



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Análisis y registro del diseño e instalación de un sistema de autoconsumo
fotovoltaico de 4.9 kWp para la FEIRNNR de la UNL

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones

AUTOR:

Aníbal Andrés Lozano Mendoza

DIRECTOR:

Ing. Juan Carlos Solano. PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 10 de mayo de 2024

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis y registro del diseño e instalación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico de 4.9 kWp para la FEIRNNR de la UNL**; previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Aníbal Andrés Lozano Mendoza**, con cédula de identidad **Nro. 1105119034**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja. Para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Aníbal Andrés Lozano Mendoza**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1105119034

Fecha: 10 de mayo de 2024

Correo electrónico: andreslozano.93@hotmail.com

Teléfono: 0969361846

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica de texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo, **Aníbal Andrés Lozano Mendoza**, declaro ser el autor del trabajo de titulación denominado: **Análisis y registro del diseño e instalación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico de 4.9 kWp para la FEIRNNR de la UNL**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**; además, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tengan convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja a los diez días del mes de mayo de dos mil veinticuatro:

Firma:

Autor: Aníbal Andrés Lozano Mendoza

Cédula de Identidad: 1105119034

Dirección: Dolores Cacuango 700-54 y Transito Amaguaña

Correo electrónico: andreslozano.93@hotmail.com

Teléfono: 0969361846

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

Dedicatoria

Este trabajo de titulación lo dedico a mi amada esposa, Yuleydi Sotomayor, cuyo amor incondicional, apoyo constante y paciencia han sido la fuente inagotable de mi inspiración y la razón por la cual este logro ha sido posible.

A mis padres, Aníbal Lozano y Raquel Mendoza, les dedico mi profundo agradecimiento por su amor, sacrificio y aliento, siendo fuerza impulsora detrás de cada uno de mis logros.

A mis hermanos, Javier, Ricardo y Pablo, les agradezco su constante apoyo y comprensión a lo largo de este significativo viaje académico.

A mis queridos amigos y compañeros, quienes han compartido conmigo este trayecto, les dedico mi reconocimiento por su amistad, ánimo y colaboración en cada paso.

Este trabajo se erige como un tributo a cada uno de ustedes, quienes han dejado una marca significativa en mi corazón y han contribuido a mi crecimiento personal y académico.

Con cariño,

Andrés Lozano M.

Agradecimiento

A lo largo de este arduo y enriquecedor camino, deseo expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido pilares fundamentales en esta travesía.

En primer lugar, quiero dirigirme a mi amada esposa, Yuli, a quien le debo un agradecimiento infinito por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante. Tu paciencia ha sido mi fortaleza, y tu aliento ha sido mi motivación más valiosa.

A mis queridos padres, Aníbal y Raquel, les dedico mis más profundos agradecimientos por ser la base sólida de mi vida, y a mis hermanos, Javier, Ricardo y Pablo, quienes han sido compañeros invaluable en este viaje. Su amor, sacrificio y palabras alentadoras han sido la luz que me ha guiado en cada paso de este camino académico.

A mis profesores y mentores, en especial al Ing. Juan Carlos Solano, PhD., quiero expresar mi profundo agradecimiento por su guía experta, paciencia y colaboración conjunta. Su dedicación y enseñanzas han sido la brújula que ha orientado mi camino hacia el conocimiento.

Con gratitud,

Andrés Lozano M.

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de Autorización	iv
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas:	x
Índice de Figuras:	i
Índice de Anexos:	iv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1 Radiación solar en la ciudad de Loja	7
4.1.1 Características climáticas.....	7
4.1.2 Índice de radiación.....	7
4.1.3 Valores de irradiación solar de diferentes fuentes	8
4.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red en Ecuador	8
4.2.1 Antecedentes.....	9
4.2.2 Marco Regulatorio en el Ecuador	10
4.2.3 Simuladores de sistemas fotovoltaicos	12

4.2.4	Beneficios económicos y medioambientales de los SAFV.....	13
5.	Metodología	16
5.1	Zona de estudio	16
5.2	Descripción de equipos	17
5.2.1	Paneles JINKO SOLAR Tiger Pro	17
5.2.2	Inversor de red IR015 - Fronius Primo 3.8-1 208-240	18
5.2.3	Caja de Conexiones de Sensores Fronius	20
5.2.4	Sensores Fronius.....	21
5.3	Procedimiento	31
5.4	Procesamiento y análisis de datos	34
6.	Resultados	35
6.1	Simulación en PVsyst	35
6.2	Registro de instalación	35
6.2.1	Ubicación y Orientación.....	35
6.2.2	Montaje de paneles	37
6.2.3	Conexión de paneles.....	38
6.2.4	Instalación de Inversor.....	39
6.2.5	Conexión a la Red Eléctrica.....	41
6.2.6	Configuración de Monitorización	43
6.2.7	Mantenimiento del sistema.....	44
6.3	Implementación de sensores complementarios.....	45
6.3.1	Sensor de temperatura ambiente Fronius	46
6.3.2	Sensor de temperatura de módulo Fronius	47
6.3.3	Sensor de velocidad del viento Fronius.....	48
6.4	Proceso y análisis de la generación fotovoltaica y consumo del edificio	49
6.4.1	Análisis de producción	49

6.4.2	Eficiencia en la captación de energía solar.....	55
6.4.3	Datos de sensores.....	61
6.4.4	Herramienta para simulación	67
6.4.5	Comparativa entre producción del SAFV y simulaciones realizadas.....	81
7.	Discusión	88
8.	Conclusiones	91
9.	Recomendaciones	93
10.	Bibliografía.....	95
11.	Anexos	99

Índice de Tablas:

Tabla 1. Comparativa de irradiación solar en la ciudad de Loja	8
Tabla 2. Características mecánicas de los paneles solares Tiger Pro 54HC	18
Tabla 3. Especificaciones técnicas de los paneles solares Tiger Pro 54HC	18
Tabla 4. Características mecánicas del inversor de red Fronius Primo 3.8.....	19
Tabla 5. Especificaciones técnicas del inversor de red Fronius Primo 3.8.....	20
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la caja de conexiones de sensores	21
Tabla 7. Especificaciones técnicas del sensor de irradiación Fronius.....	22
Tabla 8. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura ambiente Fronius	24
Tabla 9. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura de módulo Fronius	25
Tabla 10. Especificaciones técnicas del sensor de velocidad del viento Fronius.....	26
Tabla 11. Especificaciones técnicas del medidor inteligente US-240V.....	27
Tabla 12. Producción fotovoltaica mensual simulada con el software PVsyst y la producción real (UNL).....	82
Tabla 13. Análisis comparativo entre la producción fotovoltaica simulada y la producción real.....	83

Índice de Figuras:

Figura 1. Zona de estudio	16
Figura 2. Panel solar Tiger Pro 54HC	17
Figura 3. Inversor de red Fronius Primo 3.8.....	19
Figura 4. Caja de conexiones de sensores Fronius.....	21
Figura 5. Sensor de irradiación Fronius.....	22
Figura 6. Sensor de temperatura ambiente Fronius	23
Figura 7. Sensor de temperatura de módulo Fronius	25
Figura 8. Sensor de velocidad del viento Fronius.....	26
Figura 9. Medidor Inteligente US-240V Fronius.....	27
Figura 10. Sistema de montaje fijo.....	28
Figura 11. Interruptores de protección.....	29
Figura 12. Cables y conectores del SAFV.....	30
Figura 13. Sistema de control y monitoreo Fronius.....	31
Figura 14. Etapas para el cumplimiento de objetivos del proyecto	32
Figura 15. Esquema lineal en PVsyst de la FEIRNNR de la UNL.....	35
Figura 16. Panorama completo en PVsyst de la FEIRNNR de la UNL.....	36
Figura 17. Vista aérea del sistema fotovoltaico en PVsyst	37
Figura 18. Panel de control con datos simulados	33
Figura 19. Medición y producción energética simulado.....	35
Figura 20. Instalación de las bases del sistema fotovoltaico	36
Figura 21. Instalación de soportes para los paneles fotovoltaicos	37
Figura 22. Montaje de los paneles fotovoltaicos	38
Figura 23. Conexión en serie de paneles fotovoltaicos	39
Figura 24. Partes que conforman el inversor de red	40
Figura 25. Inversor de red Fronius instalado	41
Figura 26. Conexión del sistema con la red eléctrica.....	42
Figura 27. Conexión con el contador inteligente Fronius	43
Figura 28. Centro de monitoreo en Solar.web.....	43
Figura 29. Mantenimiento y limpieza de paneles solares.....	45
Figura 30. Sensor de irradiación y sensor de corriente alterna.....	46

Figura 31. Instalación de sensor de temperatura ambiente.....	47
Figura 32. Sensor de temperatura de módulo	48
Figura 33. Sensor que mide velocidad del viento	49
Figura 34. Panel de control con análisis de producción del SAFV.....	51
Figura 35. Relación entre generación, consumo y contribución a la red eléctrica.....	53
Figura 36. Porcentajes de generación, consumo y contribución a la red	54
Figura 37. Resumen de energía mensual suministrada en la red	55
Figura 38. Análisis de energía irradiada y energía captada	56
Figura 39. Relación entre energía irradiada y energía captada	58
Figura 40. Irradiación y captación de energía a lo largo del día	60
Figura 41. Eficiencia promedio de captación del sistema.....	61
Figura 42. Variaciones diarias de temperatura y velocidad del viento.....	62
Figura 43. Registro de datos del sensor de velocidad del viento.....	64
Figura 44. Relación entre temperatura ambiente y temperatura de módulo.....	66
Figura 45. Vista general de la herramienta de simulación creada.....	68
Figura 46. Muestra de datos meteorológicos	70
Figura 47. Cuadro resumen de la estimación de radiación difusa	71
Figura 48. Estimación de radiación solar difusa utilizando el modelo de Pérez.....	72
Figura 49. Tabla general que realiza el cálculo por valores de consumo de servicio eléctrico.	73
Figura 50. Tabla individual que calcula el valor del servicio eléctrico.	74
Figura 51. Configuración de celda para realizar cálculo de la categoría residencial. ..	74
Figura 52. Estructura y costos del servicio eléctrico	75
Figura 53. Factura de consumo eléctrico UNL marzo 2023	76
Figura 54. Ingreso de parámetros a simular	77
Figura 55. Estimaciones de producción y costos por energía eléctrica	78
Figura 56. Informe de resultado de simulación creada a un año	79
Figura 57. Producción mensual simulada y producción real	83
Figura 58. Diferencia absoluta entre producción y simulación.....	84
Figura 59. Variabilidad entre producción y simulación.....	84
Figura 60. Dispersión relativa entre producción y simulación.....	85

Figura 61. Porcentaje de error estimado entre producción y simulación	86
Figura 62. Comparativa entre producción real y producción simulada creada en Power BI	87

Índice de Anexos:

Anexo 1. Informe generado por el simulador PVsyst	99
Anexo 2. Perspectiva del campo FV y diagrama de iso-sombreados	100
Anexo 3. Resultados de producción simulados con datos de NREL	101
Anexo 4. Resultados de producción simulados con datos de Atlas Solar.....	102
Anexo 5. Resultados de producción simulados con datos del INAMHI	103
Anexo 6. Resultados de producción simulados con datos de Meteonorm	104
Anexo 7. Resultados de producción simulados con datos de NASA-SSE.....	105
Anexo 8. Resultados de producción simulados con datos de PVGIS.....	106
Anexo 9. Resultados de producción simulados con datos de Solargis	107
Anexo 10. Resultados de producción simulados con datos de Solcast	108
Anexo 11. Hoja de datos del módulo solar JINKO SOLAR TIGER PRO 54HC	109
Anexo 12. Hoja de datos del inversor de red FRONIUS PRIMO 3.8.....	111
Anexo 13. Hoja de datos del FRONIUS DATAMANAGER 2.0.....	113
Anexo 14. Hoja de datos del Fronius sensor card/box	115
Anexo 15. Hoja de datos del FRONIUS Smart Meter US-240V	117
Anexo 16. Factura de consumo eléctrico del lugar de estudio.....	118
Anexo 17. Vista aérea de los doce módulos instalados.....	119
Anexo 18. Bitácora del registro de instalación del sistema fotovoltaico.....	120
Anexo 19. Diagrama unifilar del sistema de autoconsumo fotovoltaico instalado...	128
Anexo 20. Cotización con los costos de cada uno de los productos instalados	129
Anexo 21. Certificación de traducción de Abstract	130

1. Título

Análisis y registro del diseño e instalación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico de 4.9 kWp para la FEIRNNR de la UNL.

