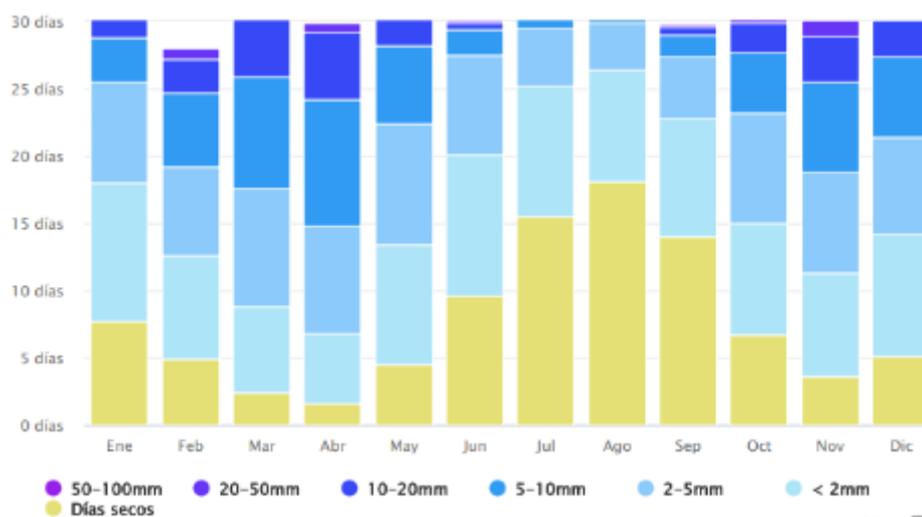
**Figura 14:** Temperaturas máximas  
**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.4.9. Cantidad de precipitación

El diagrama de precipitación para Sangolquí representa el número de días por mes en los que se registran diferentes cantidades de precipitación. Este gráfico ofrece una visión detallada de la frecuencia y el volumen de las lluvias a lo largo del año, permitiendo identificar los meses más húmedos y aquellos con menor actividad pluvial.

En climas tropicales o zonas influenciadas por monzones, es posible que los valores reflejados en el diagrama no capturen con total precisión la intensidad de las precipitaciones, lo que podría llevar a una subestimación de los eventos más extremos. No obstante, este tipo de diagrama sigue siendo una herramienta útil para comprender los patrones estacionales de lluvia, lo que es clave en la planificación de actividades agrícolas, la gestión de recursos hídricos y la preparación para posibles inundaciones o sequías.

Además, el análisis de estos datos a lo largo del tiempo permite detectar cambios en las tendencias de precipitación, lo que puede ser indicativo de variaciones climáticas o del impacto del cambio climático en la región.



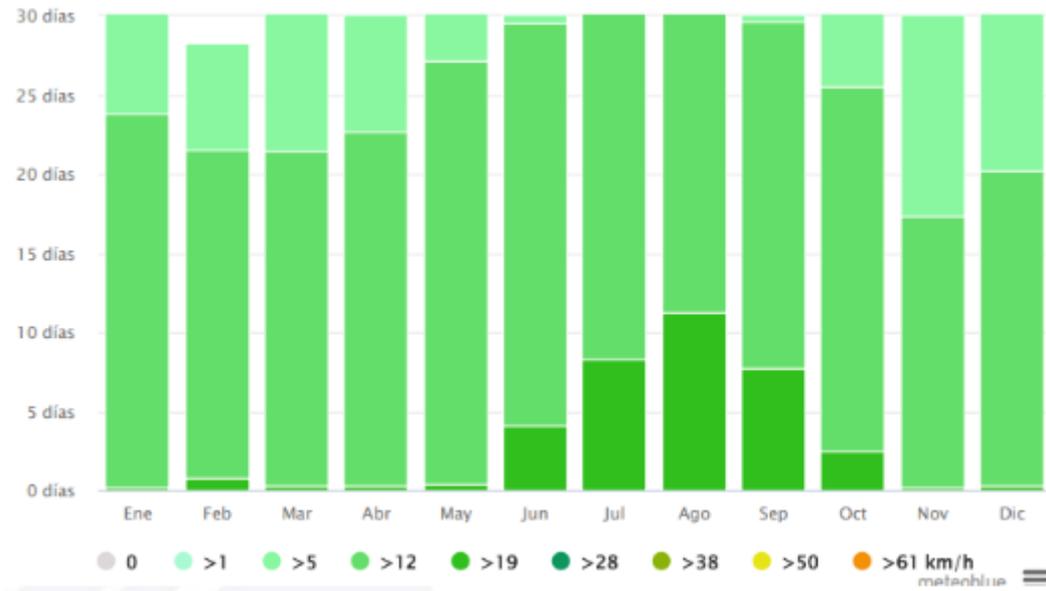
**Figura 15:** Cantidad de precipitación  
**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.4.10. Velocidad del viento

El diagrama para Sangolquí ilustra la cantidad de días mensuales en los que se registran velocidades de viento dentro de ciertos rangos específicos. Este gráfico proporciona una visión clara sobre la frecuencia con la que se alcanzan diferentes velocidades de viento a lo largo del año, desglosada por meses.

La información presentada permite identificar patrones estacionales en la intensidad del viento, lo que puede ser útil para diversas aplicaciones, como la planificación de actividades al aire libre, la evaluación del potencial para la energía eólica, y la gestión de riesgos asociados con condiciones meteorológicas adversas. Además, al analizar las variaciones en la velocidad del viento a lo largo del año, se pueden detectar posibles cambios en los patrones climáticos locales o regionales, lo que podría tener implicaciones para la infraestructura y las actividades económicas en la región.

Este diagrama también ayuda a los profesionales y responsables de la planificación a tomar decisiones informadas sobre la construcción de estructuras que deben resistir vientos fuertes, y a prepararse para condiciones meteorológicas extremas que podrían afectar la seguridad y la eficiencia operativa en diversas industrias.



**Figura 16:** Velocidad de viento  
**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.4.11. Rosa de los vientos

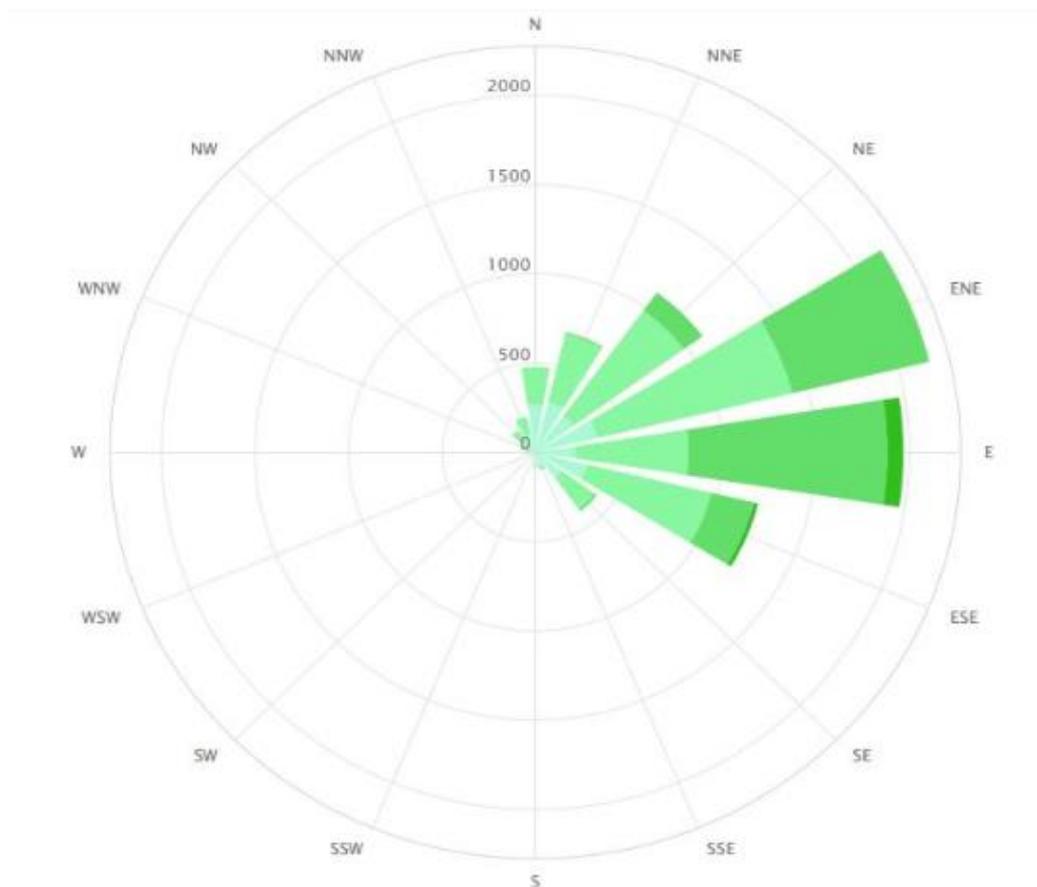
La Rosa de los Vientos para Sangolquí representa el número de horas anuales en las que el viento sopla desde diferentes direcciones. Por ejemplo, si se indica una dirección como el Suroeste (SO), significa que el viento proviene del Suroeste y se dirige hacia el Noreste (NE).

Este gráfico proporciona una visualización detallada de la prevalencia y duración de los vientos provenientes de cada dirección a lo largo del año, permitiendo identificar las direcciones predominantes del viento y cómo varían con las estaciones.

Para contextualizar, un caso similar a lo que se puede observar en la Rosa de los Vientos es el del Cabo de Hornos, el punto más austral de América del Sur. En esta región, los vientos del Oeste son especialmente intensos y constantes, lo que representa un desafío significativo para los barcos que navegan de Este a Oeste. Este fenómeno puede complicar la navegación y poner

a prueba las capacidades de las embarcaciones, particularmente para los veleros que dependen en gran medida de los vientos favorables para avanzar.

El análisis de la Rosa de los Vientos ayuda en la planificación de actividades al aire libre, la navegación y la construcción de estructuras que deben soportar vientos fuertes, así como en la evaluación de las condiciones ambientales para diversas aplicaciones, como la agricultura y la energía eólica.



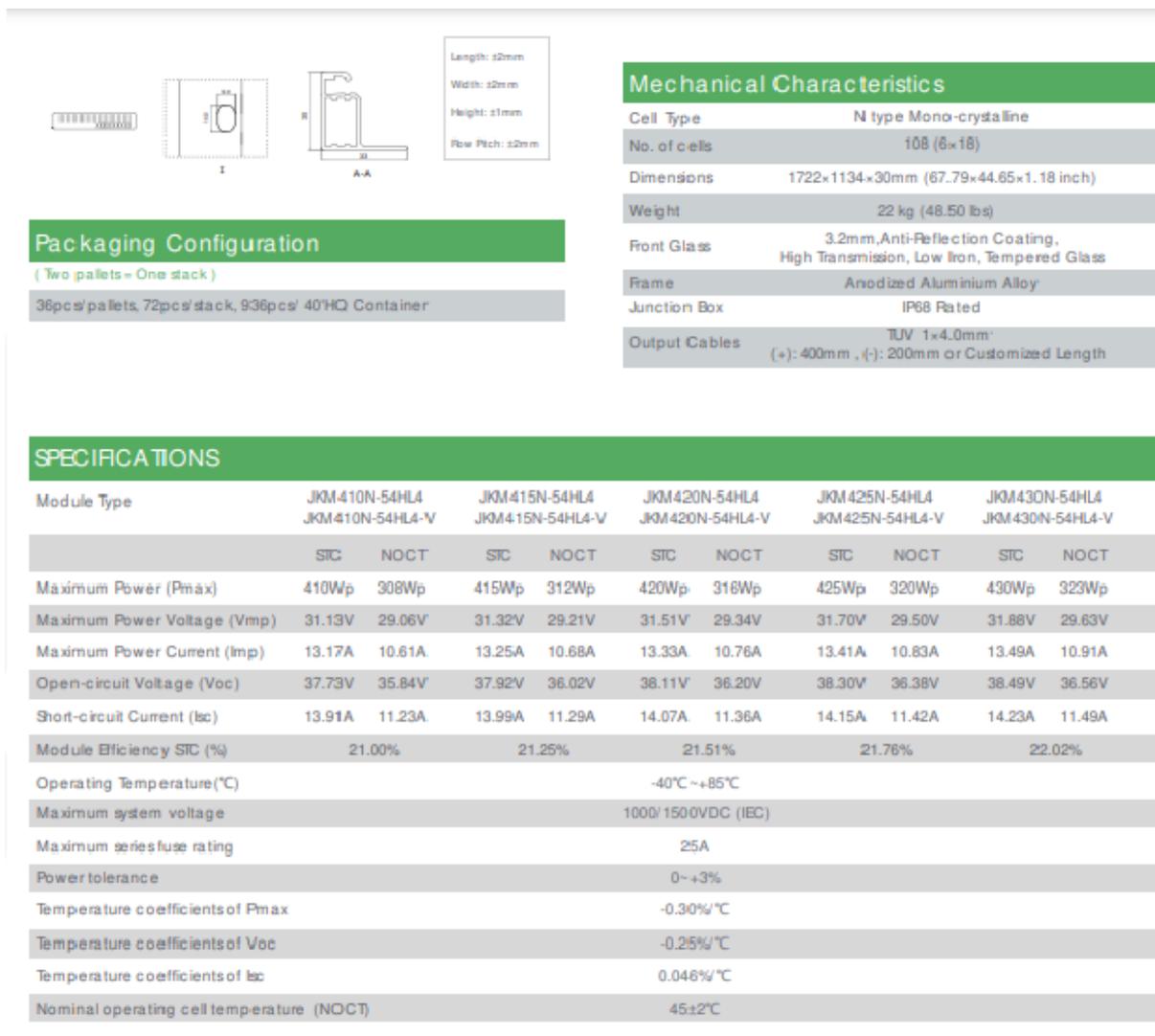
**Figura 17:** Rosa de los vientos  
**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.5. Características técnicas de los componentes

Las características técnicas de los componentes de los sistemas fotovoltaicos son fundamentales para garantizar el rendimiento y la eficiencia de la generación de energía solar. Estos sistemas, que convierten la luz solar en electricidad utilizable, están compuestos por varios elementos clave, cada uno con especificaciones técnicas que afectan el funcionamiento global del sistema. Entre los principales componentes se encuentran los módulos fotovoltaicos,

que capturan la luz solar y la transforman en corriente continua; los inversores, que convierten esta corriente continua en corriente alterna para su uso en la red eléctrica; y los sistemas de almacenamiento, que acumulan la energía generada para su uso en momentos en los que la producción solar no es posible. Además, se incluyen otros elementos como los reguladores de carga, que protegen las baterías y optimizan el flujo de energía, y los sistemas de montaje, que aseguran que los paneles estén correctamente orientados para maximizar la captación solar. Comprender las características técnicas de cada uno de estos componentes es crucial para diseñar, instalar y mantener sistemas fotovoltaicos eficientes y duraderos.

### 3.5.1. Paneles



**Figura 18:** Características técnicas del panel  
**Fuente:** Jinko Solar Tiger Pro

Los paneles fotovoltaicos Jinko Solar de 430 Wp son una opción destacada en el mercado de energía solar, reconocidos por su alta eficiencia y rendimiento confiable. Con una potencia nominal de 430 vatios pico (Wp), estos paneles están diseñados para ofrecer una generación de energía significativa en comparación con otros modelos de su clase. A continuación, se detallan algunas de sus características técnicas principales:

**Eficiencia Alta:** Los paneles Jinko Solar de 430 Wp suelen presentar una eficiencia de conversión de energía superior, que suele estar en torno al 20%. Esto significa que convierten una mayor proporción de la luz solar en electricidad en comparación con paneles de menor eficiencia.

**Tecnología de Células:** Estos paneles utilizan tecnología avanzada de células solares, como las células monocristalinas de alta eficiencia, que optimizan la captación de energía y permiten un mejor rendimiento en condiciones de baja luminosidad.

**Durabilidad y Resistencia:** Los paneles están diseñados para resistir condiciones climáticas adversas, incluyendo altas temperaturas, nieve y viento fuerte. Su estructura robusta y el uso de materiales de alta calidad garantizan una larga vida útil y un rendimiento confiable a lo largo del tiempo.