2. Resumen

El presente estudio se centra en el análisis y registro del diseño, instalación y funcionamiento de un Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico (SAFV) de 4.9 kWp para la FEIRNNR de la UNL. La investigación tiene como objetivo principal analizar y documentar el proceso completo de instalación de dicho sistema, desde el diseño hasta su puesta en marcha y monitoreo, a fin de contribuir al conocimiento en el campo de la energía solar fotovoltaica y proporcionar un marco de referencia para futuras implementaciones de SAFV en entornos similares.

Para cumplir con los objetivos específicos, se utilizaron herramientas como el simulador PVsyst para analizar el diseño del SAFV y optimizar su rendimiento. Se documentaron de manera detallada todos los procesos relacionados con la instalación, adecuación y configuración del sistema, abarcando aspectos como la selección de componentes, el montaje y la conexión eléctrica.

A lo largo de la investigación, se procesaron y analizaron los datos de generación fotovoltaica y consumo del edificio, utilizando la información recabada por los sensores integrados en el SAFV. Este análisis permitió evaluar el desempeño del sistema y determinar posibles mejoras en su eficiencia.

Con el propósito de mejorar la monitorización y control del sistema, se exploraron e implementaron distintos sensores complementarios compatibles con el SAFV, como dispositivos de medición de velocidad del viento, temperatura del panel y temperatura ambiente. La implementación de estos sensores adicionales, compatibles con el equipo Fronius, permitió obtener una visión más completa del funcionamiento del SAFV y su impacto en el consumo energético del edificio.

En el contexto de esta investigación, en colaboración con el Ing. Juan Carlos Solano. PhD, se creó una herramienta que permite evaluar tanto la viabilidad técnica como económica de la implementación de sistemas de autoconsumo fotovoltaico. Como resultado de este trabajo, se ha logrado la publicación de dos artículos científicos en revistas reconocidas, específicamente CIDIER e IEEE Explore.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, autoconsumo, sistemas fotovoltaicos, instalación, diseño, monitoreo, generación eléctrica, eficiencia energética, sensores, PVsyst.

Abstract

The present study focuses on the analysis and recording of the design, installation and operation of a 4.9 kWp Photovoltaic Self-consumption System (PSCS) for the FEIRNNR of the UNL. The research has as its main objective to analyze and document the complete installation process of such system, from design to commissioning and monitoring, to contribute to the knowledge in the field of solar photovoltaic energy and provide a frame of reference for future implementations of PSCS in similar environments.

To meet the specific objectives, tools such as the PVsyst simulator were used to analyze the SAFV design and optimize its performance. All the processes related to the system installation, adaptation and configuration were documented in detail, covering aspects such as component selection, assembly, and electrical connection.

Throughout the research, the building's photovoltaic generation and consumption data were processed and analyzed, using the information collected by the sensors integrated into the PSCS. This analysis made it possible to evaluate the performance of the system and determine possible improvements in its efficiency.

In order to improve the monitoring and control of the system, different complementary sensors compatible with the PSCS were explored and implemented, such as wind speed, panel temperature and ambient temperature measurement devices. The implementation of these sensors allowed us to obtain a more complete view of the operation of the SAFV and its impact on the energy consumption of the building.

In the context of this research, in collaboration with Eng. Juan Carlos Solano. PhD, a tool was created to evaluate both the technical and economic feasibility of the implementation of photovoltaic self-consumption systems. As a result of this work, two scientific articles have been published in recognized journals, specifically CIDIER and IEEE Explore.

Keywords: photovoltaic solar energy, self-consumption, photovoltaic systems, installation, design, monitoring, power generation, energy efficiency, sensors, PVsyst.

3. Introducción

La creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado el desarrollo de tecnologías de generación de energía renovable. La energía solar fotovoltaica, como alternativa limpia y sostenible, ha experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas ([Irena, 2016](#)).

La energía eléctrica generada mediante sistemas de paneles solares fotovoltaicos es inagotable, no contamina, no emite gases de efecto invernadero, no genera residuos ni contaminación del agua, de esta manera contribuye al desarrollo sostenible y ayuda a la disminución del calentamiento global, además cabe recalcar que, la implementación de estos sistemas ha experimentado una drástica reducción de costos en los últimos años lo que la ha convertido, en una de las tecnologías energéticas con mayor proyección de futuro ([ACCIONA.ORG, 2023](#)).

Los sistemas de autoconsumo fotovoltaico son una solución práctica y sostenible para abordar las necesidades energéticas en hogares y edificaciones comunitarias en todo el mundo, incluyendo Ecuador.

Estos sistemas se distinguen por su conexión dual: por un lado, están integrados al sistema eléctrico privado del usuario, y por otro, se conectan a la red de distribución de la compañía eléctrica con la que se tiene un contrato. Dentro de esta clasificación, se identifican dos tipos principales de sistemas de autoconsumo. En primer lugar, el autoconsumo directo, en el cual la energía generada se utiliza directamente, y cualquier excedente se devuelve a la red eléctrica. En general, este enfoque puede generar un ahorro aproximado del 50% en la factura de electricidad. Por otro lado, existe el autoconsumo con baterías o sistema de acumulación, que incorpora baterías para almacenar la energía no utilizada, permitiendo su uso en momentos posteriores, como durante la noche. Además de reducir significativamente los costos de energía, la producción de energía solar para autoconsumo conectada a la red ofrece la posibilidad de obtener compensaciones por los excedentes energéticos que se inyectan en la red eléctrica general ([SolarPlak, 2023](#)).

En Ecuador, se han implementado políticas gubernamentales dirigidas a fomentar el uso de fuentes de energía renovable, con la meta de que el 15% de la matriz energética provenga de fuentes limpias para el año 2030. Este impulso se debe en gran medida al abundante potencial de energía solar que posee el país, atribuible a su ubicación en la zona

intertropical. Según investigaciones recientes ([Echegaray-Aveiga et al., 2018](#)), se estima que el promedio diario de radiación solar alcanza los 4.378 kW-h/m² en diversas áreas ecuatorianas. La región andina, en particular, destaca por recibir niveles significativamente altos de radiación solar debido a su elevada altitud, lo que la convierte en un lugar óptimo para la generación de energía solar durante todo el año. Un estudio realizado por José Jara Alvear ([2021](#)), señala que aproximadamente el 9,3% del territorio nacional, equivalente a 23,819 km², se considera adecuado para el desarrollo de proyectos de energía fotovoltaica complementaria. Además, identifica 805 km², o el 0,32% del territorio, como áreas especialmente propicias para este fin. Estas cifras apuntan a un potencial teórico bruto de 35,7 GWp, con una capacidad de producción estimada en 61,5 GWh al año.

En Loja, se evidencia un notable impulso hacia las energías renovables, con la implementación de varios sistemas fotovoltaicos en toda la provincia. Recientemente, se ha anunciado el desarrollo de un nuevo proyecto denominado Aroma Santo Solar, el cual se integrará a la red eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA) en la subestación El Empalme, ubicada en el cantón Sozoranga. Este proyecto abarcará un área total de 37.5 hectáreas, de las cuales 23.5 estarán destinadas exclusivamente para paneles solares, mientras que 14 hectáreas servirán como zona de amortiguamiento. Se estima que se necesitarán alrededor de 36,400 paneles fotovoltaicos para lograr una producción anual de 36,000 MWh ([DIARIO CRÓNICA, 2023](#)).

Por otro lado, la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) ha dado un paso significativo en la generación de energía limpia, logrando producir 122.33 MWh a lo largo de 17 meses. Esta iniciativa ha permitido a la institución reducir aproximadamente 35.18 toneladas de emisiones de CO₂ que de otro modo se liberarían a la atmósfera. Mediante la instalación de 300 paneles solares, la universidad ha logrado cubrir el 80% de su consumo energético en tres edificios principales. Estos paneles, con una capacidad máxima de 130 kWp, generan energía renovable para el consumo interno de la institución ([UTPL, 2022](#)).

El Centro de Investigaciones Tecnológicas y Energéticas de la Universidad Nacional de Loja (UNL) ha iniciado la ejecución de un proyecto dirigido por el Ing. Juan Carlos Solano, PhD., titulado "**Desarrollo de un Sistema de Soporte de Decisiones para el Autoconsumo Fotovoltaico en el Ecuador: Caso Práctico en la Región Sur**". Este proyecto tiene como objetivo principal investigar el aprovechamiento de la energía solar y su aplicación en

edificaciones (Solano, 2021). Cabe mencionar que, a finales del año 2022, se adquirieron los equipos necesarios para la implementación del sistema de autoconsumo fotovoltaico, el cual cuenta con una capacidad máxima de 4.9 kWp y está compuesto por 12 paneles solares.

En este contexto, la finalidad del presente trabajo se centra en el análisis y registro del diseño e instalación de un SAFV de 4.9 kWp en un edificio de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables (FEIRNNR) de la Universidad Nacional de Loja, con el objetivo de contribuir al conocimiento en el campo de la energía solar fotovoltaica y brindar un marco de referencia para futuras implementaciones.

La investigación se propone como un aporte valioso para profesionales, investigadores y entidades interesadas en la implementación de sistemas de autoconsumo fotovoltaico en edificaciones, promoviendo el uso de energías renovables y fomentando prácticas sostenibles en el ámbito de la construcción.

Los objetivos específicos de la presente tesis incluyen:

Analizar el diseño de un SAFV para la FEIRNNR de la UNL mediante simulaciones de producción con el software PVsyst.

Documentar los procesos de instalación, adecuación y configuración del SAFV, proporcionando un registro detallado y sistemático que permita evaluar y mejorar futuras implementaciones.

Procesar y analizar la generación fotovoltaica y el consumo del edificio, utilizando los datos obtenidos de los sensores del SAFV, para evaluar el desempeño del sistema y su impacto en la eficiencia energética del edificio.

Analizar e implementar sensores complementarios compatibles con el SAFV, como sensores Fronius para medir la velocidad del viento, la temperatura del panel y la temperatura ambiente, mejorando el monitoreo y control del sistema.

Esta investigación pretende contribuir al conocimiento en el campo de la energía solar fotovoltaica y brindar un marco de referencia para el diseño, instalación y monitoreo de sistemas de autoconsumo en entornos similares, analizando los aspectos teóricos, técnicos y prácticos del proyecto. A lo largo de este trabajo, se discutirán las lecciones aprendidas y las recomendaciones para futuras implementaciones en el ámbito de la construcción sostenible y el uso de energías renovables.

4. Marco Teórico

El presente capítulo tiene por objeto proporcionar una revisión completa y actualizada de la literatura científica y técnica sobre los SAFV.

4.1 Radiación solar en la ciudad de Loja

Al sur del Ecuador se encuentra Loja, a una altitud de aproximadamente de 2.060 metros sobre el nivel del mar y ubicada geográficamente a los 03°39'55" a 04°30'38" de latitud sur y 79°05' 58" a 79°05'58" de longitud oeste, pertenece a la zona interandina, y por tal motivo disfruta de un clima cálido y templado. Características, como, la ubicación geográfica y condiciones climáticas, es un factor clave para evaluar el potencial de generación de energía solar fotovoltaica en la región.

4.1.1 Características climáticas

La ciudad de Loja, ubicada en la región interandina de Ecuador, presenta un clima subtropical de montaña con variaciones de temperatura significativas debido a su altitud.

En la ciudad se experimenta dos estaciones distintas, una estación seca que se extiende de junio a noviembre y según estudios realizados por el ([Municipio de Loja, 2021](#)), durante el día las temperaturas oscilan entre los 20° y 25° C, mientras que en la estación húmeda que abarca los meses restantes, con precipitaciones frecuentes y abundantes presenta una temperatura mínima promedio de 9 °C y una máxima de 17 °C.

Aunque la ciudad de Loja experimenta una presencia notable de nubes, especialmente durante la temporada de lluvias, con un promedio de 89% de nubosidad en febrero, también cuenta con días soleados y despejados. Especialmente durante la estación seca, meses como julio presentan un cielo mayormente despejado o parcialmente nublado alrededor del 62% del tiempo, brindando oportunidades para la radiación solar directa y una mayor disponibilidad de energía solar.

4.1.2 Índice de radiación

La radiación solar en Loja varía a lo largo del año debido a factores como la estacionalidad y las condiciones meteorológicas, pero en general, la ciudad recibe un promedio anual que se encuentra entre 4.5 y 5.0 kWh/m² por día, lo que indica un buen potencial para la generación de energía solar fotovoltaica en la región ([Ordóñez et al., 2022](#)). Además, se ha observado que la radiación solar máxima en Loja se registra durante los meses

de agosto y septiembre, especialmente en condiciones de cielo despejado, mientras que la radiación solar mínima se registra en los meses de enero y febrero (Álvarez et al., 2014).

4.1.3 Valores de irradiación solar de diferentes fuentes

La ciudad de Loja presenta un gran potencial para la implementación de energía solar debido a su ubicación geográfica y a las características climáticas de la región. Sin embargo, para dimensionar adecuadamente los sistemas de energía solar y prever su rendimiento, es esencial tener un entendimiento preciso de la radiación solar disponible. En este contexto, en la [Tabla 1](#) se han recopilado datos de varias fuentes reconocidas a nivel nacional e internacional, que han realizado mediciones y estimaciones de la irradiación solar en la ciudad de Loja.

Tabla 1.

Comparativa de irradiación solar en la ciudad de Loja

Fuente de Datos	Irradiación anual [kWh/m²]
<i>INAMHI estación meteorológica “La Argelia”</i>	1406.5
<i>NREL</i>	1640.3
<i>METEONORM</i>	2179.8
<i>NASA-SSE</i>	1993.4
<i>ATLAS SOLAR DEL ECUADOR</i>	1591.7
<i>PVGIS</i>	1542.2
<i>SOLARGIS</i>	1672.2
<i>SOLCAST</i>	1514.3

Nota. Existe una notable variación en los datos de irradiación solar, lo que podría atribuirse a diferencias en las metodologías de medición, los períodos de tiempo cubiertos y las condiciones locales específicas durante distintos períodos.

4.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red en Ecuador

Los Sistemas de Autoconsumo Fotovoltaico (SAFV) surgieron como una solución eficiente para reducir la dependencia de la energía convencional y fomentar el uso de energías renovables en edificaciones. Estos sistemas permitieron generar electricidad a partir de la radiación solar, reducir los costos energéticos y disminuir la huella de carbono asociada con el consumo de energía convencional.

4.2.1 Antecedentes

Ecuador cuenta principalmente con una matriz eléctrica renovable, alcanzando una capacidad instalada total de 7.348,68 MW. De este total, 5.100 MW corresponden a generación hidráulica, 2.000 MW a generación termoeléctrica y el valor restante se distribuye a la producción renovable no convencional como es biomasa, eólica, fotovoltaica y biogás ([La Hora, 2021](#)).

Los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos actuales en Ecuador no han alcanzado buena popularidad debido a su alto costo de inversión, sin embargo, con la aplicación de nuevos materiales y la mejora de la eficiencia como la utilidad de dichos sistemas, seguirá aumentando. Además, el país ya cuenta con un reglamento que impulsa la generación fotovoltaica que permitirá a los edificios cubrir su propia demanda de energía eléctrica, lo que abre un sinnúmero de posibilidades y de investigaciones que actualmente son lideradas por las universidades ([RAMOS. G, 2021](#)), como la Universidad Politécnica Salesiana que en el año 2018 instaló un sistema fotovoltaico aplicado a la electromovilidad. El sistema tiene una capacidad instalada de 13,2 kWp en un área de 73,3 m² y sirve para el autoconsumo de edificios en su campus universitario y para la recarga de dos motos y dos autos eléctricos ([pv magazine, 2018](#)).

Otra de las pioneras es la Universidad Técnica Particular de Loja, que cuenta con 300 paneles solares y 130 kWp de potencia instalada que producen energía limpia y renovable para abastecer un 80% del consumo interno de siete edificios que residen en sus instalaciones, sin embargo, también contribuye al abastecimiento eléctrico de la red nacional con la transferencia del excedente de energía generado, este proyecto evita la emisión de aproximadamente 2, lo que ayuda significativamente al medio ambiente ([UTPL, 2022](#)).

Por otro lado, el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables es la entidad gubernamental encargada de guiar la política para el aprovechamiento de la energía y los recursos naturales no renovables en el Ecuador y con el fin de cumplir con sus metas, ha desarrollado, en conjunto con otros organismos del Estado, un paquete de inversiones, enfocadas principalmente hacia las energías renovables no convencionales.

El Aromo, proyecto fotovoltaico más importante en Ecuador en la actualidad, ha sido priorizado por el Estado para generar energía limpia, este proyecto se extenderá sobre un área aproximada de 300 hectáreas de las 1.300 que conforman los terrenos del fallido proyecto

Refinería del Pacífico ubicado en los cantones de Manta y Montecristi. La empresa española Solarpack será la responsable de la construcción y operación de El Aromo, que tendrá una capacidad de 200 megavatios (+/- 2% de variación) una vez que se haya completado (PRIMICIAS, 2023).

El Gobierno de Ecuador firmó el convenio de concesión con Solarpack el 3 de marzo de 2023 en Guayaquil, otorgándoles la responsabilidad de construir y operar la central fotovoltaica. Al finalizar el plazo de concesión de 20 años, el proyecto será transferido al Estado y contará con una capacidad mínima instalada de 200 MW, el Aromo podría cubrir el 60,8% del consumo energético de Manta o el 22% del consumo de la provincia de Manabí (PRIMICIAS, 2023).

4.2.2 Marco Regulatorio en el Ecuador

En Ecuador, el interés por la generación de energía solar fotovoltaica ha ido en aumento en los últimos años, tanto para proyectos a gran escala como para instalaciones residenciales y comerciales, sin embargo, para garantizar la seguridad de las instalaciones y el cumplimiento de los requisitos técnicos, es necesario contar con un marco regulatorio adecuado que establezca las normas y procedimientos necesarios para la implementación de estos sistemas de autoconsumo. En este sentido, Ecuador cuenta con una normativa legal que regula la implementación de los sistemas para garantizar su calidad y el correcto funcionamiento.

De acuerdo a la Constitución de la República del Ecuador (2008), según el artículo 15, sección segunda, Ambiente sano, decreta que, “el Estado fomentará, tanto en el sector público y privado, la implementación de tecnologías ambientalmente limpias con energías no contaminantes y que causan bajo impacto ambiental.” y además, según el artículo 413 de la Sección Séptima, Biosfera, ecología urbana y energías alternativas, señala que, “el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificada, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”

En el Estado Ecuatoriano, según la LEY ORGANICA DEL SERVICIO PUBLICO DE ENERGIA ELECTRICA (2018), señala que, “Resulta imperativo construir una matriz de generación eléctrica económica y ecológicamente equilibrada, incrementando la participación de las

energías limpias y renovables como la eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz e hidroeléctrica, disminuyendo la generación térmica ineficiente que utiliza combustibles fósiles”.

Además de esto, Ecuador cuenta con la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-001/2021 (ARCERNNR, 2021), para el *“Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica”* cuyo objetivo es establecer las disposiciones para el proceso de habilitación, conexión, instalación y operación de sistemas de generación distribuida basadas en fuentes de energía renovable para el autoabastecimiento de consumidores regulados, y es aplicable para consumidores regulados que instalen y operen sistemas de generación distribuida para su autoabastecimiento, sincronizadas a la red de distribución y para las Empresas Eléctricas Distribuidoras.

El artículo 6 menciona la Caracterización de la Generación Distribuida, donde se considera un Sistema de Generación Distribuida para el Autoabastecimiento siempre que cumpla con las siguientes características (ARCERNNR, 2021).

- 1) Se debe mantener una potencia nominal menor a 1 MW;
- 2) Debe estar en sincronía con las redes del sistema de distribución, o a través de las instalaciones internas del consumidor;
- 3) Permitir el aprovechamiento de recursos energéticos distribuidos que se encuentran en el área de servicio de la Distribuidora;
- 4) Utilizar cualquier fuente de energía renovable con o sin almacenamiento de energía;

Una vez que se cumpla con los requisitos establecidos en esta regulación, se otorga un Certificado de Calificación para la generación fotovoltaica, el cual tiene una vida útil de 25 años, además, se establece que estos sistemas deben operar en sincronismo con la red, cuya producción sea autoconsumida en sus propias instalaciones que pueden estar ubicados en techos, superficies de viviendas o en edificaciones para las categorías residencial y general determinados en el pliego tarifario en bajo o medio voltaje y si existiese excedentes de producción deben ser aportados a la red de distribución nacional y su liquidación se realizará a través de un mecanismo de balance mensual neto de energía (ARCERNNR, 2021).

4.2.3 *Simuladores de sistemas fotovoltaicos*

Los simuladores de sistemas fotovoltaicos son herramientas útiles que permiten predecir el rendimiento del sistema antes de su instalación. Hay varias herramientas de simulación disponibles en el mercado, cada una con diferentes características y capacidades.

Homer Pro

Es una herramienta de simulación de sistemas energéticos desarrollada para analizar y diseñar sistemas de energía renovable en zonas aisladas y proyectos de electrificación rural. HOMER puede modelar sistemas híbridos de energía renovable que incluyen sistemas fotovoltaicos, eólicos, hidráulicos y otros, y analizar sistemas de almacenamiento de energía para maximizar la utilización de la energía renovable generada.

pvPlanner

Es una herramienta de software de planificación de sistemas fotovoltaicos basada en la web que utiliza datos de radiación solar de alta resolución para calcular la producción de energía de un sistema fotovoltaico en una ubicación específica. Los usuarios pueden ajustar el tamaño del sistema, la orientación y la inclinación de los paneles solares y otros parámetros, y analizar la rentabilidad del sistema fotovoltaico ingresando información económica relevante.

Solar Pro

Este es el único software que ofrece un cálculo minuto a minuto, además, del diseño de sistemas fotovoltaicos que permite a los usuarios diseñar y modelar sistemas fotovoltaicos en edificios comerciales y residenciales, así como realizar análisis de rentabilidad y simulaciones de carga. La herramienta incluye herramientas avanzadas de análisis, como la simulación de sombras, para optimizar el diseño del sistema y maximizar la producción de energía, así como evaluar la rentabilidad del sistema fotovoltaico al incluir información sobre costos de electricidad, tasas de interés y otros factores económicos.

PVsyst

Es una herramienta de simulación avanzada de sistemas fotovoltaicos que permite a los usuarios simular el rendimiento del sistema en diferentes condiciones climáticas, modelar sistemas fotovoltaicos de cualquier tamaño y complejidad, y simular la producción de energía en diferentes ángulos de inclinación y orientaciones. Además, incluye herramientas avanzadas de análisis financiero para evaluar la rentabilidad del sistema fotovoltaico.

4.2.4 Beneficios económicos y medioambientales de los SAFV

Beneficios económicos

La instalación de sistemas fotovoltaicos proporciona una fuente de energía eléctrica de costo cero después de recuperar la inversión inicial en los equipos, esta inversión se recupera con el paso del tiempo gracias al ahorro generado por la producción de energía eléctrica gratuita. Una vez recuperada la inversión, se obtienen beneficios económicos significativos al eliminar costos de energía eléctrica en el largo plazo. Además, la producción de energía eléctrica sin costo permite reducir los gastos en las horas pico de consumo, lo que disminuye los valores de la factura de electricidad ([Enercity SA, 2019](#)).

El uso de energía solar para el autoabastecimiento trae consigo ventajas adicionales, por parte del ente regulador ARCONEL, la cual establece que, existe una tarifa plana de 9,2 centavos de dólar cuyo consumo de energía no exceda los 500 kWh al mes. En el sector industrial comercial, existe una disminución del 50% del valor actual de la tarifa, con la condición de que registren una demanda inferior al 60% del máximo alcanzado en su historial.

Con el paso del tiempo, el ahorro en costos de energía se vuelve aún más relevante, por lo tanto, la implementación de sistemas de autoconsumo fotovoltaico es una opción cada vez más viable para el beneficio económico, ya que permite a los usuarios generar su propia energía eléctrica y se ha establecido tarifas preferenciales para los consumidores que utilizan sistemas de energía solar para el autoabastecimiento, lo que puede reducir significativamente los costos de energía.

Beneficios medioambientales

La energía eléctrica generada mediante sistemas de paneles solares fotovoltaicos es inagotable, no contamina, no emite gases de efecto invernadero, no genera residuos ni contaminación del agua, contribuye al desarrollo sostenible y ayuda a la disminución del calentamiento global ([ACCIONA. ORG, 2023](#)).

Además, es la energía más abundante a disposición del hombre, ya que emite continuamente una cantidad aproximada de 600 kilovatios de energía por metro cuadrado de superficie. Lo que quiere decir, que, en solo 48 horas, la cantidad de energía solar que llega a la Tierra equivale a la suma de todas las reservas conocidas de petróleo, gas y carbón. Esta cantidad de energía es alrededor de 60 veces mayor al consumo anual de la sociedad humana,

lo que destaca el enorme potencial de la energía solar para satisfacer las necesidades energéticas del mundo ([Arancibia Bulnes et al., 2010](#)).

Entre los principales beneficios medioambientales de la energía solar fotovoltaica se encuentran:

Reducción de las Emisiones de CO₂

La principal ventaja de la generación de electricidad a través de paneles solares es que proporciona una alternativa sostenible y limpia en comparación con los combustibles fósiles. Un informe del Consejo Internacional de Energía Renovable (IRENA), establece que duplicar la participación global de las energías renovables para 2030 podría resultar en una reducción del 12% de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que equivale a 4.2 gigatoneladas de CO₂ ([Irena, 2016](#)).