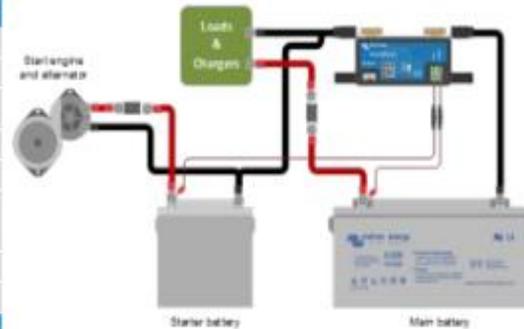
**Diseño Estético y Compacto:** Los paneles suelen tener un diseño delgado y elegante, que se integra bien en diferentes tipos de instalaciones, tanto residenciales como comerciales. Su aspecto estético es una ventaja adicional para quienes buscan una solución solar que también complemente la apariencia de sus propiedades.

**Garantías:** Jinko Solar ofrece garantías sólidas para sus paneles, típicamente incluyendo una garantía de producto de 10 años y una garantía de desempeño lineal de 25 años, asegurando una generación de energía constante y eficiente durante un largo período.

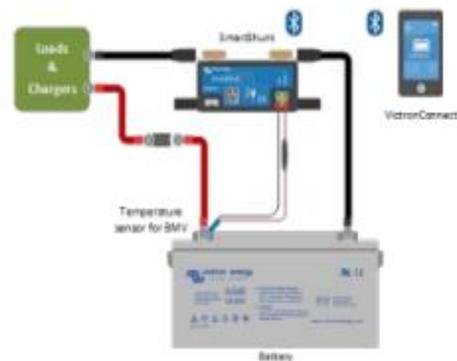
**Desempeño en Condiciones Reales:** Gracias a su tecnología avanzada y diseño optimizado, estos paneles tienen un excelente desempeño en condiciones reales, incluyendo variaciones en la radiación solar y temperaturas extremas.

### 3.5.2. Batería

SmartShunt	
SmartShunt	500A / 1000A / 2000A
Tensión de alimentación	6,5 – 70V CC
Consumo de corriente	< 1mA
Rango de tensión de entrada, batería auxiliar	6,5 – 70V CC
Capacidad de la batería (Ah)	1 - 9999Ah
Rango de temperaturas de trabajo	-40 +50°C (-40 - 120°F)
Mide la tensión de una segunda batería, o la temperatura o el punto medio	Si
Rango de medición de la temperatura	-20 +50°C
Puerto de comunicación VEDirect	Si
RESOLUCIÓN Y PRECISIÓN	
Corriente	± 0.01A
Tensión	± 0.01V
Amperios/hora	± 0.1 Ah
Estado de carga (0 - 100%)	± 0.1%
Autonomía restante	± 1 min
Temperatura (con el sensor opcional de temperatura conectado)	± 1°C/°F (0 - 50°C o 30 - 120°F)
Precisión de la medición de la corriente	± 0.4%
Compensación	Inferior a 20 / 40 / 80 mA
Precisión de la medición de la tensión	± 0.3%
INSTALACIÓN Y DIMENSIONES	
Dimensiones (al x an x p)	500A: 46 x 120 x 54 mm 1000A: 68 x 120 x 54 mm 2000A: 68 x 120 x 76 mm
Grado de protección	IP21
NORMAS	
Seguridad	EN 60335-1
Emisiones/Normativas	EN-IEC 61000-6-1 EN-IEC 61000-6-2 EN-IEC 61000-6-3
Automoción	EN 50498
Cables (incluidos)	Dos cables con fusible para conexión "+" y conexión a una batería de arranque o al punto medio
Sensor de temperatura	Opcional (ASS000100000)
Nota sobre el alcance de la señal del Bluetooth	El shunt y los cables eléctricos afectan negativamente el alcance de la señal del Bluetooth. El alcance resultante de 10-15 metros, sin embargo, es suficiente en la mayoría de los casos. La proximidad de otros elementos conductores de electricidad, como el chasis metálico de un vehículo o el agua de mar alrededor del casco de un barco podrían reducir el alcance de la señal del Bluetooth a un nivel insuficiente. En estos casos, la solución sería añadir una mochila VE.Direct Bluetooth Dongle (ASS030536011) al sistema y desactivar el Bluetooth del SmartShunt.



Medición de la tensión de la batería de arranque



Medición de la temperatura de la batería

Activar Wir  
Ve a Configura

**Figura 19:** Características técnicas de la batería  
**Fuente:** Victron Energy

Las baterías de gel Victron son una opción popular en el mercado de almacenamiento de energía, especialmente para aplicaciones de energía solar y sistemas de respaldo. Estas baterías están diseñadas para ofrecer una serie de ventajas específicas en términos de rendimiento,

seguridad y mantenimiento. A continuación, se detallan algunas de las características y beneficios principales de las baterías de gel Victrom:

**Tecnología de Gel:** Las baterías Victrom utilizan una tecnología de gel, en la que el electrolito está encapsulado en un gel de sílice. Esto proporciona una mayor estabilidad y seguridad en comparación con las baterías de plomo-ácido líquidas, ya que el gel minimiza el riesgo de derrames y fugas.

**Mantenimiento Bajo:** Estas baterías son prácticamente libres de mantenimiento. A diferencia de las baterías de plomo-ácido tradicionales, no requieren verificación o adición de agua periódica, lo que simplifica su cuidado y uso.

**Seguridad Mejorada:** La tecnología de gel ayuda a prevenir la liberación de gases peligrosos y la corrosión de los terminales, proporcionando una operación más segura en diversos entornos.

**Ciclo de Vida Prolongado:** Las baterías de gel Victrom suelen ofrecer una vida útil más larga en comparación con las baterías de plomo-ácido estándar, especialmente en aplicaciones de descarga profunda. Esto se debe a la capacidad del gel para manejar ciclos de carga y descarga más agresivos sin deteriorarse rápidamente.

**Rendimiento en Condiciones Extremas:** Estas baterías tienen un buen desempeño en una amplia gama de temperaturas y condiciones ambientales, lo que las hace adecuadas para instalaciones tanto en interiores como en exteriores, siempre y cuando se tomen las precauciones adecuadas para protegerlas de las condiciones extremas.

**Profundidad de Descarga:** Las baterías de gel generalmente permiten una mayor profundidad de descarga sin dañar la batería, lo que significa que pueden ser descargadas a niveles más bajos con menos impacto en su vida útil.

**Resistencia a la Vibración:** Son menos propensas a fallos mecánicos debido a su construcción de gel, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en las que pueden estar sujetas a vibraciones y movimientos.

### 3.5.3. Controlador de Carga

SmartSolar Charge Controller	250/60	250/70	250/85	250/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)			
Rated charge current	60A	70A	85A	100A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	860W	1000W	1200W	1450W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Nominal PV power, 36V 1a,b)	2580W	3000W	3600W	4350W
Nominal PV power, 48V 1a,b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	35A (max 30A per MC4 conn.)		70A (max 30A per MC4 conn.)	
Maximum PV open circuit voltage	250V absolute maximum coldest conditions 245V start-up and operating maximum			
Maximum efficiency	99%			
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V			
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)			
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)			
Charge voltage 'equalization'	Default setting: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (adjustable)			
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight preprogrammed algorithms) or user defined algorithm			
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protection	PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature			
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)			
Humidity	95%, non-condensing			
Maximum altitude	5000m (full rated output up to 2000m)			
Environmental condition	Indoor, unconditioned			
Pollution degree	PD3			
Data communication port	VE.Direct or Bluetooth			
Remote on/off	Yes (2 pole connector)			
Programmable relay	DPST AC rating: 240VAC / 4A		DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC	
Parallel operation	Yes			
<b>ENCLOSURE</b>				
Colour	Blue (RAL 5012)			
PV terminals 3)	35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (Tr models) Two pairs of MC4 connectors (MC4 models)		35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (Tr models) Three pairs of MC4 connectors (MC4 models)	
Battery terminals	35mm <sup>2</sup> / AWG2			
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)			
Weight	3 kg		4,5 kg	
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 185 x 250 x 95 mm MC4 models: 215 x 250 x 95 mm		Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103	
<b>STANDARDS</b>				
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2			

**Figura 20:** Características técnicas del controlador de carga  
**Fuente:** Victron Energy

El Controlador de Carga Smart Solar MPPT es un componente crucial en los sistemas de energía solar, diseñado para optimizar la conversión de energía y gestionar eficientemente la carga de las baterías. A continuación, se detallan sus características y beneficios principales:

**Optimización de Energía:** La tecnología MPPT permite al controlador ajustar continuamente su punto de operación para maximizar la cantidad de energía extraída del panel solar. Esto se logra ajustando el voltaje de entrada del panel para coincidir con el voltaje óptimo de carga de la batería, lo que resulta en una mayor eficiencia en la conversión de energía.

**Mejora del Rendimiento:** En comparación con los controladores PWM (Pulse Width Modulation), los controladores MPPT pueden aumentar la eficiencia en la conversión de energía en un 20-30%, especialmente en condiciones de baja luminosidad o cuando los paneles están sujetos a diferentes ángulos de incidencia del sol.

**Funciones Avanzadas:** Muchos controladores Smart Solar MPPT incluyen características avanzadas como la monitorización en tiempo real a través de aplicaciones móviles o interfaces web, proporcionando datos detallados sobre el rendimiento del sistema, el estado de la batería y la producción de energía.

**Configuración Automática:** Estos controladores pueden ajustar automáticamente los parámetros de carga y adaptarse a las características específicas de las baterías y los paneles solares, optimizando el rendimiento sin necesidad de intervención manual constante.

**Variación de Paneles y Baterías:** Son compatibles con una amplia gama de paneles solares y tipos de baterías, incluyendo baterías de plomo-ácido, AGM, gel y de litio. Esta flexibilidad permite su uso en diversas configuraciones de sistemas solares.

**Voltajes de Entrada y Salida:** Los controladores MPPT suelen soportar diferentes voltajes de entrada y salida, lo que facilita su integración en sistemas solares de diferentes tamaños y configuraciones.

**Protección Contra Sobrecarga:** Incluyen protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos, y sobretensiones, asegurando un funcionamiento seguro y prolongado del sistema.

**Regulación de Carga:** Gestionan de manera precisa el proceso de carga de las baterías, evitando sobrecargas y maximizando la vida útil de las baterías al mantenerlas en un estado óptimo de carga.

**Minimización de Pérdidas:** La tecnología MPPT reduce las pérdidas de energía que pueden ocurrir debido a variaciones en la irradiación solar o el voltaje del panel, garantizando que se aproveche al máximo cada vatio de energía disponible.

SmartSolar Charge Controller	250/60	250/70	250/85	250/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)			
Rated charge current	60A	70A	85A	100A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	860W	1000W	1200W	1450W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Nominal PV power, 36V 1a,b)	2580W	3000W	3600W	4350W
Nominal PV power, 48V 1a,b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	35A (max 30A per MC4 conn.)		70A (max 30A per MC4 conn.)	
Maximum PV open circuit voltage	250V absolute maximum coldest conditions 245V start-up and operating maximum			
Maximum efficiency	99%			
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V			
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)			
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)			
Charge voltage 'equalization'	Default setting: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (adjustable)			
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight preprogrammed algorithms) or user defined algorithm			
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protection	PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature			
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)			
Humidity	95%, non-condensing			
Maximum altitude	5000m (full rated output up to 2000m)			
Environmental condition	Indoor, unconditioned			
Pollution degree	PD3			
Data communication port	VE.Direct or Bluetooth			
Remote on/off	Yes (2 pole connector)			
Programmable relay	DPST AC rating: 240VAC / 4A		DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC	
Parallel operation	Yes			
<b>ENCLOSURE</b>				
Colour	Blue (RAL 5012)			
PV terminals 3)	35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (Tr models) Two pairs of MC4 connectors (MC4 models)		35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (Tr models) Three pairs of MC4 connectors (MC4 models)	
Battery terminals	35mm <sup>2</sup> / AWG2			
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)			
Weight	3 kg		4,5 kg	
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 185 x 250 x 95 mm MC4 models: 215 x 250 x 95 mm		Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103	
<b>STANDARDS</b>				
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2			

**Figura 21:** Características técnicas del controlador de carga  
**Fuente:** Victron Energy

### 3.5.4. Inversor

El Victron Energy MultiPlus-II es un inversor-cargador multifunción que combina varias funciones esenciales en un solo dispositivo para sistemas de energía solar y aplicaciones de respaldo. Es conocido por su fiabilidad, versatilidad y capacidad para gestionar la energía de manera eficiente. A continuación, se detallan sus características y beneficios principales:

**Inversor de Onda Sinusoidal Pura:** El MultiPlus-II convierte la corriente continua (CC) de las baterías en corriente alterna (CA) de onda sinusoidal pura, lo que es compatible con la mayoría de los electrodomésticos y equipos electrónicos sensibles.

**Cargador de Baterías Integrado:** Además de invertir la energía, el dispositivo también incluye un cargador de baterías eficiente que optimiza la carga de las baterías, prolongando su vida útil.

**Conexión a la Red y Generación de Energía Solar:** El MultiPlus-II puede funcionar en sistemas conectados a la red eléctrica, así como en sistemas aislados que usan energía solar. Puede manejar la carga de las baterías mientras se prioriza el uso de la energía solar disponible.

**Función de Backup:** Ofrece capacidad de respaldo en caso de corte de energía, proporcionando una fuente continua de electricidad al convertir la energía almacenada en las baterías en electricidad utilizable.

**PowerControl:** Permite gestionar el consumo de energía para evitar sobrecargar el suministro eléctrico de la red o del generador. Esto es útil en instalaciones donde se dispone de una capacidad limitada de energía.

**PowerAssist:** Mejora la capacidad del generador o la red al proporcionar potencia adicional a partir de las baterías, reduciendo la necesidad de usar el generador o la red para cargas altas.

**VictronConnect:** A través de la aplicación VictronConnect, es posible configurar, monitorear y actualizar el MultiPlus-II de forma remota desde un dispositivo móvil o computadora. Esta conectividad permite una gestión y monitoreo en tiempo real del sistema.

**Sistema de Comunicación VE.Bus:** Facilita la integración con otros productos Victron Energy para crear sistemas de energía más complejos y coordinados.

**Protección Contra Sobrecarga:** Incluye mecanismos de protección para evitar daños a los componentes debido a sobrecargas o cortocircuitos.

**Regulación de Carga Avanzada:** El cargador integrado cuenta con algoritmos avanzados para gestionar la carga de las baterías de manera eficiente, mejorando su durabilidad y rendimiento.

**Alta Eficiencia:** El MultiPlus-II ofrece alta eficiencia en la conversión de energía, minimizando las pérdidas y maximizando el aprovechamiento de la energía disponible.

**Diseño Compacto y Robusto:** Su diseño compacto facilita la instalación en espacios reducidos, y su construcción robusta asegura un funcionamiento duradero incluso en condiciones exigentes.

MultiPlus-II 120 V	12/3000/120-50	24/3000/70-50	48/3000/35-50
PowerControl y PowerAssist	Sí		
Conmutador de transferencia	50 A		
Corriente máxima de entrada CA	50 A		
INVERSOR			
Rango de tensión de entrada CC	9,5-17 V	19-33V	38 - 66 V
Salida	Tensión de salida: 120 V CA $\pm$ 2 % Frecuencia: 60 Hz $\pm$ 0,1% (1)		
Potencia cont. de salida a 25 °C (3)	3000 VA		
Potencia cont. de salida a 25 °C	2400 W		
Potencia cont. de salida a 40 °C	2200 W		
Potencia cont. de salida a 65 °C	1700 W		
Máxima potencia de alimentación aparente	2500 VA		
Potencia pico	5500 W		
Eficiencia máxima	93%	94%	95%
Consumo en vacío	13 W	13 W	11 W
Consumo en vacío en modo AES	9 W	9 W	7 W
Consumo en vacío en modo búsqueda	3 W	3 W	2 W

**Figura 22:** Características técnicas del Inversor  
**Fuente:** Victron Energy

### 3.6. Diseño para la ampliación

#### 3.6.1. Determinación de las necesidades del usuario

Determinar las necesidades del usuario para un sistema fotovoltaico es un proceso crucial para diseñar una instalación que sea eficiente y adecuada para satisfacer las demandas energéticas específicas. Este proceso implica evaluar varios factores que influirán en el diseño del sistema y garantizar que se cumplan las expectativas del usuario.

La energía diaria de la carga de un equipo se lo determina de la siguiente manera:

$$E_i = N_i * P_i * t_i$$

**Donde:**

E<sub>i</sub>: energía demandada por el equipo i [Wh/día]

N<sub>i</sub>: número de cargas del equipo i

P<sub>i</sub>: Potencia consumida por el equipo i [W]

t<sub>i</sub>: horas de uso del equipo i por día [hr/día]

**Tabla 3:** Determinación de las necesidades del usuario

Equipamiento	N° de equipos	Potencia (W)	Uso (h/día)	Energía (KW/día)
Lámparas alta potencia led	8	200/lamp	4	$E_1 = N_1 * P_1 * t_1$ $E_1 = 6,4$
Reflectores	2	300/reflet	12	$E_2 = N_2 * P_2 * t_2$ $E_2 = 7,2$
Tubos led + focos led	8	24/lamp	9	$E_3 = N_3 * P_3 * t_3$ $E_3 = 1,728$
Cargas CEPROBYS	1	2846	6	$E_4 = N_4 * P_4 * t_4$ $E_4 = 17,706$

Fuente: Elaboración Propia

$$E_{total} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

$$E_{total} = 32,404 \text{ kWh/día}$$

$$Q_{cons} = \frac{E_{total}}{V_{sistDC}} = \frac{32,404}{150}$$

$$Q_{cons} = 216.027 \text{ Ah/día}$$

$$MS = 0$$

$$N_{usuario} = Q_{cons} * (1 - MS)$$

$$N_{\text{usuario}} = 216.027 * (1 - 0)$$

$$N_{\text{usuario}} = 216.027 \text{ Ah/día}$$

### 3.6.2. Determinación de las pérdidas totales del sistema

$$K_b = 3\%$$

$$K_a = \frac{0,5\%}{\text{día}}$$

$$K_c = 3\%$$

$$K_r = 3\%$$

$$K_v = 3\%$$

$$D_{\text{autom}} = 1 \text{ día}$$

$$PD = 80\%$$

$$K_T = \left( 1 - (K_b + K_c + K_r + K_v) \left( 1 - \frac{K_a * D_{\text{autom}}}{PD} \right) \right)$$

$$K_T = 0,881$$

### 3.6.3. Carga energética máxima del sistema

$$C_{\text{max}} = \frac{N_{\text{usuario}}}{K_T} = \frac{216027}{0.881}$$

$$C_{\text{max}} = 245,276 \text{ Ah/día}$$

### 3.6.4. Determinación de la energía solar disponible

$$HPS(h) = 5,48 \frac{h}{\text{día}}$$

$$E_{\text{panel}} = HPS * P_{\text{pico}} * \eta_{\text{panel}}$$

$$E_{\text{panel}} = 5,48 * 430 * 0,9$$

$$E_{panel} = 2,121 \text{ kWh/día}$$

$$Q_{panel} = \frac{E_{panel}}{V_{nom\_panel}} = \frac{2,121 \text{ kWh/día}}{24V}$$

$$Q_{panel} = 88,365 \frac{Ah}{día}$$

$$N_{ramasparalelo} = \frac{C_{max}}{Q_{panel}}$$

$$N_{ramasparalelo} = \frac{245,276 \text{ Ah/día}}{88,365 \frac{Ah}{día}}$$

$N_{ramasparalelo} = 2,776$  Se aproxima al inmediato superior

$$N_{ramasparalelo} = 3$$

$$N_{modulosserie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nompanel}}$$

$$N_{modulosserie} = \frac{150}{24}$$

$N_{modulosserie} = 6,25$  Se aproxima al inmediato inferior

$$N_{modulosserie} = 6$$

$$Paneles_{totales} = N_{ramasparalelo} * N_{modulosserie}$$

$$Paneles_{totales} = 3 * 6$$

$$Paneles_{totales} = 18$$

**3 ramas en paralelo de 6 paneles en serie**

### 3.6.5. Dimensionado del sistema de acumulación

$$C_{\text{sistalmacenamiento}} = \frac{C_{\text{max}} * D_{\text{auton}}}{PD}$$

$$C_{\text{sistalmacenamiento}} = 958,109 \text{ Ah}$$

$$N_{\text{batparalelo}} = \frac{C_{\text{sistalmacenamiento}}}{C_{\text{nombateria}}}$$

$$N_{\text{batparalelo}} = 9,125 \approx 9 \text{ Se aproxima al inmediato inferior}$$

$$N_{\text{batserie}} = \frac{V_{\text{sistDC}}}{V_{\text{nompanel}}}$$

$$N_{\text{batserie}} = 4$$

$$\text{Baterías}_{\text{totales}} = N_{\text{batparalelo}} * N_{\text{batserie}}$$

$$\text{Baterías}_{\text{totales}} = 9 * 4 \approx 36 \text{ 36 baterías}$$

**9 ramas en paralelo de 4 baterías en serie**

### 3.6.6. Selección del regulador

$$I_{\text{regu}} = 1.25 * I_{\text{scpanel}} * N_{\text{ramasparalelo}}$$

$$I_{\text{regu}} = 53,363 \text{ A}$$

$$N_{\text{regparalelo}} = \frac{I_{\text{reg}}}{I_{\text{nomreg}}}$$

$$N_{\text{regparalelo}} = 1,525 \approx 2$$

$$N_{\text{regserie}} = \frac{V_{\text{sistDC}}}{V_{\text{nompanel}}}$$

$$N_{\text{regserie}} = 1$$

**2 reguladores en paralelo**

### 3.6.7. Selección del convertidor

La selección del convertidor, también conocido como inversor, es un aspecto crucial en el diseño de un sistema fotovoltaico. El inversor convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los aparatos domésticos y en la red eléctrica.

**Tabla 4:** Análisis de consumo

<b>Equipamiento</b>	<b>N° de equipos</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia Total (W)</b>	<b>Uso (h/día)</b>	<b>Días de Uso semanal</b>	<b>Energía (Wh/día)</b>
Lámparas alta potencia led	8	200/lamp	1600	4	7	6400
Reflectores	2	300/reflet	600	12	7	7200
Tubos led + focos led	8	24/lamp	192	9	7	1728
Cargas CEPROBYS	1	2846	2846	6	7	17076
<b>Potencia total</b>			<b>5238</b>	<b>Consumo</b>		<b>32404</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 3.6.7.1. Cálculo del inversor

Una vez calculada con precisión la potencia total necesaria para los distintos entornos y determinado el nivel de voltaje suministrado por el sistema solar fotovoltaico, se procedió a la selección del inversor más adecuado para la instalación. Este proceso implicó considerar aspectos clave como la eficiencia del inversor, el voltaje de entrada proporcionado por el sistema de paneles solares y el voltaje esperado en la salida. También se tuvo en cuenta la demanda máxima anticipada. En este contexto, se ha seleccionado el Inversor MULTIPLUS-II, ya que sus características se ajustan perfectamente a las necesidades y especificaciones de esta innovadora instalación.

### 3.6.7.2. Dimensiones del inversor

Es crucial determinar la capacidad adecuada del inversor para un sistema solar fotovoltaico que maneje un consumo de energía de 32404 Wh/día. En el mercado existen dos tipos principales de inversores: los inversores de onda modificada, que solo son adecuados para alimentar cargas pasivas como puntos de iluminación y baterías, y los inversores de onda sinusoidal, que pueden alimentar todo tipo de cargas. Para este cálculo, se consideró que la potencia del inversor debe ser dimensionada con un margen de seguridad del 25%. Además, es importante tener en cuenta la potencia máxima que el inversor deberá suministrar en momentos específicos. La eficiencia de los inversores, que es del 95%, también se ha tenido en cuenta en los datos presentados en la tabla siguiente:

**Tabla 5:** Datos para el inversor

<b>Datos</b>	
<b>% Seguridad</b>	1,25
<b>P. Carga</b>	5238
<b>Eficiencia del Inversor</b>	95%
<b>FP</b>	0,8

**Fuente:** Elaboración Propia

Para calcular la potencia del inversor, se utiliza la siguiente fórmula:

$$S_{carga} = F_s * \left( \frac{P_{carga} - AC}{FP * Eff_{inv}} \right)$$

**Donde:**

$S_{carga}$  = Potencia del Inversor

$F_s$  = Factor de seguridad

$FP$  = Factor de potencia

$P_{carga} - AC$  = Potencia pico máxima

$Eff_{inv}$  = Eficiencia del Inversor

$$S_{carga} = 1,25 * \left( \frac{5238 \text{ W}}{0,8 * 0,95} \right)$$

$$S_{carga} = 1,25 * \left( \frac{5238 \text{ W}}{0,8 * 0,95} \right)$$

$$S_{carga} = 8615,13 \text{ W}$$

$$S_{carga} = 8,615 \text{ KW}$$

### ***3 inversores de 3kw instalados en paralelo teniendo una potencia de 9KW***

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la instalación necesitará la implementación de tres unidades del Inversor/Cargador MULTIPLUS-II. Estos dispositivos funcionarán a una tensión de 48 voltios y ofrecerán una potencia de salida de 3000 VA cada uno. Además, cada unidad contará con un cargador interno de 35 amperios. Para gestionar la transición entre las diferentes fuentes de energía, el sistema incorpora un conmutador de transferencia con una capacidad de 50 amperios. La salida eléctrica proporcionada será de 120 voltios y 60 Hz, garantizando una adecuada compatibilidad con los sistemas eléctricos estándar. Estas decisiones de diseño se fundamentan en los datos y conclusiones obtenidos durante la evaluación previa, asegurando la eficiencia y funcionalidad óptima del sistema de inversión con transferencia de energía propuesto.

### **3.7. Dimensionado del cableado y protecciones**

#### **Circuito 1 – TRAMO- ASIMAC**

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$

$$I = \frac{288 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.95}$$

$$I = 2,52 \text{ A}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172 \Omega * 2,52 * 25 \text{ m}}{2,08 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta_V = 1,04 \text{ V}$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{1,04}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,86\%$$

### **Circuito 2 – TRAMO SUPERMERCADO**

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$

$$I = \frac{462 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0,95}$$

$$I = 4,05 \text{ A}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172 \Omega * 4,05 * 17,27 \text{ m}}{2,08 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta_V = 1,156 \text{ V}$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{1,156}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,96\%$$

### **Circuito 3 – TRAMO AULA**

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$

$$I = \frac{336 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.95}$$

$$I = 2,94 \text{ A}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172 \Omega * 2,94 * 3,56 \text{ m}}{2,08 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta_V = 0,173 \text{ V}$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{0,173}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,14\%$$

#### **Circuito 4 – TRAMO RUMIPRINT**

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$

$$I = \frac{294 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.95}$$

$$I = 2,57 \text{ A}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172\Omega * 2,57 * 24,64m}{2,08mm^2}$$

$$\Delta_V = 1,050 V$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{0,325}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,87\%$$

### **Circuito 5– TRAMO ESTACIONAMIENTOS**

$$I = \frac{P}{V \cos\theta}$$

$$I = \frac{288 W}{120V * 0,95}$$

$$I = 2,52 A$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172\Omega * 2,52 * 13,75m}{2,08mm^2}$$

$$\Delta_V = 0,574 V$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{0,574}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,47\%$$

### **Circuito 6– CIRCUITO DE LAB. ENERGIA RENOVABLES**

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$

$$I = \frac{162 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.95}$$

$$I = 1,42 \text{ A}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172 \Omega * 1,42 * 3,35 \text{ m}}{2,08 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta_V = 0,078 \text{ V}$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{0,078}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,06\%$$

### **Circuito 7 – TRAMO TALLER AUTOMOTRIZ**

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$

$$I = \frac{5238 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.95}$$

$$I = 45,94 A$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172\Omega * 45,94 * 70,15m}{25mm^2}$$

$$\Delta_V = 4,435 V$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{4,435}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 3,69\%$$

### **Circuito 7 – LABORATORIO DISTRIBUCION DE ENERGIA**

$$I = \frac{P}{V \cos\theta}$$

$$I = \frac{216W}{120V * 0,95}$$

$$I = 1,89 A$$

$$\Delta_V = \frac{2 * \rho * I * L}{S}$$

$$\Delta_V = \frac{2 * 0,0172\Omega * 1,89 * 12,62m}{2,08mm^2}$$

$$\Delta_V = 0,395 V$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{\Delta_V}{V} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = \frac{0,395}{120} * 100$$

$$\Delta_V(\%) = 0,32\%$$

**Tabla 6:** Calibre de conductor

ITEM	ZONA	I (A)	$\Delta_V$ (%)	CALIBRE DE CONDUCTOR
1	ASIMAC	2,52	0,86	14 AWG
2	SUPERMERCADO	4,05	0,96	14 AWG
3	AULA	2,94	0,14	14 AWG
4	RUMIPRINT	2,57	0,87	14 AWG
5	ESTACIONAMIENTOS	2,52	0,47	14 AWG
6	LAB. ENERGÍA REOVABLE	1,42	0,06	14 AWG
7	TALLER MECÁNICA AUNTOMOTRIZ	45,94	3,69	4 AWG
8	LABORATORIO DISTRIBUCION ENERGIA	1,89	0,32	14 AWG

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7.1. Protecciones

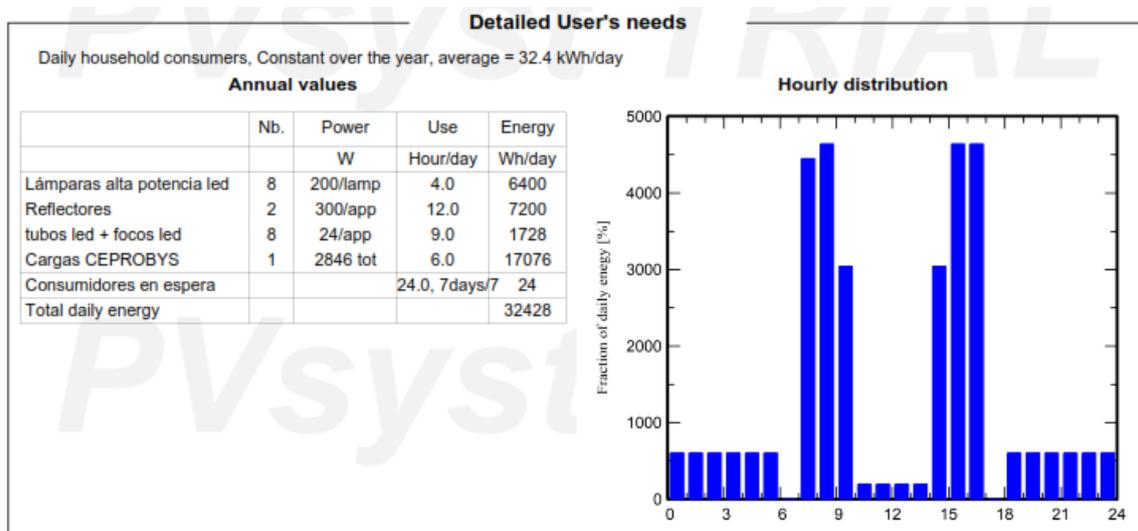
Con base en los datos proporcionados en la tabla, la selección de protecciones para cada zona debe hacerse considerando las corrientes nominales (I) que se manejan en cada área, así como el calibre de los conductores seleccionados. La corriente de protección debe ser ligeramente superior a la corriente máxima esperada, pero sin exceder la capacidad del conductor según su calibre, para evitar sobrecalentamiento y asegurar la seguridad de la instalación.

Para los circuitos que emplean conductores de 14 AWG (capaces de manejar hasta 20 A), las protecciones deben seleccionarse de manera que cubran las corrientes más bajas sin comprometer la integridad del sistema. Así, se podrían instalar fusibles o interruptores

automáticos de 10 A para las zonas con menores corrientes como el laboratorio de distribución de energía, laboratorios de energía renovable y las aulas, mientras que zonas con mayores consumos, como el supermercado o Rumiprint, requerirán protecciones en el rango de 15 A. Para el taller de mecánica automotriz, con una corriente más elevada de casi 20 A y conductor de 12 AWG (que soporta hasta 25-30 A), se recomienda una protección de 25 A para asegurar un funcionamiento seguro sin comprometer el equipo o los conductores por sobrecargas.

### 3.8. Datos de la simulación con PVSYSY

#### 3.8.1. Necesidades Detalladas del Usuario



**Figura 23:** Parámetros de simulación  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

#### 3.8.2. Parámetros de simulación Caso de estudio N°1

El sistema tiene una inclinación de 10° y está orientado hacia el sur (azimut de 0°). Esta configuración podría no ser la más óptima para maximizar la captación de energía solar, especialmente en zonas que se benefician de una mayor inclinación para optimizar la captación en distintas estaciones del año. Normalmente, se recomienda ajustar el ángulo de inclinación en función de la latitud para maximizar la eficiencia del sistema.