Según un estudio de la Universidad de California, Berkeley, la adopción de la energía solar puede resultar en una disminución significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos nocivos. Este estudio concluyó que, en 2015, las instalaciones solares en los Estados Unidos evitaron la emisión de aproximadamente 17 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), 10.000 toneladas de óxidos de azufre (SO₂) y 12.000 toneladas de óxidos de nitrógeno ([Jaramillo et al., 2007](#)).

Otras investigaciones por parte de EUPD Research, menciona que la energía solar evita las emisiones de CO₂ relacionadas con la quema de carbón, gas natural y energía hidráulica. Por ejemplo, la generación de un kWh de energía eléctrica utilizando carbón emite aproximadamente 109 gramos de CO₂, mientras que la energía hidroeléctrica emite cerca de 97 gramos de CO₂ por kWh. En contraste, la energía solar no produce emisiones directas de CO₂ y la implementación de sistemas fotovoltaicos en hogares puede disminuir las emisiones de CO₂ en hasta un 45%, y si se añade almacenamiento de energía, este porcentaje puede incrementarse hasta un 85%. Estos beneficios también se han registrado en Brasil, donde la energía solar ha contribuido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 19,6 millones de toneladas ([National Geographic, 2022](#)).

Conservación de recursos naturales

Los sistemas fotovoltaicos no solo reducen la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también minimizan la cantidad de agua utilizada para la generación de energía. Según un estudio de [Meldrum et al. \(2013\)](#), la generación de energía solar consume hasta 200 veces

menos agua que una central eléctrica a base de carbón para producir la misma cantidad de electricidad. Este es un aspecto crucial, especialmente en regiones donde el agua es un recurso limitado.

Además, los sistemas fotovoltaicos pueden instalarse en tejados y otras estructuras ya existentes, lo que evita la necesidad de construir grandes infraestructuras y minimiza la alteración de los paisajes naturales y los ecosistemas.

Según el Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la energía solar tiene uno de los menores impactos en la extracción de recursos y la pérdida de hábitat en comparación con otras fuentes de energía (IPCC, 2014). El informe también señala que la energía solar, junto con otras energías renovables, puede desempeñar un papel clave en la mitigación del cambio climático, que es una de las principales amenazas para los ecosistemas y la biodiversidad a nivel mundial.

Además, un estudio publicado en la revista Nature concluye que la energía solar podría desempeñar un papel clave en la transición hacia un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Según este estudio, la energía solar tiene el potencial de suministrar una gran parte de la electricidad mundial en 2050, lo que reduciría significativamente la presión sobre los recursos naturales (Creutzig et al., 2017).

Es importante mencionar que, aunque la producción de paneles solares requiere ciertos materiales y energía, diversos estudios concluyen que la energía generada por un sistema fotovoltaico durante su vida útil es significativamente mayor que la energía utilizada para su fabricación. Por ejemplo, un estudio de Fthenakis et al., (2008) encontró que la energía necesaria para fabricar un panel solar se recupera generalmente en 1 a 2 años de operación, mientras que la vida útil de un panel solar puede ser de 25 a 30 años o más.

5. Metodología

En esta sección se describirán de manera detallada las estrategias metodológicas que se han utilizado para alcanzar los objetivos de este proyecto y para proporcionar una visión completa de los procedimientos de implementación, las herramientas utilizadas, y los involucrados en la ejecución de este.

5.1 Zona de estudio

El lugar específico donde se implementó el sistema de autoconsumo fotovoltaico es la azotea del edificio en el bloque #3 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud: 4°1'48.62"S

Longitud: 79°11'57.60"W

Figura 1.

Zona de estudio



Nota. Vista área de la facultad de la energía y los recursos naturales no renovables y lugar donde está instalado el SAFV. Fuente: [Elaboración propia](#).

Se hizo uso de este lugar ya que presenta condiciones óptimas para la recopilación de datos, el sistema fue colocado cuidadosamente considerando diversos factores, entre ellos está la radiación incidente en el lugar, además, se tomó en cuenta la presencia de sombras proyectadas por elementos inamovibles como, árboles, montañas, entre otros, para su posterior estudio y efectos que pueden traer los mismos sobre el sistema.

5.2 Descripción de equipos

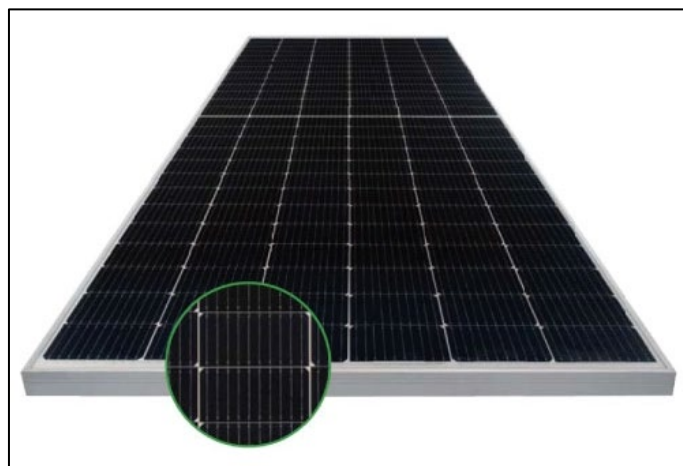
El sistema de autoconsumo fotovoltaico está compuesto por varios componentes esenciales que trabajan en conjunto para convertir la luz solar en energía eléctrica. A continuación, se describen los componentes principales utilizados:

5.2.1 Paneles JINKO SOLAR Tiger Pro

El panel solar Jinko Solar Tiger Pro JKM405M-54HL4-V es un panel de alta calidad y eficiencia, diseñado para ser utilizado en sistemas de energía solar de gran escala. Para esta investigación se ha realizado la instalación de doce paneles solares, sus características de alta resistencia y eficiencia lo hacen ideal para su uso en entornos desafiantes y de alta demanda energética, además, su certificación de calidad y pruebas realizadas en condiciones extremas respaldan su calidad y durabilidad en el largo plazo.

Figura 2.

Panel solar Tiger Pro 54HC



Nota. Módulo solar con tecnología de células monocristalinas, es una de las tecnologías más avanzadas y eficientes en la generación de energía solar. Fuente: [\(RENOVA, 2022\)](#)

Tabla 2.*Características mecánicas de los paneles solares Tiger Pro 54HC*

Características mecánicas	
<i>Tipo de célula</i>	Tipo P Monocristalino
<i>Nº de celdas</i>	108 (2x54)
<i>Dimensiones</i>	1718x1134x30mm
<i>Peso</i>	22,0 kg (48,50 lbs)
<i>Marco</i>	Aluminio anodizado
<i>Cables de salida</i>	(+): 400mm, (-): 200mm
<i>Cristal frontal</i>	3,2mm de recubrimiento anti reflectante

Fuente: (RENOVA, 2022)

Tabla 3.*Especificaciones técnicas de los paneles solares Tiger Pro 54HC*

Especificaciones técnicas	
<i>Tipo de modulo</i>	JKM405M-54HL4-V
<i>Potencia máxima</i>	405 [Wp]
<i>Tensión de alimentación máxima</i>	30,52 [V]
<i>Corriente de potencia máxima</i>	13,27 [A]
<i>Voltaje de circuito abierto</i>	37,06 [V]
<i>Corriente de cortocircuito</i>	13,85 [A]
<i>Eficiencia del modulo</i>	20,74%
<i>Temperatura de funcionamiento</i>	-40°C ~+85°C
<i>Tensión máxima del sistema</i>	1000/1500 [V] DC
<i>Tolerancia de potencia</i>	0~+3%
<i>Coefficiente de temperatura de P_{max}</i>	-0,35%/°C
<i>Temperatura nominal de funcionamiento de la celda</i>	45±2°C

Fuente: (RENOVA, 2022)

5.2.2 Inversor de red IR015 - Fronius Primo 3.8-1 208-240

La instalación de un inversor de red IR015 Fronius Primo 3.8-1 es un componente esencial y de gran importancia ya que es el encargado de convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC), este inversor viene equipado con tecnología Grid-Connected PV Inverter, que permite una conexión sin problemas a la red

eléctrica, gracias a su sistema de monitoreo y control integrado. Otro aspecto destacado de este inversor es su eficiencia energética, que se sitúa en un rango del 97,7% al 98,1%, lo que significa que es capaz de convertir la mayor parte de la energía solar captada en electricidad (FRONIUS, 2024).

Figura 3.

Inversor de red Fronius Primo 3.8



Nota. Inversor Fronius Primo, encargado de convertir la energía de corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), además, en su diseño incluye un sistema de monitoreo interno proporcionando un control avanzado sobre el rendimiento del sistema. Fuente: (FRONIUS, 2024).

Tabla 4.

Características mecánicas del inversor de red Fronius Primo 3.8

Características mecánicas	
<i>Grado de protección</i>	NEMA 4X
<i>Rango de operación a temperatura ambiente</i>	-40°F a 131°F (-40 a 55°C)
<i>Dimensiones (ancho x alto x profundidad)</i>	50.5 x 63x 20.6 cm
<i>Peso</i>	21,45 kg (47,29 lbs)
<i>Humedad permitida</i>	0 - 100 % (sin condensación)
<i>Instalación</i>	Interior y exterior
<i>Consumo durante la noche</i>	< 1 W

Tabla 5.

Especificaciones técnicas del inversor de red Fronius Primo 3.8

Especificaciones técnicas	
DATOS DE ENTRADA	
<i>Potencia FV recomendada (kWp)</i>	3,0 – 6,0 kW
<i>Corriente máxima de entrada utilizable (MPPT 1 / MPPT 2)</i>	18 [A] / 18 [A]
<i>Corriente directa total máxima</i>	36 [A]
<i>Rango de voltaje operacional</i>	80 [V] - 600 [V]
<i>Voltaje de entrada máximo</i>	600 [V]
<i>Voltaje nominal de entrada</i>	410 [V]
<i>Tamaño admisible de conductor de CD</i>	AAWG 14 - AWG 6
<i>Rango de voltaje MPP</i>	240 - 480 [V]
<i>Número de MPPT</i>	2
DATOS DE SALIDA	
<i>Potencia máxima de salida</i>	3800 [W]
<i>Corriente continua máxima de salida</i>	208 – 18,3 [A] / 240 – 15,8 [A]
<i>Capacidad de interruptor de CA</i>	208 – 25 [A] / 240 – 20 [A]
<i>Eficiencia máxima</i>	96,7 %
<i>Eficiencia CEC</i>	95,0 %
<i>Conexión a red ($U_{ac,r}$)</i>	208 / 240
<i>Frecuencia (f_r)</i>	60 Hz
<i>Distorsión armónica total</i>	< 5.0 %
<i>Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac,r}$) predeterminado</i>	1 (ajustable en menú oculto 0,85 - 1 ind. /cap.)

Fuente: (FRONIUS, 2024)

5.2.3 Caja de Conexiones de Sensores Fronius

La Caja de conexiones de sensores Fronius es un dispositivo que se conecta a una fuente de alimentación de 12 [V] DC y se comunica con el inversor a través de una interfaz RS-485, donde recopila y procesa datos de varios sensores como la irradiación solar, la temperatura del módulo, la velocidad del viento y la temperatura ambiente, lo que permite un monitoreo más preciso y completo del rendimiento y las condiciones de funcionamiento del sistema fotovoltaico (FRONIUS, 2024).

Figura 4.

Caja de conexiones de sensores Fronius



Nota. Esta caja facilita la interconexión precisa y segura de los sensores del sistema. Fuente: (FRONIUS, 2024).

Tabla 6.

Especificaciones técnicas de la caja de conexiones de sensores

Especificaciones técnicas	
<i>Dimensiones (largo x ancho x alto)</i>	19,7 x 11,0 x 5,7 cm
<i>Peso</i>	0,67 kg
<i>Voltaje de alimentación</i>	12 [V]
<i>Rango de operación a temperatura ambiente</i>	-25 – +75°C
<i>Rangos de medida</i>	0 – 100 [mV] / 0 – 200 [mV] / 0 – 1 [V]
<i>Nivel de voltaje máximo</i>	5,5 [V]
<i>Frecuencia máxima</i>	2,500 [Hz]
<i>Duración mínima del pulso</i>	250 [µs]
<i>Punto de funcionamiento bajo» OFF «</i>	0 - 0.5 [V]
<i>Punto de funcionamiento alto» ON «</i>	3 - 5.5 [V]

Fuente: (FRONIUS, 2024).

5.2.4 Sensores Fronius

Fronius ofrece una variedad de sensores para su uso en sistemas fotovoltaicos, que incluyen:

5.2.4.1 Sensor de Irradiación Fronius

Este sensor cuenta con una alta precisión en la medición de la radiación solar gracias a su diseño y tecnología de alta calidad (FRONIUS, 2024). Su función principal es medir la cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie de los paneles solares fotovoltaicos lo que permite estimar la energía eléctrica que se va a generar.

Se trata de un sensor de tipo "piranómetro", que utiliza una celda térmica para medir la radiación solar global, es decir, la suma de la radiación directa y la difusa. Además, cuenta con una carcasa de protección que lo hace resistente a la intemperie y a las condiciones climáticas adversas, lo que garantiza una medición precisa y fiable en todo momento.

Figura 5.

Sensor de irradiación Fronius



Nota. Este sensor proporciona datos precisos sobre la cantidad de energía solar que llega al área donde se encuentra instalado el sistema. Fuente: (FRONIUS, 2024)

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del sensor de irradiación Fronius

Especificaciones técnicas	
<i>Dimensiones (longitud x ancho x alto)</i>	11 x 4 x 4 cm
<i>Peso</i>	0,24 kg
<i>Material del sensor</i>	Silicio monocristalino
<i>Tolerancia</i>	±5 % en promedio anual
<i>Margen de temperatura ambiente</i>	-40°C – +85°C

<i>Tensión de sensor</i>	Valor aproximado de 70 mV con 1.000 W/m ² (el valor de calibración exacto deberá estar impreso en el sensor)
<i>Diseño</i>	Resistente al agua montado en perfil de aluminio en forma de "Z"
<i>Cable de conexión</i>	3 m de cable de cobre; 2 x 0,5 mm, silicona aislada, extremos libres, casquillos, resistente a rayos UV
<i>Máxima longitud de cable (distancia: Sensor Card/Box al sensor)</i>	30 m

Fuente: (FRONIUS, 2024)

5.2.4.2 Sensor de Temperatura Ambiente Fronius

Este es un dispositivo que está diseñado para medir la temperatura del aire en el entorno donde se encuentra instalado el sistema fotovoltaico, además, utiliza un termistor de alta precisión para medir la temperatura ambiente y se conecta al inversor Fronius a través de un cable de conexión de tres hilos y se comunica con el mismo a través del protocolo de comunicación Modbus RTU para proporcionar datos de temperatura en tiempo real para el monitoreo y la optimización del rendimiento del sistema (FRONIUS, 2024).

Figura 6.

Sensor de temperatura ambiente Fronius



Nota. Este sensor mide la temperatura del aire y proporciona datos importantes para el funcionamiento óptimo de los equipos y sistemas. Fuente: (FRONIUS, 2024).

Tabla 8.*Especificaciones técnicas del sensor de temperatura ambiente Fronius*

<i>Especificaciones técnicas</i>	
<i>Dimensiones</i>	1500 mm
<i>Diámetro</i>	6 mm
<i>Sensor</i>	PT1000
<i>Rango de medición</i>	-50°C – +230°C
<i>Tolerancia</i>	±0.8°C (en el rango de -40°C hasta +100°C)
<i>Diseño</i>	Sensor en una cápsula cilíndrica de acero inoxidable, tecnología de 2 conductores
<i>Cable de conexión</i>	3 m de cable de cobre; 2 x 0,5 mm, silicona aislada, extremos libres, casquillos, resistente a rayos UV
<i>Máxima longitud de cable (distancia: Sensor Card/Box al sensor)</i>	1,5m

Fuente: (FRONIUS, 2024).

5.2.4.3 Sensor de Temperatura de Módulo Fronius

Este sensor es un dispositivo de alta calidad y confiabilidad utilizado para medir la temperatura de la superficie de los módulos fotovoltaicos, su diseño robusto y resistente a las condiciones ambientales extremas, garantiza una medición precisa y confiable a lo largo del tiempo (FRONIUS, 2024). Este sensor es esencial para monitorear el rendimiento de los paneles solares, ya que la temperatura puede afectar significativamente la eficiencia y la producción de energía de los módulos.

Figura 7.

Sensor de temperatura de módulo Fronius



Nota. Este sensor se instala directamente en el módulo y monitorea continuamente la temperatura de la superficie de este. Fuente: (FRONIUS, 2024).

Tabla 9.

Especificaciones técnicas del sensor de temperatura de módulo Fronius

Especificaciones técnicas	
<i>Dimensiones / l</i>	100 mm
<i>Sensor</i>	PT1000
<i>Rango de medición</i>	-20°C – +150°C
<i>Tolerancia</i>	±0.8°C (en el rango de -20°C hasta +100°C)
<i>Diseño</i>	Sensor autoadhesivo para mediciones en superficies, técnica de dos conductores
<i>Cable de conexión</i>	3 m de cable de cobre; 2 x 0,5 mm, silicona aislada, extremos libres, casquillos, resistente a rayos UV
<i>Máxima longitud de cable (distancia: Sensor Card/Box al sensor)</i>	20 m

Fuente: (FRONIUS, 2024)

5.2.4.4 Sensor de Velocidad del Viento Fronius

Es un componente importante en una instalación de energía solar fotovoltaica, ya que proporciona información precisa sobre la velocidad del viento en el área del sistema, esto puede ser útil para optimizar la producción de energía solar, ya que la velocidad del viento puede afectar la eficiencia y el rendimiento de los paneles solares (FRONIUS, 2024).

Figura 8.

Sensor de velocidad del viento Fronius



Nota. Este sensor proporciona datos precisos sobre la velocidad del viento en tiempo real. Fuente: (FRONIUS, 2024)

Tabla 10.

Especificaciones técnicas del sensor de velocidad del viento Fronius

Especificaciones técnicas	
<i>Dimensiones</i>	85 mm
<i>Sensor</i>	Anemómetro
<i>Señal de salida</i>	Rectangular: Bajo $\leq 0,5V$ / Alto $\geq 4,5 V$ 5,22 Hz = 1 km/h 18,79 Hz = 1 m/s A partir de la versión de software Sensor Card/Box
<i>Factor de calibración</i>	1.1.0.28: 1,45 Hz = 1 km/h 5,22 Hz = 1 m/s
<i>Umbral</i>	2,5 m/s velocidad de viento
<i>Resolución</i>	1 m/s; 1 km/h
<i>Tolerancia</i>	$\pm 5 \%$ a partir de 5 m/s
<i>Margen de temperatura ambiente</i>	-20°C – +60°C
<i>Cable de conexión</i>	2m de cable de cobre, extremos libres, casquillos, resistente a rayos UV
<i>Máxima longitud de cable (distancia: Sensor Card/Box al sensor)</i>	20 m

Fuente: (FRONIUS, 2024)

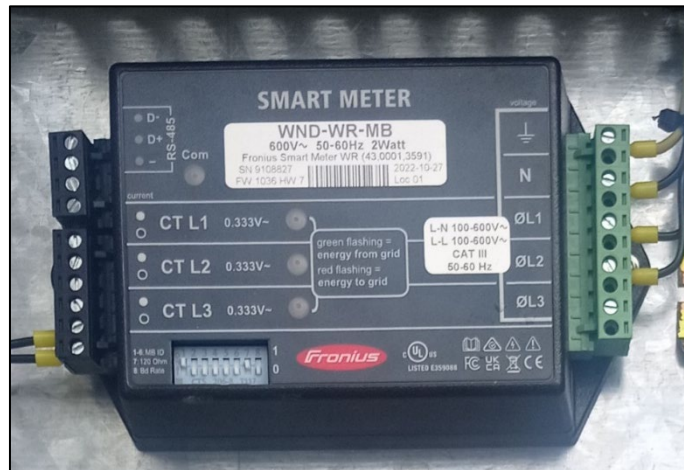
5.2.4.5 Medidor Inteligente US-240V Fronius

Es un contador de energía bidireccional que se instala en el panel eléctrico principal del edificio para medir la energía en tiempo real producida por el sistema solar fotovoltaico y

la energía consumida por los dispositivos eléctricos de la instalación y envía los datos al inversor de la instalación para su procesamiento y monitorización.

Figura 9.

Medidor Inteligente US-240V Fronius



Nota. Este dispositivo está diseñado para proporcionar mediciones detalladas y datos en tiempo real sobre el consumo y la generación de energía eléctrica. Fuente: [Autor](#)

Tabla 11.

Especificaciones técnicas del medidor inteligente US-240V

Especificaciones técnicas	
<i>Dimensiones</i>	3.8 x 14.3 x 8.5 cm
<i>Tensión nominal</i>	166 [V] – 276 [V]
<i>Frecuencia</i>	50Hz a 60Hz
<i>Potencia de autoconsumo</i>	1,2W(60hz) / 1,5W(50Hz)
<i>Potencia aparente máxima</i>	4 [VA]
<i>Rango de temperatura</i>	-30°C a +55°C
<i>Peso</i>	306 gr
<i>Tipos de redes</i>	2 fases - 3 hilos (N), 2 Fases - 2 hilos, e Fases - 4 hilos WYE (N), 3 Fases - 3 hilos
<i>Alimentación</i>	Se auto suministra, no necesita una fuente externa de alimentación

Fuente: [\(FRONIUS, 2024\)](#)

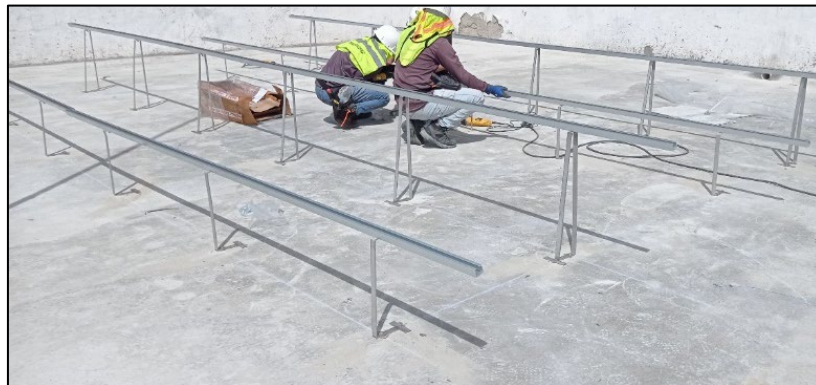
5.2.4.6 Sistema de montaje

Los sistemas de montaje son una parte esencial en la instalación de paneles solares fotovoltaicos, ya que proporcionan soporte estructural y garantizan la orientación adecuada y el ángulo de inclinación para optimizar la producción de energía.

Estos sistemas varían según el tipo de estructura en la que se instalan los paneles solares, pueden ser de tipo fijo o con seguimiento solar, que ajusta automáticamente la orientación de los paneles solares para seguir la trayectoria del sol y maximizar la producción de energía (Kalogirou, 2014).

Figura 10.

Sistema de montaje fijo



Nota. Instalación de bases y soportes para módulos solares. Fuente: Autor

5.2.4.7 Dispositivos de protección

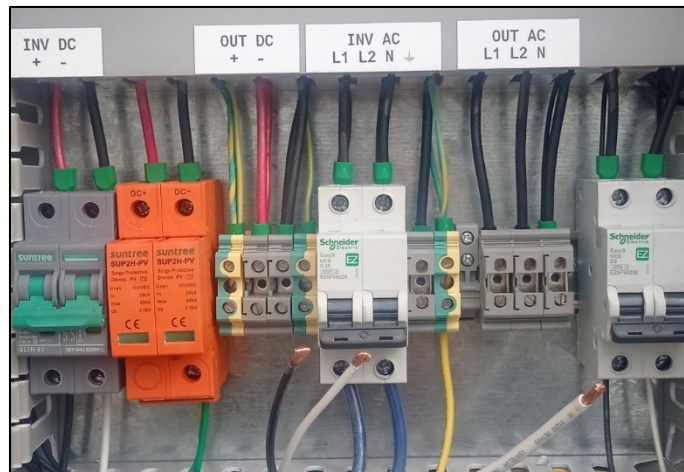
Los sistemas de protección en instalaciones fotovoltaicas son esenciales para garantizar la seguridad del sistema, así como la de las personas y los equipos involucrados, estos sistemas protegen contra sobrecargas, cortocircuitos, subtensiones, y otros posibles riesgos eléctricos (Kalogirou, 2014).

Uno de los componentes de protección más importantes son los interruptores automáticos o disyuntores, que protegen contra sobrecargas y cortocircuitos, estos dispositivos interrumpen el flujo de corriente eléctrica cuando detectan una corriente anormal, evitando daños en los equipos y minimizando los riesgos de incendio (Mekhilef et al., 2012).

El sistema de puesta a tierra es otro componente fundamental en las instalaciones fotovoltaicas, ya que proporciona una ruta segura para la corriente eléctrica en caso de fallas o cortocircuitos (Mekhilef et al., 2012).

Figura 11.