Se han utilizado 21 módulos fotovoltaicos, lo que da una potencia nominal total del sistema de 9.03 kWp. Esta potencia es adecuada para alimentar cargas diarias, pero es necesario comprobar si cubre las necesidades energéticas promedio de los usuarios.

El consumo diario promedio es de 32.4 kWh/día. Este nivel de consumo es típico de un hogar con electrodomésticos y equipos electrónicos normales. Sin embargo, el consumo debe ser cuidadosamente monitorizado, especialmente en días nublados o de baja irradiación, ya que podría no ser suficiente en algunos casos si la producción solar cae por debajo del promedio.

Producción del Sistema:

La capacidad instalada del sistema de 9.03 kWp puede generar, en condiciones ideales, entre 30 y 45 kWh/día, dependiendo de factores como la irradiación solar local y las pérdidas del sistema (inversor, temperatura, etc.). En condiciones ideales, este sistema puede estar cerca de satisfacer el consumo diario promedio del usuario, pero en días de baja irradiación, la batería jugará un papel clave.

El sistema utiliza baterías de plomo-ácido selladas (tipo Gel), una opción robusta y fiable para sistemas autónomos. Aunque no son las baterías más eficientes comparadas con las de litio, tienen una buena durabilidad y son menos propensas a problemas de mantenimiento.

El banco de baterías está compuesto por 28 unidades con una configuración de 48 V y una capacidad total de 735 Ah.

Esto significa que, en teoría, el banco de baterías puede almacenar hasta 35.28 kWh, lo que es ligeramente superior al consumo promedio diario (32.4 kWh/día). Este margen de capacidad es útil para asegurar que el sistema pueda alimentar al hogar durante un día completo, incluso si no hay suficiente sol.

Si el sistema no recibe energía solar (por ejemplo, en días nublados o lluviosos), el banco de baterías tiene la capacidad de alimentar el hogar por aproximadamente 1 día completo antes de agotarse, lo que es adecuado, pero podría ser ajustado para tener más días de autonomía.

Si el consumo del usuario es constante y no varía a lo largo del año, el sistema parece bien dimensionado para cubrir estas necesidades en promedio. Sin embargo, durante periodos de menor irradiación solar (como en invierno o durante días nublados), es posible que el sistema requiera un soporte adicional o una reducción del consumo energético para evitar el agotamiento de las baterías.

Project summary			
<b>Geographical Site</b> UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI METEONOR Ecuador		<b>Situation</b> Latitude -0.34 °S Longitude -78.44 °W Altitude 2525 m Time zone UTC-5	
<b>Weather data</b> Hacienda Santa Rosa Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético		<b>Project settings</b> Albedo 0.20	
System summary			
<b>Standalone system</b>		<b>Standalone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 10 / 0 °		<b>User's needs</b> Daily household consumers Constant over the year Average 32.4 kWh/Day	
<b>System information</b>		<b>Battery pack</b>	
<b>PV Array</b> Nb. of modules 21 units Pnom total 9.03 kWp		Technology Lead-acid, sealed, Gel Nb. of units 28 units Voltage 48 V Capacity 735 Ah	
Results summary			
Useful energy from solar 1146.09 kWh/year	Specific production 1234 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 61.82 %	
Missing Energy 690.13 kWh/year	Available solar energy 15757.62 kWh/year	Solar Fraction SF 94.34 %	
Excess (unused) 3576.50 kWh/year			

**Figura 24:** Parámetros de simulación Caso de estudio N°1  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

### 3.8.3. Parámetros de simulación Caso de estudio N°2

El sistema produce 11,036.06 kWh por año de energía útil a partir del conjunto fotovoltaico. Esta es la energía que efectivamente se puede utilizar después de todas las pérdidas del sistema, como eficiencia de los paneles, temperatura, y eficiencia del inversor.

Se reporta una energía faltante de 800.16 kWh por año, que es la cantidad de energía que el sistema no puede suministrar debido a una demanda mayor que la capacidad del sistema en ciertos momentos. Esto puede deberse a días de baja radiación o a consumos pico que exceden la capacidad de generación y almacenamiento.

El sistema cuenta con 39 módulos fotovoltaicos con una potencia total instalada de 16.77 kWp. Esta capacidad de generación es robusta y está diseñada para cubrir las necesidades del usuario, con cierta holgura.

El sistema tiene acceso a un total de 22,347.05 kWh por año de energía solar disponible. Sin embargo, no toda esta energía puede ser capturada y convertida en energía útil debido a limitaciones de eficiencia del sistema y condiciones climáticas.

El consumo diario de la vivienda es 32.4 kWh/día, lo que equivale a aproximadamente 11,826 kWh/año. Comparando este consumo anual con la energía útil producida (11,036.06 kWh/año), vemos que la producción es casi suficiente para cubrir la demanda, con un déficit de 800.16 kWh/año.

El banco de baterías está compuesto por 28 unidades de baterías de plomo-ácido selladas (Gel), con una capacidad de 735 Ah y un voltaje de 48 V.

Esta configuración proporciona una capacidad de almacenamiento de 35.28 kWh. Esto es suficiente para cubrir el consumo diario promedio de 32.4 kWh, pero no ofrece mucha reserva para días consecutivos de baja radiación solar, lo que podría explicar la energía faltante observada.

El sistema tiene una producción específica de 658 kWh por kWp al año, lo cual es un valor razonable para sistemas en ubicaciones con radiación solar moderada. Aunque es un valor aceptable, podría mejorarse con optimizaciones en la inclinación de los paneles o mejorando la eficiencia de los componentes del sistema.

El Performance Ratio (PR) es de 42.66%, lo que indica la relación entre la energía real que se puede utilizar y la energía teórica que el sistema podría generar en condiciones ideales. Un PR más alto indica un sistema más eficiente. Este valor es relativamente bajo, lo que sugiere que hay pérdidas significativas, posiblemente debido a la orientación, las condiciones climáticas, o la eficiencia del inversor y las baterías.

La Fracción Solar (SF) es de 93.57%, lo que significa que el 93.57% de la energía consumida por el usuario proviene directamente del sistema fotovoltaico. El 6.43% restante debe provenir de otras fuentes de energía o no puede ser abastecido por el sistema, lo que explica la energía faltante.

Project summary			
<b>Geographical Site</b> UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI Ecuador		<b>Situation</b> Latitude -0.34 °S Longitude -78.44 °W Altitude 2525 m Time zone UTC-5	
<b>Weather data</b> UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Sintético		<b>Project settings</b> Albedo 0.20	
System summary			
<b>Standalone system</b> <b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 10 / 0 °		<b>Standalone system with batteries</b> <b>User's needs</b> Daily household consumers Constant over the year Average 32.4 kWh/Day	
<b>System information</b> <b>PV Array</b> Nb. of modules 39 units Pnom total 16.77 kWp		<b>Battery pack</b> Technology Lead-acid, sealed, Gel Nb. of units 28 units Voltage 48 V Capacity 735 Ah	
Results summary			
Useful energy from solar	1036.06 kWh/year	Specific production	658 kWh/kWp/year
Missing Energy	800.16 kWh/year	Available solar energy	22347.05 kWh/year
Excess (unused)	9977.32 kWh/year	Perf. Ratio PR	42.66 %
		Solar Fraction SF	93.57 %

**Figura 25:** Parámetros de simulación Caso de estudio N°2

**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

### 3.8.4. Parámetros de simulación Caso de estudio N°3

El sistema produce 11,580.19 kWh al año de energía útil, es decir, la energía que puede aprovecharse después de todas las pérdidas del sistema, incluyendo eficiencia de los paneles, inversores, y condiciones ambientales.

Se observa que hay un exceso de energía no utilizada de 6,254.18 kWh/año. Esta energía es la que no puede ser almacenada o utilizada por las cargas debido a que el sistema de almacenamiento y el consumo diario no son capaces de aprovechar toda la energía generada por el sistema.

Aunque el exceso de energía es considerable, se reporta una energía faltante de 45.79 kWh al año, lo que indica que en ciertos momentos la demanda supera la capacidad del sistema para suministrar energía, probablemente en días consecutivos de baja irradiación solar o picos de demanda.

El sistema consta de 27 módulos fotovoltaicos con una potencia total de 11.61 kWp. Esta capacidad de generación está diseñada para cubrir las necesidades energéticas diarias del usuario, con un margen que genera exceso de energía en determinados momentos del año.

La energía solar total disponible en la ubicación es de 19,887.31 kWh/año, lo cual es una cifra alta, considerando que la región tiene un buen recurso solar. No obstante, no toda esta energía puede ser capturada y convertida en energía útil debido a la eficiencia del sistema y limitaciones como la orientación de los paneles y la capacidad del sistema de almacenamiento.

El consumo diario de la vivienda se estima en 31.9 kWh/día, lo que equivale a aproximadamente 11,643.5 kWh/año. Comparando este consumo con la energía útil generada por el sistema (11,580.19 kWh/año), vemos que el sistema casi cubre completamente la demanda del usuario, con un pequeño déficit de 45.79 kWh/año, que es insignificante.

Esta configuración permite almacenar la energía suficiente para abastecer el consumo diario, pero no para días consecutivos de baja generación, lo que podría explicar los pocos momentos de energía faltante.

El sistema tiene una producción específica de 997 kWh/kWp/año, lo cual es un valor bastante eficiente, considerando la inclinación y orientación del sistema y las condiciones de irradiación en la zona de Ecuador.

El Performance Ratio (PR) es de 51.55%, lo que indica una eficiencia razonable para el sistema. El PR refleja las pérdidas totales del sistema en comparación con una generación teórica perfecta. Un PR de este nivel es típico para sistemas fotovoltaicos en climas cálidos donde las pérdidas de eficiencia por temperatura son mayores.

La Fracción Solar (SF) es muy alta, 99.85%, lo que significa que casi la totalidad de la energía consumida por el usuario proviene del sistema fotovoltaico, con apenas un 0.15% que debería ser suplido por una fuente de energía adicional.

Project summary			
<b>Geographical Site</b> UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI Ecuador		<b>Situation</b> Latitude -0.34 °S Longitude -78.44 °W Altitude 2525 m Time zone UTC-5	
<b>Weather data</b> UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI PVGIS api TMY		<b>Project settings</b> Albedo 0.20	
System summary			
<b>Standalone system</b> <b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 10 / 0 °		<b>Standalone system with batteries</b> <b>User's needs</b> Daily household consumers Constant over the year Average 31.9 kWh/Day	
<b>System information</b> <b>PV Array</b> Nb. of modules 27 units Pnom total 11.61 kWp		<b>Battery pack</b> Technology Lead-acid, sealed, Gel Nb. of units 28 units Voltage 48 V Capacity 735 Ah	
Results summary			
Useful energy from solar	1580.19 kWh/year	Specific production	997 kWh/kWp/year
Missing Energy	45.79 kWh/year	Available solar energy	19887.31 kWh/year
Excess (unused)	6254.18 kWh/year	Perf. Ratio PR	51.55 %
		Solar Fraction SF	99.85 %

**Figura 26:** Parámetros de simulación Caso de estudio N°3  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

### 3.8.5. Generador fotovoltaico Caso de estudio N°1

La configuración de un sistema fotovoltaico con baterías, utilizando módulos JKM-430N-54HL4R y un controlador SmartSolar MPPT 150/35 48V. El sistema utiliza módulos JKM-430N-54HL4R, que son módulos genéricos basados en la base de datos de Meteonor.

Cada módulo tiene una potencia nominal de 430 Wp bajo condiciones estándar de prueba (STC). Se han instalado 21 módulos en total, organizados en 7 strings con 4 módulos en serie por string, lo que suma una potencia total de 9.03 kWp. A una temperatura de operación de 50°C, la potencia de los módulos se reduce a 8.39 kWp. Este comportamiento es común debido al coeficiente de temperatura negativo de los módulos, lo que disminuye su eficiencia a medida que aumenta la temperatura. A las condiciones de operación mencionadas, la tensión en el punto de máxima potencia (Umpp) es de 91V, y la corriente (Impp) es de 92.

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM-430N-54HL4R	Model	MPG 12V 105 F
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	430 Wp	Nb. of units	7 in parallel x 4 in series
Number of PV modules	21 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	9.03 kWp	Stored energy	29.1 kWh
Modules	7 string x 3 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	48 V
Pmpp	8.39 kWp	Nominal Capacity	735 Ah (C10)
U mpp	91 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	92 A	<b>Battery Management control</b>	
<b>Controller</b>		Threshold commands as	SOC calculation
Manufacturer	Generic	Charging approx.	SOC = 0.95 / 0.75 59.5 / 51.0 V
Model	SmartSolar MPPT 150/35 48V	Discharging approx.	SOC = 0.20 / 0.45 47.4 / 49.5 V
Nb. units	4 units		
Technology	MPPT converter		
Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.		
<b>Converter</b>			
Maxi and EURO efficiencies	98.0 / 96.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	9 kWp		
Total	21 modules		
Module area	42.0 m <sup>2</sup>		

**Figura 27:** Generador fotovoltaico Caso de estudio N°1  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

### 3.8.6. Generador fotovoltaico Caso de estudio N°2

El sistema fotovoltaico autónomo que utiliza módulos solares JKM-430N-54HL4R y un controlador SmartSolar MPPT 150/35 48V, junto con baterías selladas de gel.

El sistema está diseñado con un plano fijo y una inclinación de 10° y un azimut de 0°. Esta orientación es adecuada para maximizar la captación solar, especialmente en zonas ecuatoriales como el sitio del proyecto. Se emplea el método de transposición de Pérez para calcular la radiación incidente, lo cual es una técnica avanzada para maximizar la eficiencia al convertir radiación difusa en energía utilizable. El sistema está diseñado para cubrir un consumo constante de 32.4 kWh/día a lo largo del año, lo que es típico para una residencia o pequeño negocio con varias necesidades energéticas. Se utilizan módulos JKM-430N-54HL4R con una potencia nominal de 430 Wp cada uno.

El sistema está compuesto por 39 módulos, organizados en 13 strings de 3 módulos en serie, lo que proporciona una potencia nominal total de 16.77 kWp bajo condiciones estándar de prueba (STC). A temperaturas de operación de 50°C, la potencia del sistema se reduce a 15.59 kWp. Esto es típico debido a la disminución de eficiencia por el aumento de la temperatura. En

condiciones operativas, la tensión en el punto de máxima potencia ( $U_{mpp}$ ) es de 91V, y la corriente ( $I_{mpp}$ ) es de 172A.

PV Array Characteristics	
<b>PV module</b>	
Manufacturer	Generic
Model	JKM-430N-54HL4R
(Original PVSyst database)	
Unit Nom. Power	430 Wp
Number of PV modules	39 units
Nominal (STC)	16.77 kWp
Modules	13 string x 3 in series
<b>At operating cond. (50°C)</b>	
$P_{mpp}$	15.59 kWp
$U_{mpp}$	91 V
$I_{mpp}$	172 A
<b>Controller</b>	
Manufacturer	Generic
Model	SmartSolar MPPT 150/35 48V
Nb. units	7 units
Technology	MPPT converter
Temp. coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.
<b>Converter</b>	
Maxi and EURO efficiencies	98.0 / 96.0 %
<b>Total PV power</b>	
Nominal (STC)	17 kWp
Total	39 modules
Module area	77.9 m <sup>2</sup>
<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic
Model	MPG 12V 105 F
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	7 in parallel x 4 in series
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	29.1 kWh
<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Voltage	48 V
Nominal Capacity	735 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C
<b>Battery Management control</b>	
Threshold commands as	SOC calculation
Charging approx.	SOC = 0.95 / 0.75 60.1 / 51.0 V
Discharging approx.	SOC = 0.20 / 0.45 47.4 / 49.5 V

**Figura 28:** Generador fotovoltaico Caso de estudio N°2  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

### 3.8.7. Generador fotovoltaico Caso de estudio N°3

La configuración del sistema es en plano fijo, con una inclinación de 10° y un azimut de 0°. Este tipo de orientación es eficiente para capturar la energía solar en latitudes cercanas al ecuador, como es el caso del proyecto. Se empleó el método de transposición Pérez para la estimación de la radiación incidente, optimizando el rendimiento en la captación de radiación difusa y circumsolar. El sistema está dimensionado para cubrir un consumo constante de 31.9 kWh/día durante todo el año, lo que puede ser adecuado para una residencia o negocio con consumos moderados.

Se emplean módulos JKM-430N-54HL4R con una potencia nominal de 430 Wp por módulo. El sistema consta de 27 módulos, organizados en 9 paralelos de 3 módulos en serie, lo que proporciona una potencia nominal total de 11.61 kWp en condiciones estándar de prueba (STC). Bajo condiciones operativas a 50°C, la potencia se reduce a 10.79 kWp, debido al incremento de temperatura, lo que afecta la eficiencia de los paneles solares. La tensión en el punto de máxima potencia es de 91 V y la corriente es de 119 A. Los 27 módulos ocupan una superficie total de 53.9 m<sup>2</sup>, lo que es razonable para un sistema de 11.61 kWp.

El sistema fotovoltaico autónomo está bien dimensionado para cumplir con la demanda energética diaria de 31.9 kWh/día. Las características del sistema, como el uso de controladores MPPT de alta eficiencia, una adecuada gestión de las baterías de gel y un diseño optimizado del campo fotovoltaico, garantizan una operación eficiente y confiable. Las pérdidas de energía son mínimas, y la configuración asegura que el sistema pueda proporcionar la energía necesaria, incluso bajo condiciones operativas exigentes, como temperaturas elevadas. Este diseño es una solución sólida para un sistema autónomo en una región con buena irradiación solar.

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM-430N-54HL4R	Model	MPG 12V 105 F
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	430 Wp	Nb. of units	7 in parallel x 4 in series
Number of PV modules	27 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	11.61 kWp	Stored energy	29.1 kWh
Modules	9 string x 3 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
At operating cond. (50°C)		Voltage	48 V
Pmpp	10.79 kWp	Nominal Capacity	735 Ah (C10)
U mpp	91 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	119 A		
<b>Controller</b>		<b>Battery Management control</b>	
Manufacturer	Generic	Threshold commands as	SOC calculation
Model	SmartSolar MPPT 150/35 48V	Charging	SOC = 0.95 / 0.75
Nb. units	5 units	approx.	59.8 / 51.0 V
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.	approx.	47.4 / 49.5 V
<b>Converter</b>			
Maxi and EURO efficiencies	98.0 / 96.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	12 kWp		
Total	27 modules		
Module area	53.9 m²		

**Figura 29:** Generador fotovoltaico Caso de estudio N°3

**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

### **3.8.8. Batería Caso de estudio N°1**

El sistema utiliza baterías genéricas del modelo MPG 12V 105 F, son baterías de plomo-ácido selladas de gel, que son adecuadas para aplicaciones de almacenamiento de energía debido a su bajo mantenimiento y durabilidad en ciclos de carga/descarga profundos. El banco de baterías está configurado con 7 baterías en paralelo y 4 en serie.

El voltaje nominal del sistema es de 48 V, una configuración estándar para sistemas autónomos de almacenamiento que alimentan inversores y otros equipos de corriente continua (DC), la capacidad nominal del banco de baterías es de 735 Ah (C10). Esto se refiere a la capacidad de almacenamiento de energía cuando las baterías se descargan a una tasa de 10 horas.

La cantidad total de energía que puede almacenarse en el banco de baterías es de 29.1 kWh. Esta energía es crítica para garantizar la autonomía del sistema, especialmente durante días nublados o sin radiación solar adecuada. El umbral de descarga mínimo está establecido en 20%, lo que significa que las baterías no se descargarán por debajo de este nivel. Esto protege a las baterías de una descarga profunda que podría reducir significativamente su vida útil.

El sistema de gestión de batería utiliza comandos de umbral que ajustan la carga y descarga de las baterías basándose en el estado de carga (SOC). El sistema establece el SOC máximo en el rango del 95% al 75% para la carga y el SOC mínimo entre el 20% y 45% para la descarga. Estos rangos aseguran que las baterías se mantengan dentro de límites seguros para optimizar su ciclo de vida.

El sistema de almacenamiento con baterías de plomo-ácido selladas de gel está bien configurado para garantizar una operación eficiente y prolongada. La capacidad nominal de 735 Ah y la energía almacenada de 29.1 kWh proporcionan suficiente autonomía para cubrir la demanda energética diaria de 32.4 kWh, siempre que las condiciones solares sean favorables. El sistema de gestión del estado de carga y descarga protege las baterías contra daños, mientras que el controlador MPPT y el convertidor de alta eficiencia maximizan el rendimiento del sistema.

PV Array Characteristics	
<b>PV module</b>	
Manufacturer	Generic
Model	JKM-430N-54HL4R
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	430 Wp
Number of PV modules	21 units
Nominal (STC)	9.03 kWp
Modules	7 string x 3 In series
<b>At operating cond. (50°C)</b>	
Pmpp	8.39 kWp
U mpp	91 V
I mpp	92 A
<b>Controller</b>	
Manufacturer	Generic
Model	SmartSolar MPPT 150/35 48V
Nb. units	4 units
Technology	MPPT converter
Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.
<b>Converter</b>	
Maxi and EURO efficiencies	98.0 / 96.0 %
<b>Total PV power</b>	
Nominal (STC)	9 kWp
Total	21 modules
Module area	42.0 m <sup>2</sup>
<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic
Model	MPG 12V 105 F
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	7 in parallel x 4 in series
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	29.1 kWh
<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Voltage	48 V
Nominal Capacity	735 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C
<b>Battery Management control</b>	
Threshold commands as	SOC calculation
Charging approx.	SOC = 0.95 / 0.75 59.5 / 51.0 V
Discharging approx.	SOC = 0.20 / 0.45 47.4 / 49.5 V

**Figura 30:** Baterías Caso de estudio N°1  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

### 3.8.9. Batería Caso de estudio N°2

El banco de baterías utiliza un modelo genérico, MPG 12V 105 F, las baterías son del tipo plomo-ácido selladas de gel, conocidas por su estabilidad, baja necesidad de mantenimiento, y capacidad de operar en una variedad de entornos sin riesgo de fugas.

El sistema cuenta con 7 baterías conectadas en paralelo y 4 en serie. Esta configuración permite obtener un mayor voltaje y capacidad. El voltaje nominal del sistema es de 48 V, una configuración común en sistemas fotovoltaicos autónomos.

El banco de baterías tiene una capacidad nominal de 735 Ah (C10), lo que indica su capacidad de almacenamiento para una tasa de descarga en 10 horas. La energía total que puede almacenarse es de 29.1 kWh. Esto proporciona respaldo energético durante periodos de baja radiación solar, siendo suficiente para aproximadamente un día de consumo energético para una casa promedio.

El estado de carga mínimo para la descarga está establecido en 20%, lo que protege a las baterías de una descarga profunda que podría acortar su vida útil, tiene configurados rangos de estado de carga (SOC) para la carga y descarga:

- **Carga (SOC máximo):** Entre 95% y 75% con valores de voltaje aproximados de 60.1 V a 51.0 V.
- **Descarga (SOC mínimo):** Entre 20% y 45% con voltajes de 47.4 V a 49.5 V.

Estos umbrales aseguran que las baterías operen dentro de límites seguros y eficientes.

La capacidad nominal del sistema es de 17 kWp con un total de 39 módulos solares distribuidos en 13 strings con 3 módulos cada uno. Esto proporciona una considerable potencia para generar la energía necesaria para las cargas y la recarga de las baterías.

El banco de baterías de plomo-ácido sellado de gel está bien configurado para un sistema fotovoltaico autónomo. Con una capacidad de almacenamiento de 29.1 kWh y un sistema de gestión de carga y descarga eficiente, este sistema proporciona respaldo suficiente para una demanda energética diaria de 32.4 kWh. La alta eficiencia del controlador MPPT y del convertidor asegura que las pérdidas de energía sean mínimas, lo que optimiza el rendimiento general del sistema.

PV Array Characteristics	
<b>PV module</b>	
Manufacturer	Generic
Model	JKM-430N-54HL4R
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	430 Wp
Number of PV modules	39 units
Nominal (STC)	16.77 kWp
Modules	13 string x 3 In series
<b>At operating cond. (50°C)</b>	
Pmpp	15.59 kWp
U mpp	91 V
I mpp	172 A
<b>Controller</b>	
Manufacturer	Generic
Model	SmartSolar MPPT 150/35 48V
Nb. units	7 units
Technology	MPPT converter
Temp. coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.
<b>Converter</b>	
Maxi and EURO efficiencies	98.0 / 96.0 %
<b>Total PV power</b>	
Nominal (STC)	17 kWp
Total	39 modules
Module area	77.9 m <sup>2</sup>
<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic
Model	MPG 12V 105 F
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	7 in parallel x 4 in series
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	29.1 kWh
<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Voltage	48 V
Nominal Capacity	735 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C
<b>Battery Management control</b>	
Threshold commands as	SOC calculation
Charging	SOC = 0.95 / 0.75
approx.	60.1 / 51.0 V
Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
approx.	47.4 / 49.5 V

**Figura 31:** Baterías Caso de estudio N°2  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYST.

### **3.8.10. Batería Caso de estudio N°3**

La batería utilizada en este proyecto es un modelo genérico MPG 12V 105 F. Las baterías son del tipo plomo-ácido selladas de gel, una tecnología confiable que se caracteriza por su resistencia a descargas profundas y bajo mantenimiento.

El sistema tiene 7 baterías conectadas en paralelo y 4 en serie, lo que asegura una configuración robusta con un voltaje nominal de 48V, la capacidad total del banco de baterías es de 735 Ah (C10). Esto se refiere a la capacidad de la batería para almacenar energía durante un período de 10 horas de descarga continua.

El sistema es capaz de almacenar un total de 29.1 kWh, lo que proporciona suficiente respaldo para el consumo de un día promedio (31.9 kWh/día). El sistema de baterías tiene un estado de carga mínimo de 20% para la descarga. Esto significa que el sistema está programado para no descargar más del 80% de la energía almacenada, lo cual prolonga la vida útil de las baterías.

El sistema de gestión de carga se basa en el SOC (estado de carga) con valores de carga máximos de 95% a 75%, con voltajes de entre 59.8 V y 51.0 V, los niveles de descarga están establecidos en un rango de 20% a 45% con voltajes de entre 47.4 V y 49.5 V. Estos niveles de descarga son ideales para proteger las baterías de un desgaste prematuro.

El banco de baterías de plomo-ácido sellado de gel está configurado eficientemente para manejar un sistema autónomo con almacenamiento energético. Con una capacidad de 29.1 kWh y una gestión efectiva del estado de carga, el sistema es capaz de proporcionar energía confiable a lo largo del día. La alta eficiencia del controlador y convertidor asegura que las pérdidas energéticas se minimicen, optimizando el rendimiento general del sistema fotovoltaico.

PV Array Characteristics	
<b>PV module</b>	
Manufacturer	Generic
Model	JKM-430N-54HL4R
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	430 Wp
Number of PV modules	27 units
Nominal (STC)	11.61 kWp
Modules	9 string x 3 In series
<b>At operating cond. (50°C)</b>	
Pmpp	10.79 kWp
U mpp	91 V
I mpp	119 A
<b>Controller</b>	
Manufacturer	Generic
Model	SmartSolar MPPT 150/35 48V
Nb. units	5 units
Technology	MPPT converter
Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.
<b>Converter</b>	
Maxi and EURO efficiencies	98.0 / 96.0 %
<b>Total PV power</b>	
Nominal (STC)	12 kWp
Total	27 modules
Module area	53.9 m <sup>2</sup>
<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic
Model	MPG 12V 105 F
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	7 in parallel x 4 in series
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	29.1 kWh
<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Voltage	48 V
Nominal Capacity	735 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C
<b>Battery Management control</b>	
Threshold commands as	SOC calculation
Charging	SOC = 0.95 / 0.75
approx.	59.8 / 51.0 V
Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
approx.	47.4 / 49.5 V

**Figura 32:** Baterías Caso de estudio N°3  
**Fuente:** Realizado en el software PVSYSY.

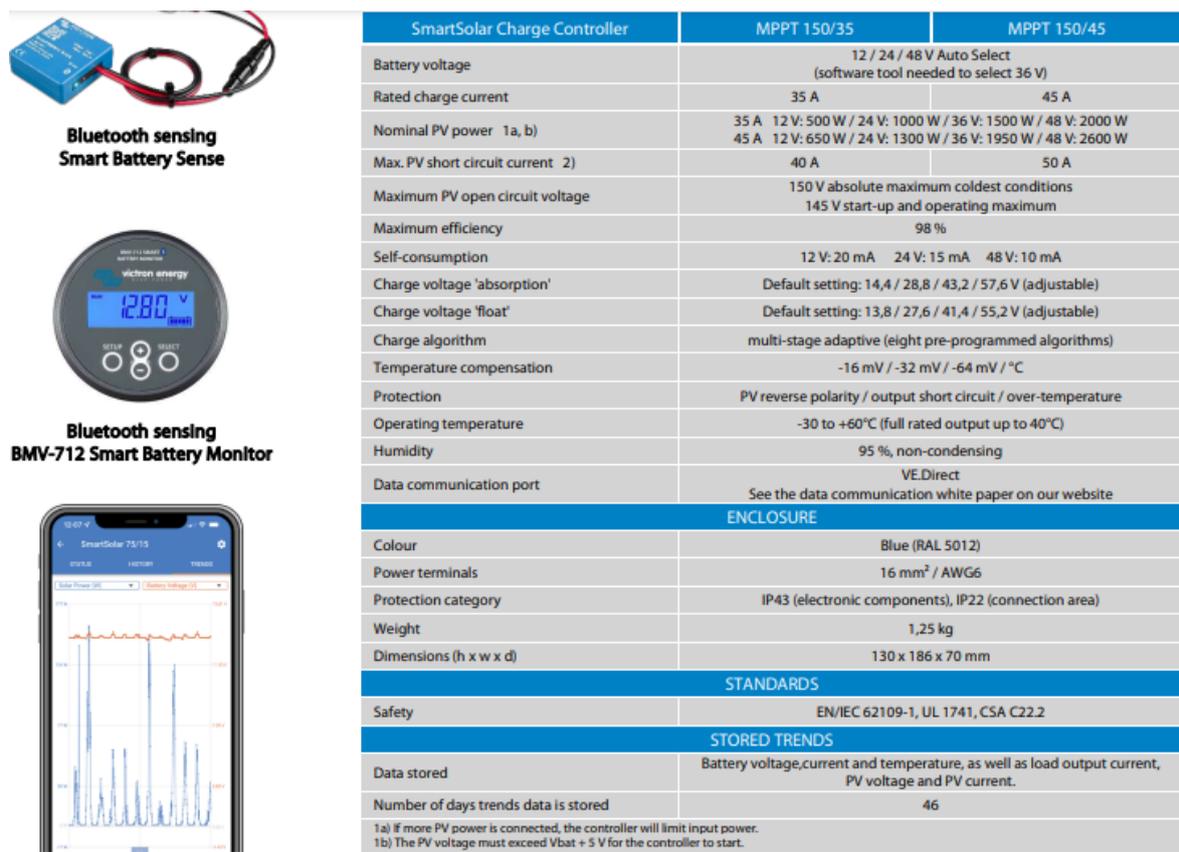
### 3.8.11. Regulador

El SmartSolar MPPT 150/35 48V es un controlador de carga solar avanzado, diseñado para maximizar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos que utilizan baterías. Este controlador se basa en la tecnología MPPT (Maximum Power Point Tracking), que optimiza la captura de energía al ajustar constantemente el punto de máxima potencia de los paneles solares según las condiciones ambientales.

El controlador SmartSolar MPPT es capaz de rastrear el punto de máxima potencia de los módulos solares con alta precisión, permitiendo extraer el máximo rendimiento energético incluso en condiciones de baja radiación solar, como en días nublados o en horas tempranas de la mañana y tarde. Además, tiene un coeficiente de temperatura de  $-2.7 \text{ mV}/^\circ\text{C}/\text{Elemento}$ , lo que significa que ajusta automáticamente la tensión de los paneles en función de los cambios de temperatura, mejorando la eficiencia del sistema.

Este modelo es compatible con sistemas de 48V, una configuración ideal para instalaciones fotovoltaicas medianas o grandes que requieren una alta capacidad de almacenamiento energético. Posee un rango de operación máximo de 150V, lo que le permite adaptarse a arreglos fotovoltaicos de varios módulos conectados en serie.