Interruptores de protección



Nota. Estos dispositivos detectan y desconectan automáticamente la corriente eléctrica en caso de sobrecargas o posibles riesgos eléctricos. Fuente: Autor

5.2.4.8 Cableado y conexiones

El cableado y las conexiones en un SFV (sistema fotovoltaico) son componentes clave para asegurar la transferencia eficiente de energía entre los módulos fotovoltaicos, inversores, y otros componentes del sistema. La selección adecuada de cables y conexiones garantiza la seguridad, durabilidad y eficiencia del SFV (Kalogirou, 2014).

Los cables utilizados en SFV deben ser adecuados para soportar las condiciones ambientales a las que están expuestos, como la exposición a la radiación ultravioleta, temperaturas extremas y humedad. Los cables de cobre con aislamiento resistente a los rayos UV, como los cables de tipo PV (Fotovoltaico), son comúnmente utilizados en instalaciones fotovoltaicas debido a su capacidad para resistir estas condiciones (Parida et al., 2011).

Las conexiones eléctricas entre los módulos fotovoltaicos y otros componentes del SFV deben ser realizadas utilizando conectores específicos para instalaciones fotovoltaicas, como los conectores MC4, que están diseñados para asegurar una conexión segura y de baja

resistencia entre los componentes. Estos conectores también son resistentes a la intemperie y proporcionan protección contra la humedad y la corrosión (Mekhilef et al., 2012).

Figura 12.

Cables y conectores del SAFV



Nota. La tubería Conduit a la izquierda proporciona una protección robusta para los cables, asegurando su integridad y reduciendo el riesgo de daños físicos o ambientales. El conector MC4 a la derecha facilita una conexión eficiente y confiable entre los paneles solares, garantizando una transmisión segura de la energía generada. Fuente: [Autor](#)

5.2.4.9 Sistema de monitoreo y control

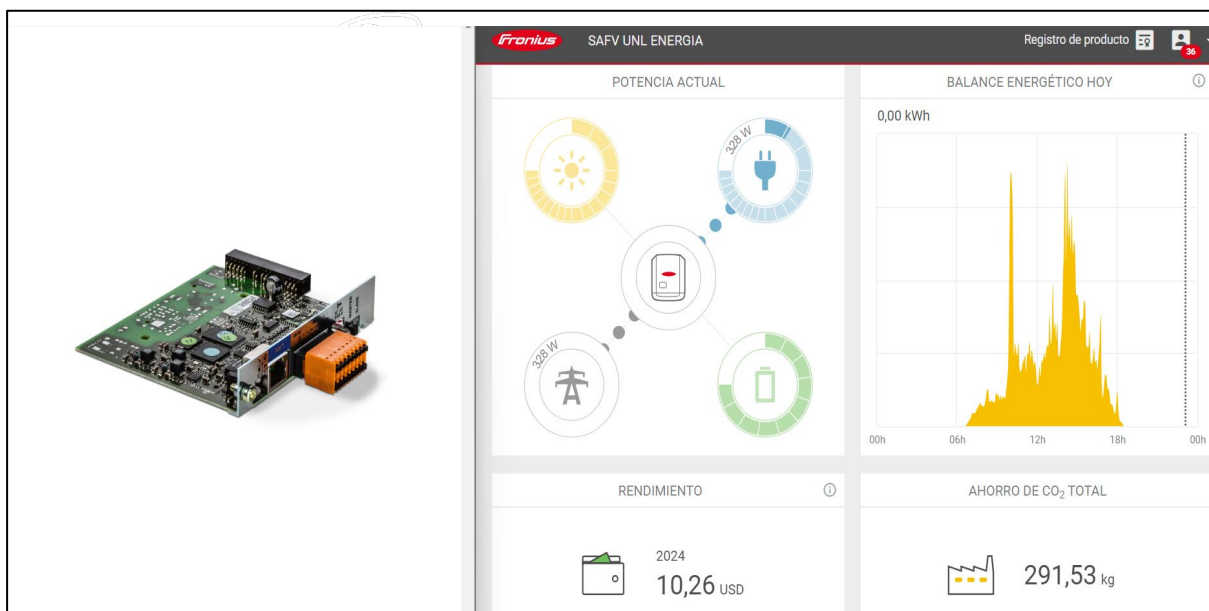
Fronius, como uno de los líderes en tecnología de inversores solares, ofrece sistemas de monitoreo y control avanzados para sus productos, estos sistemas de monitoreo y control permiten supervisar, analizar y optimizar el rendimiento del sistema fotovoltaico de manera eficiente y confiable (Fronius International GmbH, 2024).

Uno de los sistemas de monitoreo y control más conocidos de Fronius es el Fronius Solar.web, una plataforma en línea que permite a los usuarios supervisar sus sistemas fotovoltaicos en tiempo real desde cualquier lugar y en cualquier momento, utilizando una computadora, tableta o teléfono inteligente. Solar.web proporciona información detallada sobre el rendimiento del sistema, la producción de energía y el consumo, así como alertas en caso de fallos o anomalías en el funcionamiento del sistema (Fronius International GmbH, 2024).

El Fronius Datamanager es otro componente de suma importancia en los sistemas de monitoreo y control de Fronius, ya que se instala en los inversores Fronius y permite la comunicación entre el inversor, la plataforma Solar.web y otros dispositivos del sistema fotovoltaico, como el Fronius Smart Meter, además, su función principal es registrar y almacenar datos sobre el rendimiento del sistema, el consumo de energía y el estado de los componentes, facilitando el análisis y la optimización del sistema (Fronius International GmbH, 2024).

Figura 13.

Sistema de control y monitoreo Fronius



Nota. El Fronius Datamanager, ubicado en el lado izquierdo, envía los datos de la instalación y producción fotovoltaica al portal en línea Fronius Solar.web, visible en el lado derecho de la imagen. Esto permite mantener una vista general constante del funcionamiento de la instalación en todo momento. Fuente: Autor

5.3 Procedimiento

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, centrado en el análisis y registro de datos generados por el Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico (SAFV) de 4.9 kWp instalado en la FEIRNNR de la UNL. Para lograr cumplir con los objetivos planteados, el procedimiento se segmentó en cinco etapas como se puede observar en la [Figura 14](#):

Figura 14.

Etapas para el cumplimiento de objetivos del proyecto



Nota. Estas etapas se cumplieron minuciosamente para dar cumplimiento de los objetivos planteados.
Fuente: [Elaboración propia](#)

Etapa 1

En la primera etapa se procedió a la instalación de la versión beta del software PVsyst, el cual fue posteriormente actualizado a la licencia estudiantil para obtener funcionalidades más avanzadas en las simulaciones. Con el fin de garantizar la precisión de los resultados, se creó un detallado dibujo del entorno de la FEIRNNR, buscando representar con fidelidad el lugar donde se llevarían a cabo las simulaciones.

Para lograr un análisis completo, se ingresaron las coordenadas geográficas específicas del sitio y se detallaron las características de los dispositivos a instalar. Es relevante destacar que PVsyst cuenta con un amplio catálogo de marcas que facilitaron la selección de los dispositivos adecuados. Además, con el objetivo de obtener perspectivas diversas, se utilizaron ocho fuentes meteorológicas distintas en las simulaciones para enriquecer los resultados obtenidos.

Etapa 2

Durante esta etapa, se llevó a cabo el Registro de instalación y configuración del SAFV, el proceso de instalación tomó aproximadamente 3 días y se documentó meticulosamente cada paso mediante fotografías. Se inició con la toma de medidas precisas para colocar correctamente las bases que sostendrían los paneles solares, luego, se procedió a la instalación de los soportes y los 12 paneles solares, conectados en serie para su funcionamiento conjunto.

Asimismo, se realizó la instalación de un inversor de red para convertir eficientemente la energía generada por los paneles, se prestaron especial atención a la protección de todos los cables utilizados para garantizar la seguridad y el rendimiento óptimo del sistema. Finalmente, se llevó a cabo la configuración del SAFV utilizando el software proporcionado por el fabricante, asegurando un funcionamiento óptimo y eficaz del sistema.

Etapa 3

Una vez que se puso en funcionamiento el sistema, se llevó a cabo la instalación de sensores complementarios para obtener un conjunto completo de datos y de la misma manera potenciar el SAFV. El autor se encargó de instalar el Sensor de velocidad del viento, suministrado por la marca Fronius, además, la empresa RENOVA ENERGÍA generosamente donó otros dos sensores, específicamente el sensor de temperatura ambiente y el sensor de temperatura del módulo, ambos de la misma marca. De esta manera, se logró obtener una amplia gama de mediciones para obtener un análisis exhaustivo del sistema.

Etapa 4

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento y análisis de los datos recopilados por el SAFV y los sensores complementarios, con el objetivo de evaluar tanto la generación fotovoltaica como el consumo del edificio, se procedió a calcular la proporción de energía consumida por el edificio que provenía del SAFV, así como la cantidad de energía generada por el mismo en relación con su capacidad teórica. Este análisis permitió obtener una visión clara del desempeño y la eficiencia del sistema en la provisión de energía al edificio, y brindó información valiosa para futuras optimizaciones y ajustes.

Etapa 5

En esta última etapa, se procedió a crear un modelo altamente versátil que posibilita la simulación del SAFV en diversos escenarios. Este modelo permitirá utilizar diferentes fuentes de datos meteorológicos y la introducción del consumo eléctrico mensual. De esta

manera, el modelo calcula con precisión el potencial ahorro que el cliente podría obtener con la instalación del SAFV, proporcionando una visión clara de los beneficios económicos y energéticos asociados. La capacidad del modelo para adaptarse a diferentes situaciones y condiciones lo convirtió en una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas en futuros proyectos de energía solar.

5.4 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos para esta investigación se llevó a cabo mediante diversas técnicas y herramientas, los datos fueron recopilados a través del registro y análisis de información generada por el SAFV, almacenada en la página de Solar.web, donde se registran los datos de consumo y producción del sistema, así como los datos de los sensores instalados.

Dado que el enfoque de la investigación se centró en un solo sistema, no fue necesario aplicar muestreo tradicional, ya que se consideraron todos los datos generados por el SAFV como relevantes para los objetivos del estudio, sin aplicar criterios de exclusión. Después de un período de cinco meses de funcionamiento del SAFV, se recopilaron datos sobre la producción de energía del sistema y el consumo del edificio, por lo cual, estos datos fueron procesados y analizados utilizando Microsoft Excel, asimismo, se realizó cálculos de estadísticas descriptivas como la media y la desviación estándar, con el fin de obtener una visión más clara del rendimiento promedio del sistema y su variabilidad.

6. Resultados

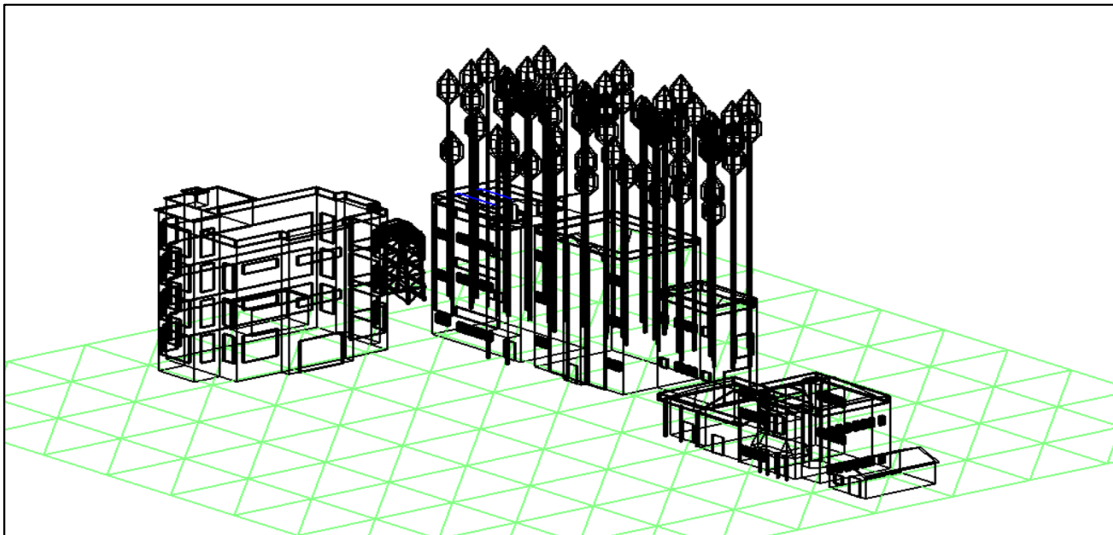
A continuación, se dará a conocer los resultados obtenidos, ofreciendo una visión completa de la ejecución de los objetivos establecidos en el marco de estudio.