El SmartSolar MPPT 150/35 tiene una eficiencia de conversión extremadamente alta, con un rendimiento máximo del 98% y una eficiencia promedio del 96%. Esto minimiza las pérdidas de energía durante la conversión de la corriente generada por los paneles solares hacia la batería.



**Figura 33:** Características técnicas del regulador  
**Fuente:** Victron Energy

### 3.9. Resultados de simulación Caso de estudio N° 1

Este proyecto de sistema fotovoltaico autónomo simulado con el software PVsyst V7.4.8 para la base de datos meteorológicos Meteonor arroja resultados clave sobre la producción de energía, el rendimiento del sistema, la fracción solar utilizada y el envejecimiento de las baterías. El sistema es capaz de generar 11,146.09 kWh/año de energía utilizable para satisfacer las demandas de carga. De igual manera, la energía total disponible a partir de la radiación solar es de 15,757.62 kWh/año, lo que significa que el sistema podría generar esa cantidad en condiciones ideales.

El Performance Ratio (PR) es del 61.82%, lo que es razonable para un sistema fotovoltaico en condiciones reales. Este valor representa la eficiencia global del sistema al convertir la radiación solar en energía utilizable, teniendo en cuenta todas las pérdidas, incluidas las relacionadas con el equipo y las condiciones ambientales. La fracción solar (SF) es del 94.34%, lo que indica que casi toda la energía consumida por el sistema proviene de la energía solar, mostrando que el sistema es altamente dependiente de la generación solar, minimizando el uso de fuentes de respaldo. El sistema experimenta una pérdida de carga mínima, con solo 0.1% del tiempo sin suficiente energía para satisfacer la demanda.

El PR del 61.82% muestra que el sistema está funcionando de manera eficiente en un escenario realista. Aunque parte de la energía disponible no se aprovecha completamente, la energía utilizable generada es considerable y cubre la mayoría de las necesidades de la carga. Con una fracción solar del 94.34%, el sistema tiene una alta autosuficiencia energética, utilizando en gran medida la energía solar generada. El sistema, en general, es bastante eficiente, pero puede beneficiarse de ajustes para reducir el exceso de energía no utilizada y minimizar la energía faltante.

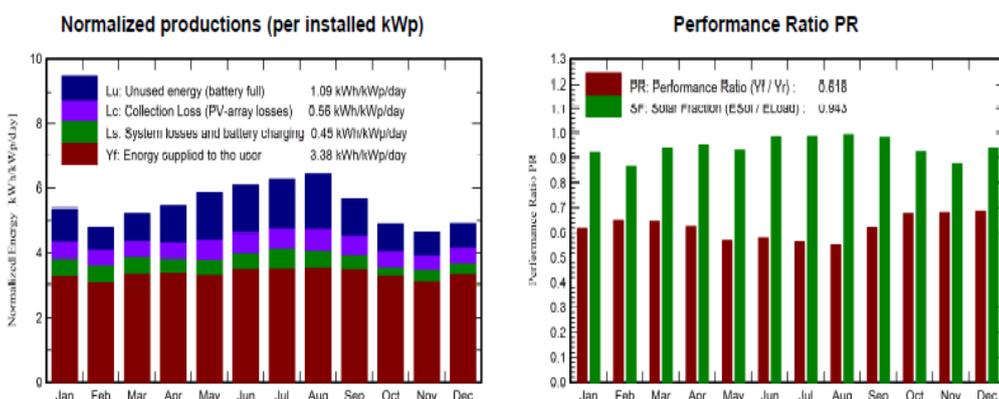
**System Production**

Useful energy from solar	11146.09 kWh/year
Available solar energy	15757.62 kWh/year
Excess (unused)	3576.50 kWh/year
<b>Loss of Load</b>	
Time Fraction	0.1 %
Missing Energy	690.13 kWh/year

Perf. Ratio PR	61.82 %
Solar Fraction SF	94.34 %

**Battery aging (State of Wear)**

Cycles SOW	82.5 %
Static SOW	91.7 %



**Figura 34:** Resultados de simulación Caso de estudio N° 1

**Fuente:** Elaboración Propia en PVSyst

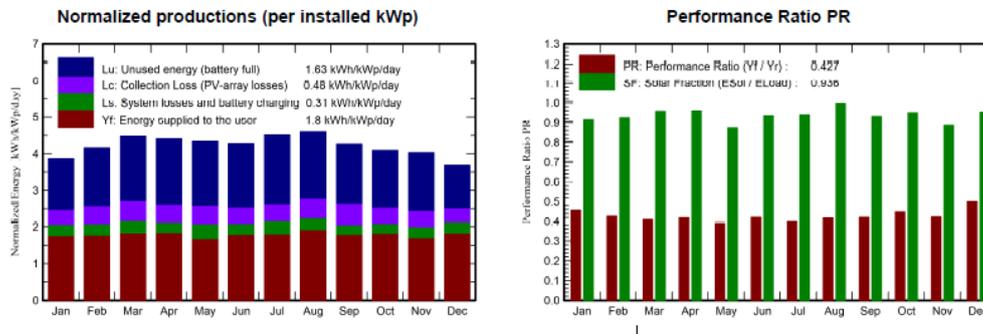
### **3.10. Resultados de simulación Caso de estudio N° 2**

El sistema proporciona 11,036.06 kWh/año de energía útil a la red de consumo, la cantidad de energía solar disponible para el sistema es 22,347.05 kWh/año, lo que representa el potencial teórico de energía que se podría aprovechar bajo condiciones ideales. Hay un exceso de 9,977.32 kWh/año de energía que no se pudo aprovechar debido a limitaciones del sistema (como capacidad de almacenamiento en baterías o demanda menor a la generada).

El PR es del 42.66%, un indicador relativamente bajo, que sugiere que el sistema experimenta pérdidas significativas en el proceso de conversión de energía solar a energía útil. Factores como las condiciones climatológicas, temperatura, y eficiencia del equipo pueden contribuir a este valor. El Solar Fraction (SF) es del 93.57%, lo que significa que el sistema cubre más del 93% de las necesidades energéticas utilizando energía solar, lo que indica una alta dependencia y autosuficiencia con la energía generada. Solo un 0.1% del tiempo no se cubre la demanda con la energía solar generada, lo cual es un indicador muy positivo.

La energía que falta para cubrir la demanda es de 800.16 kWh/año, lo que sugiere que, aunque el sistema genera y almacena suficiente energía, en algunos momentos de alta demanda o baja radiación solar, no puede satisfacer completamente las necesidades. Los meses con mayor radiación (como julio y agosto) muestran niveles más altos de energía utilizable con pérdidas menores, mientras que en meses con menor irradiancia (como enero y febrero), la energía no utilizada aumenta y la energía faltante es mayor.

<b>System Production</b>			
Useful energy from solar	11036.06 kWh/year	Perf. Ratio PR	42.66 %
Available solar energy	22347.05 kWh/year	Solar Fraction SF	93.57 %
Excess (unused)	9977.32 kWh/year		
<b>Loss of Load</b>			
Time Fraction	0.1 %	<b>Battery aging (State of Wear)</b>	
Missing Energy	800.16 kWh/year	Cycles SOW	82.5 %
		Static SOW	91.7 %



**Figura 35:** Resultados de simulación Caso de estudio N° 2  
**Fuente:** Elaboración Propia en PVSyst

### 3.11. Resultados de simulación Caso de estudio N° 3

La energía útil generada es de 11,580.19 kWh/año, lo que representa un 51.55% de la energía solar disponible. Este valor puede variar dependiendo del tamaño del sistema, la eficiencia de los componentes y las condiciones meteorológicas. Hay un excedente de 6,254.18 kWh/año, que no se está utilizando, lo que podría indicar que el sistema tiene una capacidad de almacenamiento adecuada para manejar el exceso.

La Fracción Solar (SF) es de 99.85% de la energía producida es utilizada para cubrir la demanda, lo que sugiere un sistema altamente eficiente en cuanto a la utilización de la energía generada. El sistema no muestra pérdida de carga, y el tiempo de energía perdida es bastante bajo en comparación con la energía generada, lo que indica una buena gestión de la energía. La producción y la eficiencia varían a lo largo del año, con picos en los meses de verano (julio y agosto) y valores más bajos en invierno. La relación de rendimiento (PR) y la fracción solar (SolFrac) son bastante consistentes durante el año con un 51,55%, indicando que el sistema está operando de manera eficiente en diferentes condiciones.

### System Production

Useful energy from solar 11580.19 kWh/year  
 Available solar energy 19887.31 kWh/year  
 Excess (unused) 6254.18 kWh/year

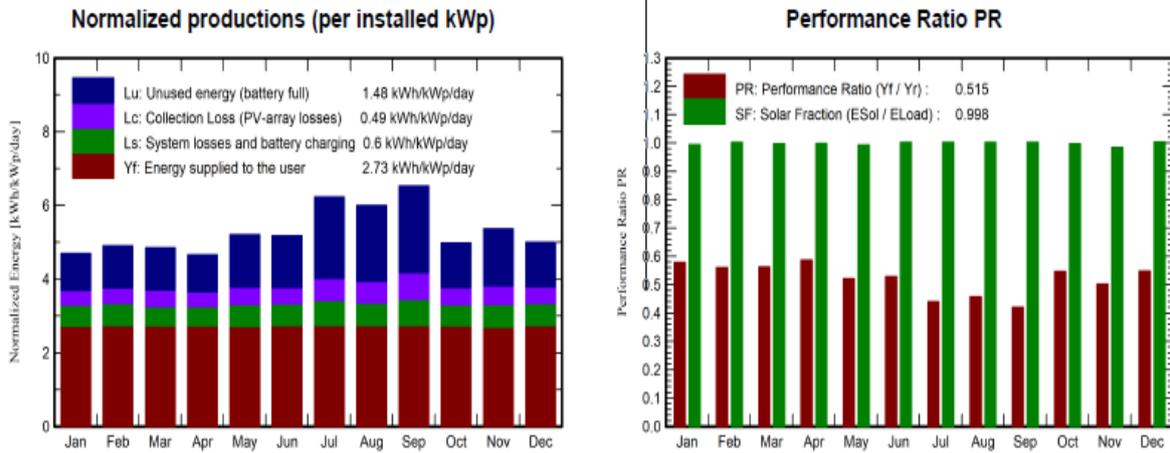
Perf. Ratio PR 51.55 %  
 Solar Fraction SF 99.85 %

### Loss of Load

Time Fraction 0.0 %  
 Missing Energy 45.79 kWh/year

### Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 80.0 %  
 Static SOW 91.7 %



**Figura 36:** Resultados de simulación Caso de estudio N° 2

**Fuente:** Elaboración Propia en PVSyst

### 3.12. Comparativo de resultados de la energía solar disponible y arreglo de paneles solares por base de datos meteorológicos

**Tabla 7:** Resultados de la energía solar disponible y arreglo de paneles solares por base de datos meteorológicos

PARÁMETRO	CALCULADA	METEONORM	NASA	PVGIS
$E_{panel}$ [kWh/día]	2,121 kWh /día	2,121 kWh/día	1,645 kWh /día	2,063 kWh /día
$N_{ramasparalelo}$	3	7	13	9
$N_{modulosserie}$	6	3	3	3
$Paneles_{totales}$	18	21	39	27
Área ocupada	35.82 m <sup>2</sup>	42 m <sup>2</sup>	77,9 m <sup>2</sup>	53,9 m <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

La energía generada por panel varía entre las fuentes, tanto la configuración calculada como la basada en METEONORM dan la mayor energía diaria por panel (2,121 kWh/día), mientras que PVGIS es ligeramente menor con 2.063 kWh/día. Sin embargo, NASA proporciona un valor significativamente menor (1,645 kWh/día), lo que podría indicar condiciones climáticas menos favorables o una menor irradiación solar en los datos utilizados por esta base. Menores valores de energía por panel, como los de NASA, implican que se necesitarían más paneles o un arreglo más grande para generar la misma cantidad de energía, lo que incrementaría los costos y el espacio necesario para la instalación.

El número de ramas en paralelo varía significativamente. NASA requiere el mayor número de ramas en paralelo (13), mientras que la configuración calculada tiene el menor número (3). Un mayor número de ramas en paralelo distribuye mejor la corriente, lo que puede ayudar a reducir las pérdidas y a optimizar el rendimiento del sistema, pero también implica una mayor cantidad de cableado y componentes, aumentando los costos de instalación. La configuración calculada, con solo 3 ramas en paralelo, puede ser más económica, pero con un mayor riesgo de sobrecargar las ramas en algunas condiciones.

Todas las configuraciones utilizan 3 módulos en serie, excepto la configuración calculada, que utiliza 6 módulos en serie. El número de módulos en serie afecta el voltaje del sistema, más módulos en serie, como en la configuración calculada, implican un voltaje más alto, lo que puede ser útil para reducir pérdidas en la transmisión de energía, aunque requiere un inversor capaz de manejar ese voltaje. Las configuraciones de METEONORM, NASA, y PVGIS parecen estar diseñadas para mantener un voltaje más bajo y estable, lo que simplifica el diseño del inversor.

NASA requiere el mayor número de paneles (39), lo que está relacionado con su menor energía por panel (1,645 kWh/día). La configuración calculada, al tener una mayor energía por panel, requiere solo 18 paneles. Un mayor número de paneles implica mayores costos y espacio requerido para la instalación. La configuración calculada es la más eficiente en términos de número de paneles necesarios para alcanzar la misma generación de energía. NASA también requiere el mayor espacio para la instalación debido a su mayor número de paneles, mientras que la configuración calculada utiliza el menor espacio (35.82 m<sup>2</sup>).

En proyectos donde el espacio disponible es limitado, la configuración calculada es claramente más ventajosa. La base de datos NASA tiene un diseño menos eficiente en términos de uso del espacio.

**Tabla 8:** Resultados del sistema de acumulación

PARÁMETRO	CALCULADA	METEONORM	NASA	PVGIS
$C_{sist\_acum}$ [Ah]	958,109 Ah	958,109 Ah	958,109 Ah	958,109 Ah
$N_{batparalelo}$	9	7	7	7
$N_{batserie}$	4	4	4	4
$Baterías_{totales}$	36	28	28	28

**Fuente:** Elaboración Propia

La capacidad de almacenamiento total de 958,109 Ah es constante en todas las configuraciones, lo que asegura que la cantidad de energía almacenada es la misma. Sin embargo, la configuración calculada utiliza más baterías en paralelo (9 en lugar de 7), lo que distribuye mejor la carga, pero requiere más baterías totales.

Las configuraciones basadas en las bases de datos (METEONORM, NASA, PVGIS) usan menos baterías (28 en total) y podrían ser más eficientes en términos de costo y espacio, aunque con una menor redundancia en cuanto a la distribución de corriente entre las baterías.

El mayor número de baterías en paralelo en la configuración calculada sugiere un diseño más robusto, pero más costoso. Si el objetivo es optimizar el costo y el espacio, las configuraciones con menos baterías podrían ser más atractivas, pero con una posible reducción en la vida útil del sistema debido a la mayor corriente por batería.

**Tabla 9:** Resultados del sistema de regulación

PARÁMETRO	CALCULADA	METEONORM	NASA	PVGIS
$I_{reg} [A]$	53,363 A	124,513A	231,238 A	160,088 A
$N_{regparalelo}$	2	4	7	5
$N_{regserie}$	1	1	1	1

**Fuente:** Elaboración Propia

La corriente del regulador varía significativamente entre las diferentes configuraciones. El valor calculado es el más bajo (53.363 A), mientras que la configuración basada en NASA muestra el valor más alto (231.238 A).

Un mayor valor de corriente del regulador implica que se necesita un regulador más grande o varios reguladores en paralelo para manejar el flujo de energía proveniente de los paneles solares. Un valor más alto de corriente también puede generar más calor en los componentes electrónicos, lo que requiere sistemas de refrigeración más eficientes. En contraste, una corriente más baja, como en la configuración calculada, permite utilizar reguladores más pequeños, lo que reduce costos y la necesidad de complejidad en la gestión térmica.