6.1 Simulación en PVsyst

Antes de llevar a cabo la implementación del Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico, se llevó a cabo una etapa de simulación, haciendo uso de diversas fuentes de datos meteorológicos, se evaluó y estimó la cantidad de energía que sería generada por el sistema. Para llevar a cabo estas proyecciones, se empleó el software PVsyst, el cual ofrece herramientas avanzadas para realizar este tipo de análisis con precisión y fiabilidad.

Figura 15.

Esquema lineal en PVsyst de la FEIRNNR de la UNL



Nota. Esquema de la FEIRNNR de la UNL realizado en PVsyst, se adquirió la licencia de estudiante para obtener todos los beneficios del software. Fuente: [Elaboración propia](#)

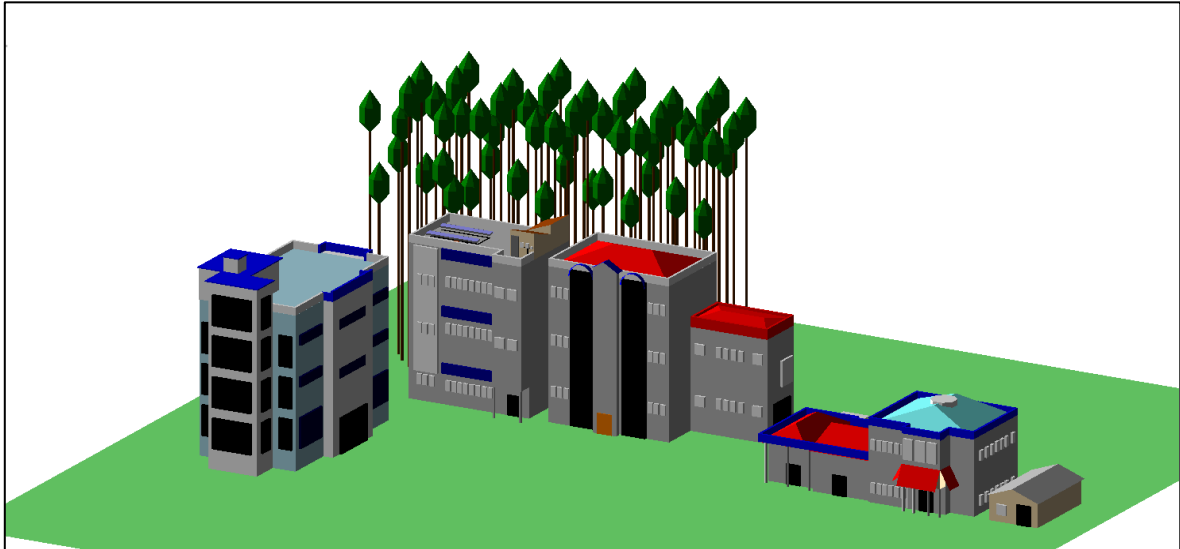
Una característica destacada es la capacidad de representar gráficamente la escena de sombreado. En la figura 16, se presenta la construcción del modelado de los edificios de la facultad de la energía y los recursos naturales no renovables.

Una vez completado el modelado, pudimos examinar y medir cómo las sombras afectan los paneles solares a lo largo del día y en distintos momentos del año. Lo cual nos permitió tomar decisiones fundamentales sobre la ubicación y orientación óptima de los

paneles solares, y también nos brindó la capacidad de implementar estrategias para minimizar el impacto del sombreado, si fuese necesario.

Figura 16.

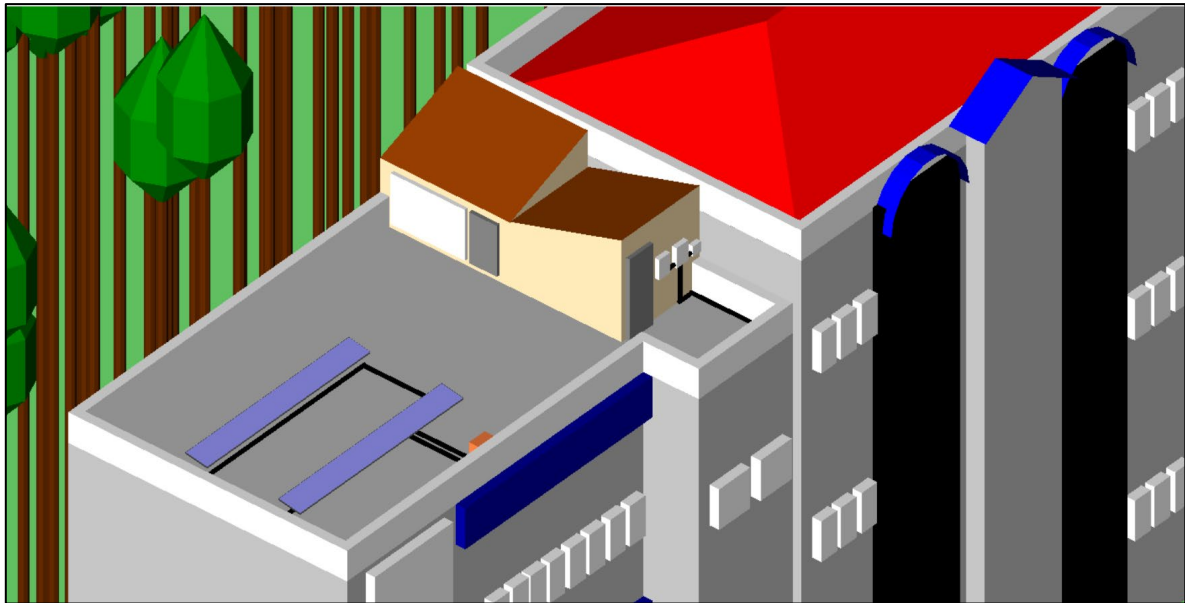
Panorama completo en PVsyst de la FEIRNNR de la UNL



Nota. Una visión detallada de una sección de la Facultad de Energía, Industrias y Recursos Naturales No Renovables representada en la simulación realizada en PVsyst. Fuente: [Elaboración propia](#)

Figura 17.

Vista aérea del sistema fotovoltaico en PVsyst



Nota. Una perspectiva aérea del sistema instalado en la azotea del edificio, simulado en PVsyst. Fuente: [Elaboración propia](#)

Estas simulaciones brindaron una comprensión minuciosa de la producción de energía anticipada, lo que facilitó una planificación más precisa y eficaz para la implementación del sistema fotovoltaico. Una vez concluida la simulación, se generó un informe que incluía datos técnicos sobre el rendimiento, una evaluación económica y representaciones gráficas. Es importante mencionar que dichos informes se encuentran detalladamente documentados en los anexos al final de este trabajo.

Figura 18.

Panel de control con datos simulados



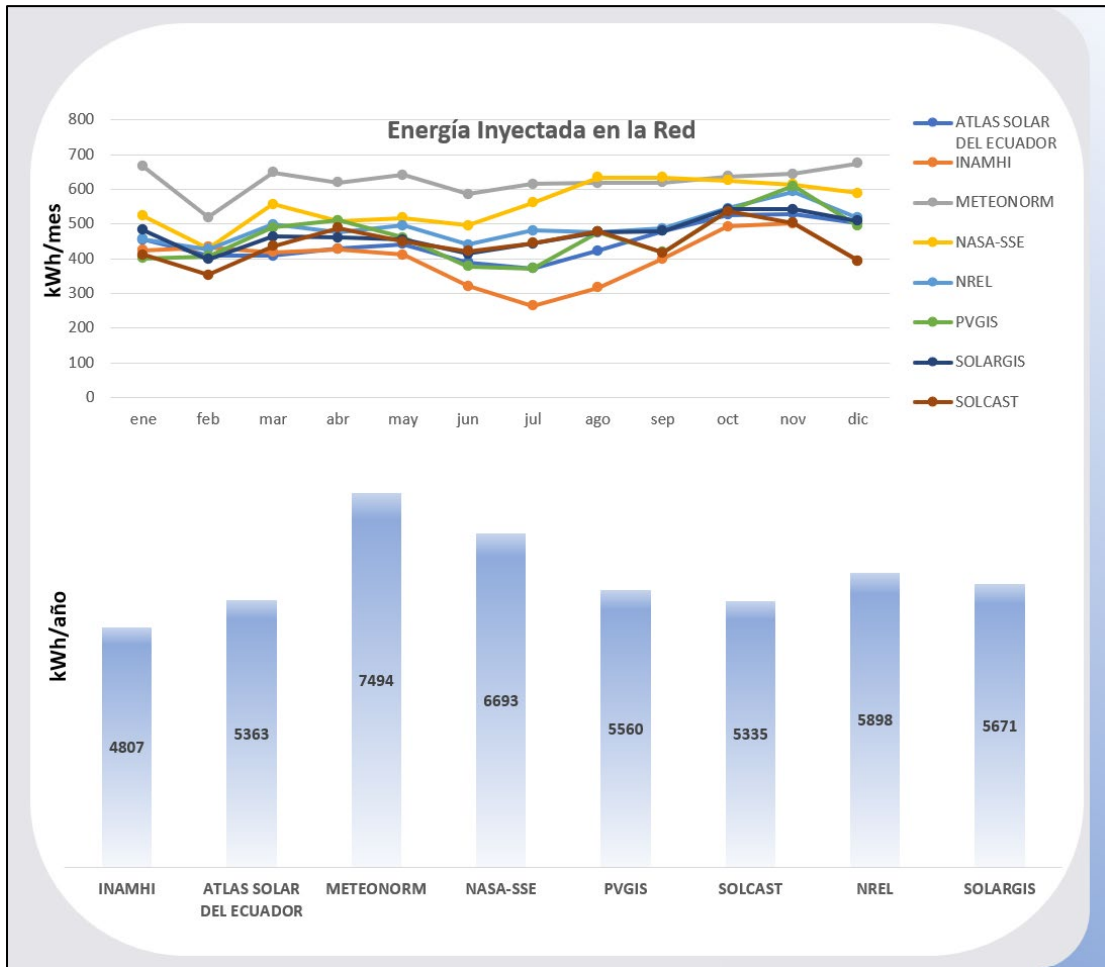
Nota. Dashboard creado en Microsoft Excel que ofrece una visión general de los datos simulados en PVsyst, incluyendo información de ocho fuentes meteorológicas diferentes. Fuente: [Elaboración propia](#)

Dado que se llevaron a cabo múltiples simulaciones utilizando diversas fuentes meteorológicas con el fin de obtener resultados variados y realizar un análisis más completo, se procedió a registrar los datos en una tabla de Excel. Posteriormente, se creó un panel de control que integraba todos estos datos. Esto facilitó la visualización y permitió una comparación más detallada de las distintas producciones obtenidas.

En la [Figura 19](#), se presentan las diversas fuentes y los resultados de la producción fotovoltaica anual de cada una. Se destaca la variabilidad entre valores altos y bajos. Es notable que la fuente del National Renewable Energy Laboratory (NREL) muestra un promedio significativo, lo que la convierte en un punto de referencia valioso para la comparación con los datos generados por el sistema fotovoltaico.

Figura 19.

Medición y producción energética simulado



Nota. Producción energética con diversas fuentes meteorológicas simuladas, NREL la fuente meteorológica que se aproxima más al valor de producción promedio. Fuente: [Elaboración propia](#)

6.2 Registro de instalación

La instalación del sistema fotovoltaico implica una serie de pasos clave. A continuación, se detallan algunos de manera resumida y los más relevantes. Para conocer este proceso más a detalle, se puede revisar la bitácora de instalación en el [Anexo 18](#).

6.2.1 Ubicación y Orientación

El emplazamiento idóneo para los paneles solares fue meticulosamente seleccionado, priorizando la azotea del bloque 3, la misma que fue previamente asignada y validada para garantizar una implementación sin contratiempos. La orientación precisa resultó fundamental

para la eficacia del sistema, los paneles solares fueron orientados a una inclinación de 10 grados con respecto al plano horizontal. La parte más alta de esta inclinación se dispuso en la dirección este, coincidiendo con la salida del sol, mientras que la parte más baja se posicionó en dirección oeste, alineada con la puesta del sol. Esta configuración se ajustó meticulosamente para optimizar la captación de radiación solar a lo largo del día, maximizando así la eficiencia del sistema fotovoltaico.

Figura 20.

Instalación de las bases del sistema fotovoltaico



Nota. Después de realizar mediciones preliminares, se procede a instalar las bases de los paneles solares en el concreto. Fuente: [Autor](#)

Figura 21.

Instalación de soportes para los paneles fotovoltaicos



Nota. Tras asegurar las bases, se instalan los soportes que garantizan la fijación de los paneles solares.

Fuente: [Autor](#)

6.2.2 Montaje de paneles

Una vez instalados los soportes, manteniendo una distancia adecuada entre ellos, se procede a llevar a cabo el montaje de los 12 paneles solares. Estos módulos fotovoltaicos son colocados y fijados en la estructura de soporte previamente diseñada para garantizar su correcta orientación y exposición a la radiación solar.