La cantidad de reguladores en paralelo aumenta con la corriente que se espera manejar en el sistema. La configuración basada en NASA utiliza 7 reguladores en paralelo, mientras que la configuración calculada usa solo 2. Un mayor número de reguladores en paralelo distribuye la carga eléctrica entre varios dispositivos, lo que mejora la eficiencia y prolonga la vida útil del sistema, ya que cada regulador maneja menos corriente. Sin embargo, esto también aumenta los costos del sistema, la complejidad de la instalación y el espacio necesario para los equipos. En comparación, la configuración calculada utiliza solo 2 reguladores en paralelo, lo que reduce la complejidad y el costo, pero hace que cada regulador tenga que manejar más corriente individualmente.

Todas las configuraciones utilizan 1 regulador en serie, lo que indica que el sistema está diseñado para operar a un voltaje constante y no hay necesidad de aumentar el voltaje mediante la conexión de reguladores en serie. Mantener 1 regulador en serie simplifica el diseño del

sistema y evita problemas relacionados con la gestión de diferentes niveles de voltaje. Esto también indica que el sistema está diseñado para manejar toda la corriente a un voltaje determinado.

### 3.13. Determinación de energía disponible en techos de los CEPROBYS

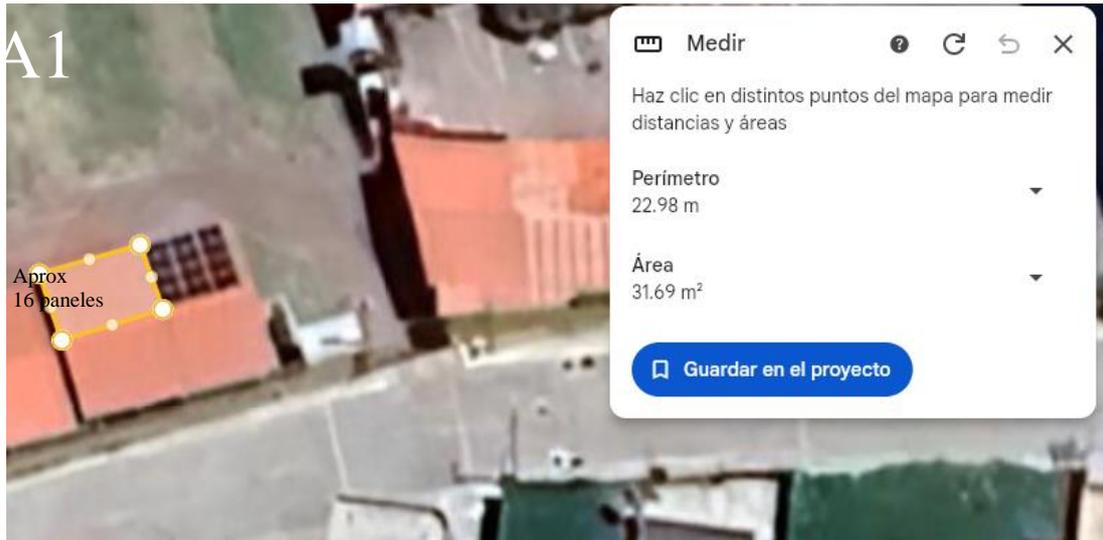
Para determinar el potencial energético solar disponible en los techos del Centro de Producción de Bienes y Servicios (CEPROBYS) del Universitario Rumiñahui. A través de un análisis detallado de la radiación solar incidente, las características de los techos y la eficiencia de los paneles solares, se busca cuantificar la cantidad de energía eléctrica que podría generarse a partir de esta fuente renovable. Los resultados obtenidos servirán como base para evaluar la viabilidad técnica de implementar un sistema fotovoltaico en estas instalaciones, contribuyendo así a la generación de energía limpia y sostenible en la institución.

Para ello, se determinó el área en metros cuadrados de cada espacio disponible mediante la aplicación web Google earth y se dividió entre 1,99 m<sup>2</sup> que corresponde al área de cada panel y así se obtiene el número aproximado de paneles que se pueden instalar como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10:** Número de paneles por área

ITEM	NP
A1	16
A2	34
A3	26
A4	32
A5	26
A6	30
A7	25
A8	28
A9	86
A10	102
A11	62
A12	60

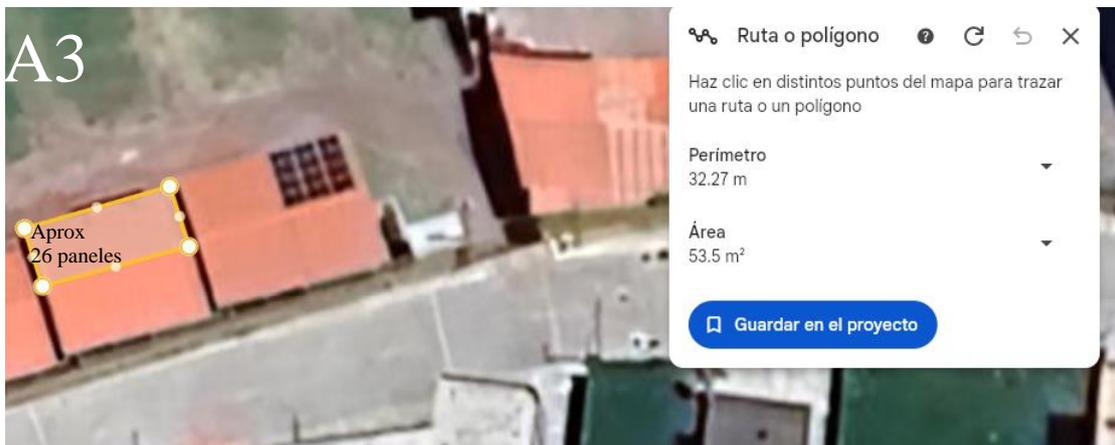
**Fuente:** Elaboración Propia



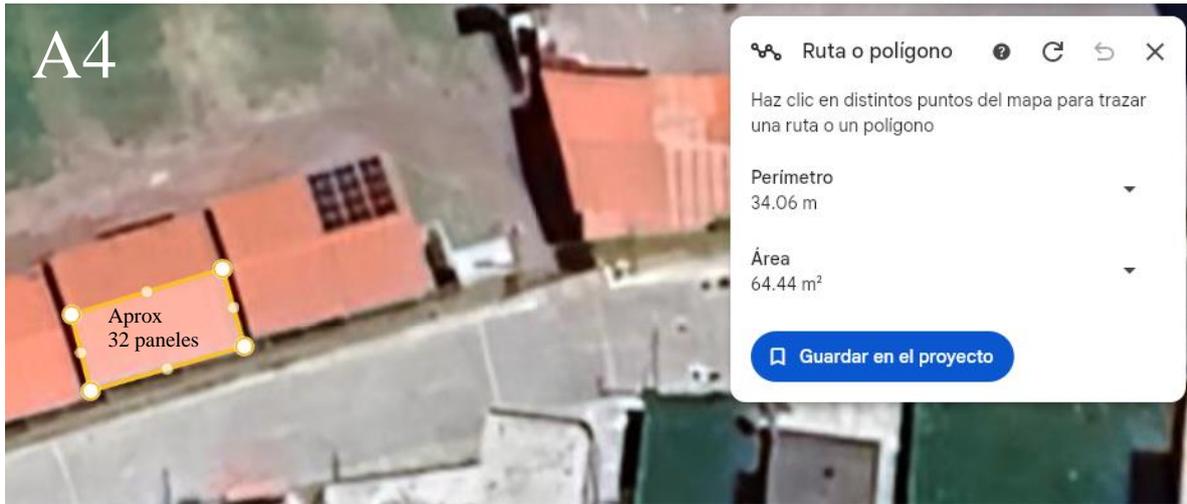
**Figura 37:** Medidas de espacio disponibles en techos del A1  
**Fuente:** Google earth



**Figura 38:** Medidas de espacio disponibles en techos del A2  
**Fuente:** Google earth



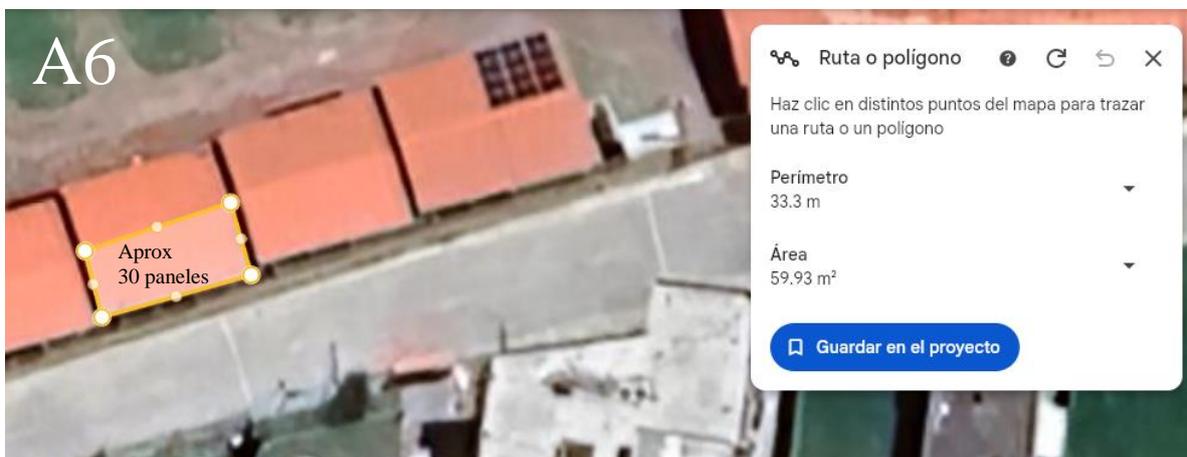
**Figura 39:** Medidas de espacio disponibles en techos del A3  
**Fuente:** Google earth



**Figura 40:** Medidas de espacio disponibles en techos del A4  
**Fuente:** Google earth



**Figura 41:** Medidas de espacio disponibles en techos del A5  
**Fuente:** Google earth



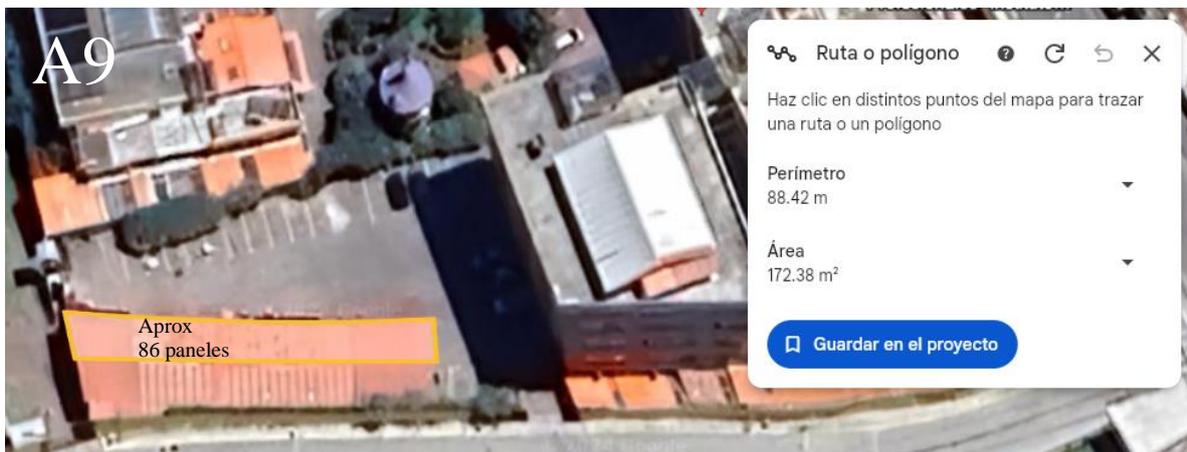
**Figura 42:** Medidas de espacio disponibles en techos del A6  
**Fuente:** Google earth



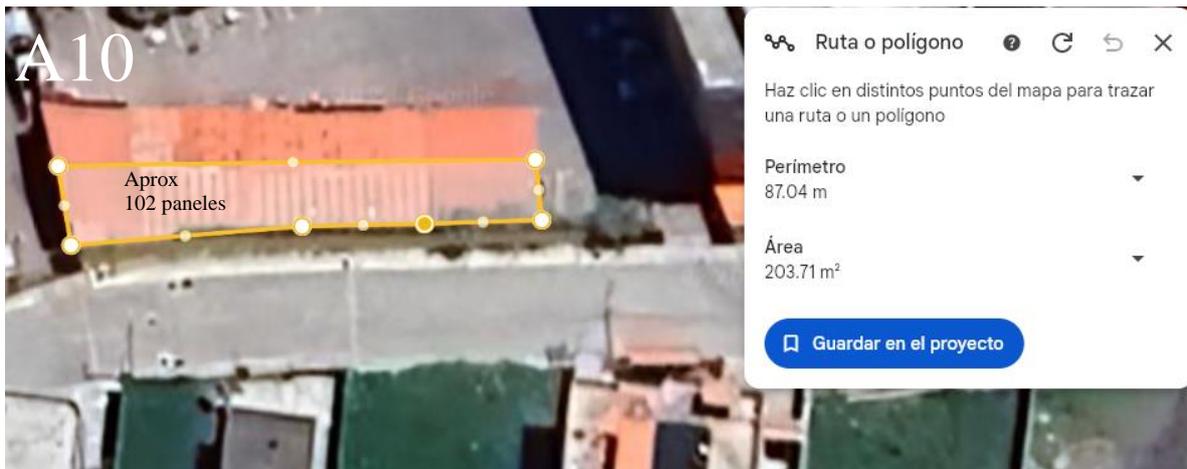
**Figura 43:** Medidas de espacio disponibles en techos del A7  
**Fuente:** Google earth



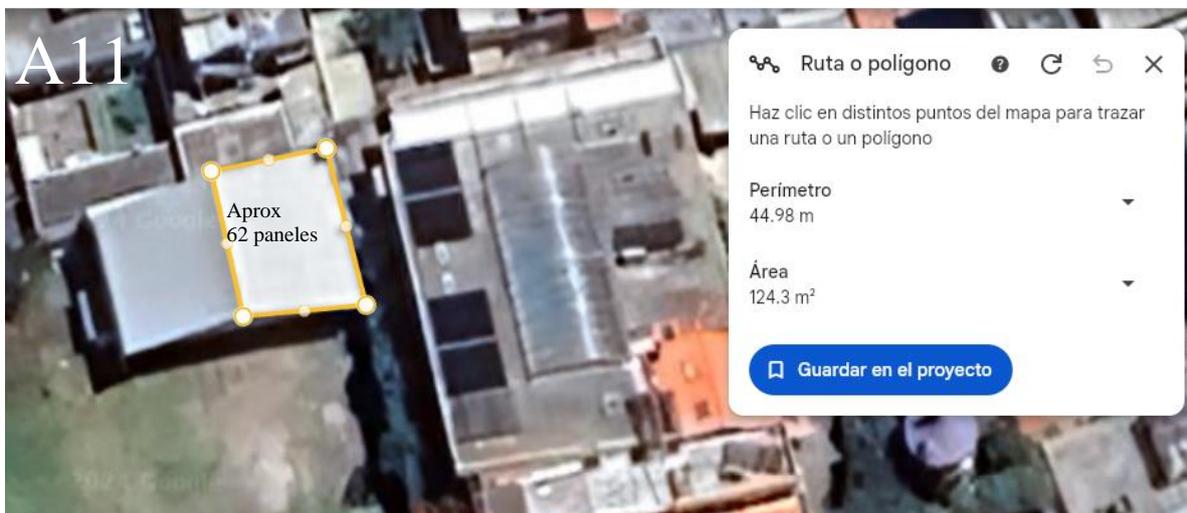
**Figura 44:** Medidas de espacio disponibles en techos del A8  
**Fuente:** Google earth



**Figura 45:** Medidas de espacio disponibles en techos del A9  
**Fuente:** Google earth



**Figura 46:** Medidas de espacio disponibles en techos del A10  
**Fuente:** Google earth



**Figura 47:** Medidas de espacio disponibles en techos del A11  
**Fuente:** Google earth



**Figura 48:** Medidas de espacio disponibles en techos del A12  
**Fuente:** Google earth

**Tabla 11:** Cálculo de Energía disponible en techos con la base de datos METEONOR 8.1

<b>METEONOR 8,1</b>					
<b>ITEM</b>	<b>REND</b>	<b>HSP</b>	<b>PP</b>	<b>NP</b>	<b>EPANEL Kwh/día</b>
A1	0,9	5,48	430	16	33,93216
A2	0,9	5,48	430	34	72,10584
A3	0,9	5,48	430	26	55,13976
A4	0,9	5,48	430	32	67,86432
A5	0,9	5,48	430	26	55,13976
A6	0,9	5,48	430	30	63,6228
A7	0,9	5,48	430	25	53,019
A8	0,9	5,48	430	28	59,38128
A9	0,9	5,48	430	86	182,38536
A10	0,9	5,48	430	102	216,31752
A11	0,9	5,48	430	62	131,48712
A12	0,9	5,48	430	60	127,2456
<b>Epanel TOTAL</b>					<b>1117,64052</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla 11 proporciona un cálculo detallado de la energía solar disponible en diferentes zonas de los techos en CEPROBYS, utilizando la base de datos meteorológica METEONOR 8.1. Cada fila representa una zona específica del techo, y las columnas indican los siguientes parámetros:

**ITEM:** Identificador de la zona del techo.

**REND:** Rendimiento o eficiencia del panel solar, expresado como un decimal (0.9 en este caso, lo que equivale a 90%).

**HSP:** Horas de sol pico, es decir, el número de horas al día en que la radiación solar es máxima.

**PP:** Potencia pico del panel solar, expresada en vatios (W).

**NP:** Número de paneles en la zona.

**EPANEL:** Energía generada por la zona, expresada en kWh/día.

Para calcular la Energía se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Energía (kWh/día)} = \frac{\text{REND} * \text{HSP} * \text{PP} * \text{NP}}{1000}$$

La suma de todas las energías individuales (EPANEL TOTAL) indica la cantidad total de energía que se puede generar en todo el techo, en este caso, 1117.64 kWh/día. Al comparar los valores de EPANEL para cada zona, se puede observar cómo se distribuye la generación de energía en el techo. Algunas zonas, como A9 y A10, generan más energía debido a un mayor número de paneles. Los resultados muestran el potencial energético del techo para generar electricidad a partir de la energía solar.

Los datos mostrados en la tabla 12 muestran una menor cantidad de horas de sol pico proporcionadas por la NASA sugiere que la ubicación del proyecto podría recibir menos radiación solar directa en comparación con las estimaciones de METEONOR. El uso de datos de la NASA podría considerarse más conservador, ya que proporciona una estimación más baja de la energía generada. Esto puede ser útil para evitar sobredimensionar el sistema y garantizar que se cumplan las expectativas de producción. La elección de la base de datos de radiación solar tiene un impacto significativo en los resultados del cálculo. Es fundamental seleccionar una base de datos que proporcione datos precisos y representativos de la ubicación del proyecto.

**Tabla 12:** Cálculo de Energía disponible en techos con la base de datos NASA

NASA					
ITEM	REND	HSP	PP	NP	EPANEL Kwh/día
A1	0,9	4,25	430	16	26,316
A2	0,9	4,25	430	34	55,9215
A3	0,9	4,25	430	26	42,7635
A4	0,9	4,25	430	32	52,632
A5	0,9	4,25	430	26	42,7635
A6	0,9	4,25	430	30	49,3425
A7	0,9	4,25	430	25	41,11875
A8	0,9	4,25	430	28	46,053
A9	0,9	4,25	430	86	141,4485
A10	0,9	4,25	430	102	167,7645
A11	0,9	4,25	430	62	101,9745
A12	0,9	4,25	430	60	98,685
<b>Epanel TOTAL</b>					<b>866,78325</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

La suma de todas las energías individuales (EPANEL TOTAL) en la tabla 13 indica la cantidad total de energía que se puede generar en todo el techo, en este caso, 1087.04 kWh/día. Al comparar los valores de EPANEL para cada zona, se puede observar cómo se distribuye la generación de energía en el techo. Las zonas con mayor número de paneles (A9, A10, A11, A12) generan una mayor cantidad de energía. El uso de PVGIS como base de datos garantiza una estimación más precisa de la radiación solar y, por lo tanto, de la energía generada. Los datos de PVGIS son ampliamente utilizados en la industria solar debido a su confiabilidad.

**Tabla 13:** Cálculo de Energía disponible en techos con la base de datos PVGYS

PVGYS					
ITEM	REND	HSP	PP	NP	EPANEL
A1	0,9	5,33	430	16	33,00336
A2	0,9	5,33	430	34	70,13214
A3	0,9	5,33	430	26	53,63046
A4	0,9	5,33	430	32	66,00672
A5	0,9	5,33	430	26	53,63046
A6	0,9	5,33	430	30	61,8813
A7	0,9	5,33	430	25	51,56775
A8	0,9	5,33	430	28	57,75588
A9	0,9	5,33	430	86	177,39306
A10	0,9	5,33	430	102	210,39642
A11	0,9	5,33	430	62	127,88802
A12	0,9	5,33	430	60	123,7626
<b>Epanel TOTAL</b>					<b>1087,04817</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla 14 muestra los resultados de cálculos de energía solar disponibles en diferentes zonas de un techo, utilizando tres bases de datos meteorológicas distintas: METEONOR 8.1, NASA y PVGIS. Cada base de datos proporciona estimaciones de radiación solar que influyen directamente en el cálculo de la energía generada por un sistema fotovoltaico.

Se observa una variación considerable en los valores de energía generada (EPANEL) para cada zona del techo al comparar los resultados de las tres bases de datos. En general, las tendencias entre las diferentes zonas son similares para las tres bases de datos. Es decir, las zonas con un mayor número de paneles suelen generar una mayor cantidad de energía.

Las diferencias más significativas se encuentran en los valores absolutos de la energía generada, lo que indica que la elección de la base de datos tiene un impacto directo en la estimación del potencial energético de un sistema solar. Esta base de datos tiende a proporcionar valores ligeramente más altos de energía generada en comparación con las otras dos. Esto podría indicar que los datos de radiación solar utilizados por METEONOR son ligeramente más optimistas.

Los resultados obtenidos con la base de datos NASA suelen ser ligeramente inferiores a los de METEONOR, lo que sugiere que los datos de radiación solar utilizados por NASA podrían ser más conservadores. Los resultados obtenidos con PVGIS se encuentran generalmente entre los de METEONOR y NASA, pero PVGIS ofrece una buena precisión y es ampliamente utilizada en la industria solar.

La resolución espacial de los datos de radiación solar varía entre las diferentes bases de datos. Una resolución más alta permite capturar variaciones locales en la radiación solar con mayor detalle. Cada base de datos utiliza modelos atmosféricos diferentes para estimar la radiación solar, lo que puede llevar a variaciones en los resultados.

**Tabla 14:** Comparativo del Cálculo de Energía disponible en techos

Base de datos meteorológicos	Epanel A1	Epanel A2	Epanel A3	Epanel A4	Epanel A5	Epanel A6	Epanel A7	Epanel A8	Epanel A9	Epanel A10	Epanel A11	Epanel A12	Epanel TOTAL
<b>METEONOR 8,1</b>	33,93	72,11	55,14	67,86	55,14	63,62	53,02	59,38	182,39	216,32	131,49	127,25	1117,64
<b>NASA</b>	26,32	55,92	42,76	52,63	42,76	49,34	41,12	46,05	141,45	167,76	101,97	98,69	866,78
<b>PVGYS</b>	33,00	70,13	53,63	66,01	53,63	61,88	51,57	57,76	177,39	210,40	127,89	123,76	1087,05

**Fuente:** Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

La configuración calculada y METEONORM son las más eficientes en términos de energía generada por panel, lo que significa que pueden satisfacer la demanda energética con un número menor de paneles y menos espacio.

La configuración NASA tiene la mayor demanda de espacio y paneles debido a su menor producción de energía por panel. Esto puede hacerla menos eficiente en proyectos con limitaciones de espacio y presupuesto.

La configuración calculada requiere menos paneles y ocupa menos espacio, lo que probablemente reduzca los costos de instalación y el uso de componentes como cableado e inversores. Sin embargo, al tener más módulos en serie, puede requerir un inversor más robusto para manejar el voltaje, lo que podría aumentar los costos de este componente en particular.

Aunque las configuraciones basadas en METEONORM, NASA, y PVGIS utilizan menos módulos en serie (3), lo que simplifica el diseño eléctrico, la configuración calculada con 6 módulos en serie podría ser más eficiente para reducir pérdidas por transmisión, aunque con un sistema eléctrico ligeramente más complejo.

La configuración basada en NASA requiere la mayor corriente (231.238 A), lo que implica la necesidad de un sistema de regulación mucho más robusto, con reguladores de mayor capacidad o múltiples reguladores en paralelo. La configuración calculada, con solo 53.363 A, es la más compacta y económica en términos de manejo de corriente, aunque cada regulador deberá manejar más carga.

Un mayor número de reguladores en paralelo, como en la configuración de NASA, proporciona redundancia y mejor manejo de corriente, pero aumenta los costos y la complejidad de instalación. La configuración calculada es más simple y económica con solo 2 reguladores en paralelo, pero a costa de una mayor carga por regulador.

Todas las configuraciones utilizan un solo regulador en serie, lo que indica que no hay necesidad de aumentar el voltaje a través de reguladores en serie. Esto mantiene la simplicidad en el diseño y permite que el sistema se enfoque en el manejo de corriente en paralelo.

La elección de la base de datos de radiación solar es crucial para obtener una estimación precisa del potencial energético de un sistema solar.

## RECOMENDACIONES

Para configuraciones con corrientes elevadas, como las derivadas de los datos de NASA y PVGIS, se recomienda utilizar reguladores de alta capacidad o instalar varios reguladores en paralelo. Esto ayudará a distribuir la carga y evitará el sobrecalentamiento o la sobrecarga de un solo regulador.

Implementar un diseño modular de reguladores permite ajustar el sistema según la demanda de energía o las variaciones en la radiación solar. Esto es especialmente útil en sistemas basados en datos de **NASA**, donde la corriente esperada es mayor.

En sistemas más grandes y complejos, como los basados en los datos de NASA o PVGIS, es recomendable implementar un mayor número de reguladores en paralelo para garantizar una operación más fiable y estable, además de permitir un mantenimiento más sencillo en caso de fallo de un regulador.

Se recomienda instalar los reguladores en áreas bien ventiladas o con dispositivos de refrigeración integrados. Esto es particularmente importante en zonas cálidas o en instalaciones expuestas al sol directo.

## REFERENCIAS

- Aguirre, L. (2020). *Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica: Unidad | PDF | Energía solar | Fotovoltaica*. <https://es.scribd.com/document/479817254/8448171691-1-1-docx>
- Al-Alwani, M. A. M., Mohamad, A. B., Ludin, N. A., Kadhum, A. A. H., & Sopian, K. (2016). Dye-sensitised solar cells: Development, structure, operation principles, electron kinetics, characterisation, synthesis materials and natural photosensitisers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 183–213. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.045>
- AlKassem, A., Draou, A., Alamri, A., & Alharbi, H. (2022). Design Analysis of an Optimal Microgrid System for the Integration of Renewable Energy Sources at a University Campus. *Sustainability*, 14(7), 4175. <https://doi.org/10.3390/su14074175>
- Allam, M. A., Hamad, A. A., Kazerani, M., & El-Saadany, E. F. (2018). A Novel Dynamic Power Routing Scheme to Maximize Loadability of Islanded Hybrid AC/DC Microgrids Under Unbalanced AC Loading. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5798–5809. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2697360>
- Ang, T.-Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
- Chen, B., Wang, J., Lu, X., Chen, C., & Zhao, S. (2021). Networked Microgrids for Grid Resilience, Robustness, and Efficiency: A Review. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(1), 18–32. <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.3010570>
- Coelho, S., Machado, J., Monteiro, V., & Afonso, J. L. (2022). Power electronics technologies for renewable energy sources. In *Recent Advances in Renewable Energy Technologies* (pp. 403–455). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823532-4.00003-3>
- Daus, Y., Yudaev, I., Taranov, M., Voronin, S., & Gazalov, V. (2019). Reducing the Costs for Consumed Electricity through the Solar Energy Utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9, 19–23.

<https://doi.org/https://doi.org/10.32479/ijeep.7201>

- Duarte, F., Torres, J. P. N., Baptista, A., & Marques Lameirinhas, R. A. (2021). Optical Nanoantennas for Photovoltaic Applications. *Nanomaterials*, *11*(2), 422. <https://doi.org/10.3390/nano11020422>
- Eajal, A. A., El-Saadany, E. F., & Ponnambalam, K. (2017). Optimal power flow for converter-dominated AC/DC hybrid microgrids. *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 603–608. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2017.7915427>
- Ghosh, S., & Yadav, R. (2021). Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101410. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101410>
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. B. M. A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>
- Inca Yajamín, G. S., Cabrera Carrión, D. F., Villalta Gualán, D. F., Bautista Zurita, R. C., & Cabrera Carrion, H. D. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(3), 9493–9509. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i3.6835](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835)
- Iqbal, S., Jan, M. U., Anis-Ur-Rehman, Rehman, A. U., Shafiq, A., Rehman, H. U., & Aurangzeb, M. (2022). Feasibility Study and Deployment of Solar Photovoltaic System to Enhance Energy Economics of King Abdullah Campus, University of Azad Jammu and Kashmir Muzaffarabad, AJK Pakistan. *IEEE Access*, *10*, 5440–5455. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3140723>
- IRENA. (2024). *Crecimiento récord en energías renovables, pero el progreso debe ser equitativo*. <https://www.irena.org/News/pressreleases/2024/Mar/Record-Growth-in-Renewables-but-Progress-Needs-to-be-Equitable-ES>
- Kalogirou, S. (2017). *McEvoy's Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Academic Press.

- Kwasinski, A., Krishnamurthy, V., Song, J., & Sharma, R. (2012). Availability Evaluation of Micro-Grids for Resistant Power Supply During Natural Disasters. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), 2007–2018. <https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2197832>
- Marques Lameirinhas, R. A., Torres, J. P. N., & de Melo Cunha, J. P. (2022). A Photovoltaic Technology Review: History, Fundamentals and Applications. *Energies*, 15(5), 1823. <https://doi.org/10.3390/en15051823>
- Méndez, K. (2023). *Propuesta de una red WLAN alimentada con energía fotovoltaica para los departamentos de rectorado, vicerrectorado, departamento médico y consejería estudiantil, caso de estudio unidad educativa fiscal 23 de octubre Montecristi*. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/43169>
- Mitali, J., Dhinakaran, S., & Mohamad, A. A. (2022). Energy storage systems: a review. *Energy Storage and Saving*, 1(3), 166–216. <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>
- Nikzad, A., Chahartaghi, M., & Ahmadi, M. H. (2019). Technical, economic, and environmental modeling of solar water pump for irrigation of rice in Mazandaran province in Iran: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118007. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118007>
- Olabi, A. G., Onumaegbu, C., Wilberforce, T., Ramadan, M., Abdelkareem, M. A., & Al – Alami, A. H. (2021). Critical review of energy storage systems. *Energy*, 214, 118987. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118987>
- Peng Li, Haorui Hua, Kaili Di, & Jinhui Zhou. (2016). Optimal operation of AC / DC hybrid microgrid under spot price mechanism. *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2016.7741670>
- Rathore, N., Panwar, N. L., Yettou, F., & Gama, A. (2021). A comprehensive review of different types of solar photovoltaic cells and their applications. *International Journal of Ambient Energy*, 42(10), 1200–1217. <https://doi.org/10.1080/01430750.2019.1592774>
- Razykov, T. M., Ferekides, C. S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H. S., & Upadhyaya, H. M. (2011). Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*, 85(8), 1580–1608. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.002>

- Roche, O. M., & Blanchard, R. E. (2018). Design of a solar energy centre for providing lighting and income-generating activities for off-grid rural communities in Kenya. *Renewable Energy*, *118*, 685–694. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.053>
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *74*, 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Shahgholian, G. (2021). A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, *31*(6). <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12885>
- Shirzadi, N., Nasiri, F., & Eicker, U. (2020). Optimal Configuration and Sizing of an Integrated Renewable Energy System for Isolated and Grid-Connected Microgrids: The Case of an Urban University Campus. *Energies*, *13*(14), 3527. <https://doi.org/10.3390/en13143527>
- Soomar, A. M., Hakeem, A., Messaoudi, M., Musznicki, P., Iqbal, A., & Czapp, S. (2022). Solar Photovoltaic Energy Optimization and Challenges. *Frontiers in Energy Research*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.879985>
- Stevanović, S., Stevanović, S., & Živković, R. (2022). ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF SOLAR ENERGY PRODUCTION AND USE. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, *76*(4), 65–70. <https://doi.org/10.55302/JAFES22764065s>