Figura 22.

Montaje de los paneles fotovoltaicos



Nota. Instalación y fijación de los 12 paneles solares en la estructura de soporte diseñada específicamente para asegurar una orientación óptima y una fijación segura. Fuente: [Autor](#)

6.2.3 Conexión de paneles

La instalación de los paneles solares involucró la disposición en serie, esta configuración permitió el aumento del voltaje total del sistema al sumar los voltajes individuales de cada panel. Esto no solo simplificó el cableado, reduciendo la complejidad y posibles puntos de fallo, sino que también optimizó la eficiencia del inversor al trabajar de manera más efectiva con voltajes superiores. Además, la conexión en serie permitió un seguimiento más preciso del Punto de Máxima Potencia (MPPT), adaptándose a las cambiantes condiciones de luz y maximizando la producción de energía. Esta elección se fundamentó en las particularidades del proyecto y contribuyó al rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico en esa instalación específica.

Figura 23.

Conexión en serie de paneles fotovoltaicos



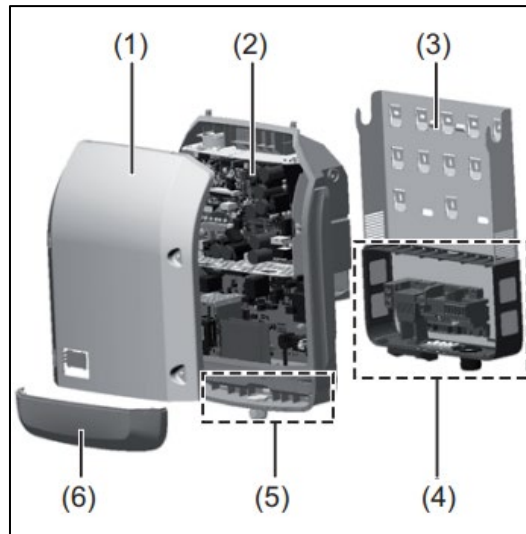
Nota. Configuración en serie diseñada para combinar eficientemente el voltaje individual de cada panel, optimizando así el rendimiento del sistema. Fuente: [Autor](#)

6.2.4 Instalación de Inversor

El inversor de red es el componente principal del sistema fotovoltaico, presenta una estructura multifacética cuyos elementos y disposición específica se detallan en la figura 24. Previo a su ensamblaje, el dispositivo se desmonta con el objetivo primordial de asegurar la correcta fijación del soporte mural. Una vez confirmada la estabilidad del soporte, se procede a la meticulosa a ensamblar las distintas partes que componen el inversor, culminando en un armado integral. Este proceso, de vital importancia, prepara el inversor para su conexión con la red eléctrica. Cabe señalar que el cuidadoso ensamblaje del inversor no solo es esencial para garantizar su rendimiento óptimo, sino que también facilita la integración efectiva del sistema fotovoltaico con la red eléctrica.

Figura 24.

Partes que conforman el inversor de red



Nota. La construcción del equipo se basa en; (1) Tapa de la caja (2) Inversor (3) Soporte mural (4) Zona de conexión incluyendo el interruptor principal CC (5) Zona de comunicación de datos (6) Cubierta de la comunicación de datos. Fuente: (FRONIUS, 2024)

Figura 25.

Inversor de red Fronius instalado



Nota. Antes de la instalación del inversor, es necesario desmontarlo para colocar su base; posteriormente, se realiza el ensamblaje de manera adecuada. Fuente: [Autor](#)

6.2.5 Conexión a la Red Eléctrica

La conexión del inversor Fronius a la red eléctrica se llevó a cabo mediante un proceso preciso y estandarizado. Antes de la conexión, se procedió a la configuración inicial del inversor, ajustando parámetros como la tensión de salida y la frecuencia de acuerdo con las especificaciones del sistema y las condiciones de la red eléctrica. Posteriormente, se realizó la conexión a la red, asegurando una sincronización precisa para una transición suave entre la energía generada por el sistema fotovoltaico y la red eléctrica. Durante este proceso, se instalaron dispositivos de protección, como interruptores automáticos y dispositivos contra sobretensiones, para garantizar la seguridad del sistema y cumplir con las normativas eléctricas locales. Además, se llevó a cabo la sincronización de frecuencia, asegurando que el inversor mantuviera una frecuencia de salida constante y en fase con la red eléctrica. Una vez completada la conexión, se pudo realizar el monitoreo remoto y el control del sistema, facilitando la supervisión de datos de rendimiento y la gestión de cualquier problema a distancia para asegurar la eficiencia y confiabilidad del sistema. Es esencial destacar que la

conexión del inversor Fronius se realizó bajo la supervisión de profesionales capacitados y en estricto cumplimiento de las regulaciones locales para garantizar la seguridad y la conformidad normativa.

Figura 26.

Conexión del sistema con la red eléctrica



Nota. El Ing. David Aguirre supervisa la conexión física de los componentes del sistema y realiza pruebas para asegurar su correcto funcionamiento y cumplimiento de los requisitos de seguridad.

Fuente: [Autor](#)

Figura 27.

Conexión con el contador inteligente Fronius



Nota. La vinculación entre el Sistema de Almacenamiento de Energía Fotovoltaica (SAFV) y el medidor inteligente se lleva a cabo en la caja de breakers. Fuente: [Autor](#)

6.2.6 Configuración de Monitorización

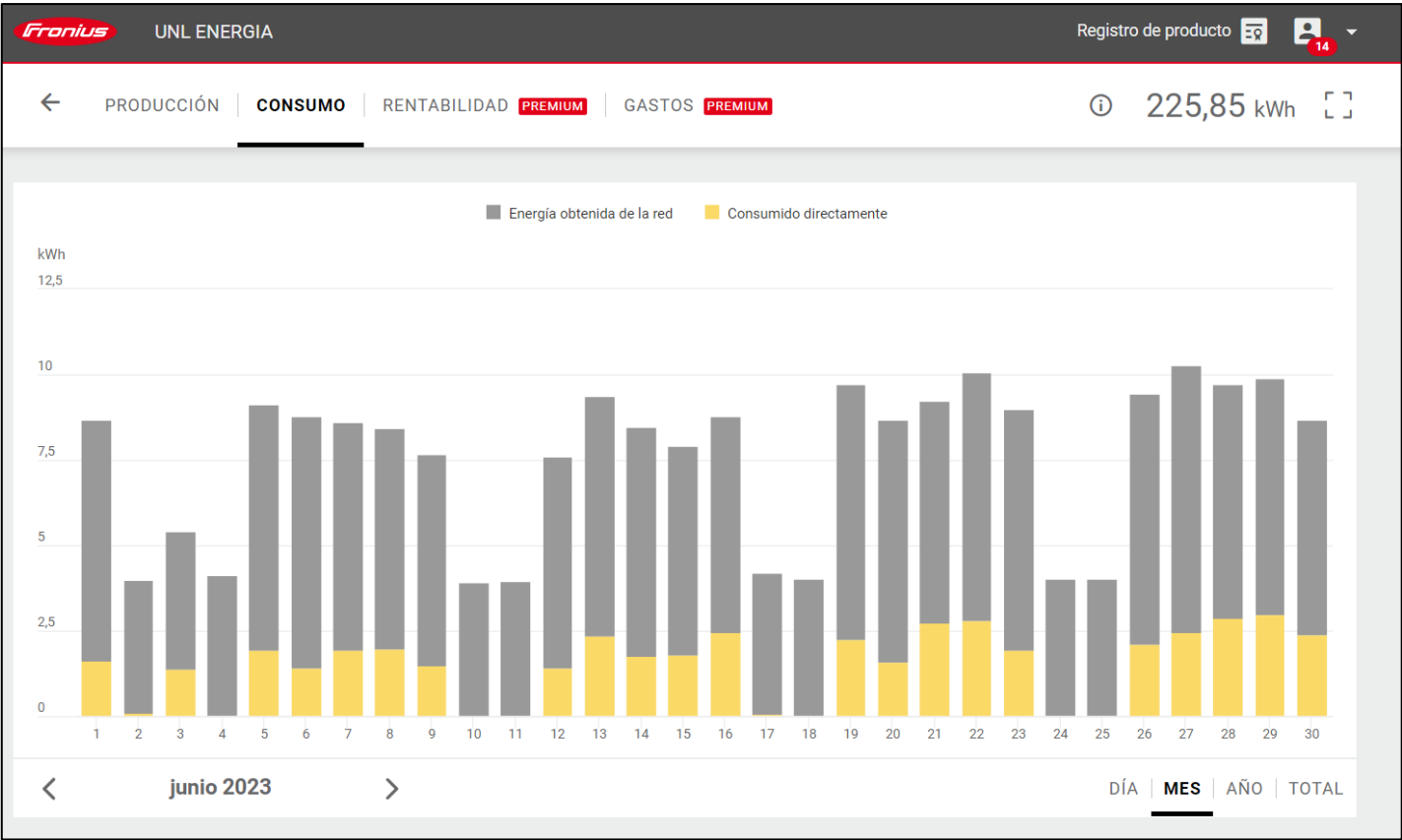
La configuración de monitorización en los inversores Fronius permitió un seguimiento detallado y eficiente del rendimiento del sistema fotovoltaico. Aprovechando la plataforma "Solar.web" (<https://www.solarweb.com>), con ayuda de un usuario previamente registrado para el sistema se accedió a datos en tiempo real y a registros históricos sobre la generación de energía solar. Para llevar a cabo la configuración, se registró el inversor en la plataforma, involucrando la creación de una cuenta en el sitio y la vinculación del inversor a dicha cuenta.

Una vez completado este registro, la interfaz proporcionada permitió una visualización sencilla de datos clave, como la producción diaria, semanal, mensual y anual de energía, así como la eficiencia del sistema. Gracias a que la plataforma Solar.web ofrece funciones avanzadas de análisis y diagnóstico, se logró la identificación y abordaje de posibles problemas o irregularidades en el rendimiento del sistema mediante alertas en tiempo real. La monitorización remota facilitó un mantenimiento proactivo y la optimización continua del

sistema, brindando a los propietarios y profesionales la capacidad de tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia y rentabilidad del sistema fotovoltaico.

Figura 28.

Centro de monitoreo en Solar.web



Nota. Panorama general de la producción de junio de 2023 en la plataforma SOLAR.WEB, donde se puede acceder a información detallada sobre el sistema instalado. Fuente: (Fronius International GmbH, 2023)

6.2.7 Mantenimiento del sistema

Durante las fases de mantenimiento del sistema fotovoltaico, se ha prestado atención particular al estado de los paneles solares, aplicando prácticas alineadas con las recomendaciones del fabricante. En diversas instancias, se evidenció la acumulación de polvo en la superficie de los paneles, un factor que puede afectar adversamente su desempeño al reducir la eficiencia de conversión de energía, por lo cual, siguiendo las pautas proporcionadas por el fabricante, se llevó a cabo la limpieza de los paneles con el objetivo de asegurar una óptima captación de radiación solar.

Al realizar este proceso de limpieza de forma regular, se minimiza el impacto perjudicial de la suciedad, facilitando una mayor entrada de luz solar y, como resultado, una generación de energía más eficiente. Este enfoque en el mantenimiento preventivo no solo salvaguarda la eficiencia del sistema, sino que también contribuye a prolongar la vida útil de los paneles solares, respaldando la durabilidad y confiabilidad a largo plazo del sistema fotovoltaico. La [Figura 29](#), ilustra el estado de un panel solar antes y después del mantenimiento (limpieza de acumulación del polvo).

Figura 29.

Mantenimiento y limpieza de paneles solares



Nota. A la izquierda un panel solar con acumulación de polvo, a la derecha el mismo panel solar después de la limpieza, de esta manera aumenta su rendimiento y eficiencia en la generación de energía. Fuente: [Autor](#)

6.3 Implementación de sensores complementarios

Para llevar a cabo el monitoreo del sistema fotovoltaico, se emplearon sensores específicos. Inicialmente, se adquirieron dos sensores fundamentales: el Fronius Irradiation y el Split-Core AC Current sensor. Estos dispositivos desempeñan un papel importante al proporcionar mediciones precisas relacionadas con la irradiación solar y la corriente alterna del sistema, respectivamente. Además, se contempla la posibilidad de incorporar hasta tres sensores adicionales, siempre y cuando estos sean de la misma marca, FRONIUS, con el fin de garantizar una integración sin problemas y una coherencia en la calidad de las mediciones obtenidas. Estos sensores adicionales pueden ampliar la capacidad de monitoreo del sistema al ofrecer datos complementarios relevantes para la eficiencia y el rendimiento general del sistema fotovoltaico.

Figura 30.

Sensor de irradiación y sensor de corriente alterna



Nota. A la izquierda el sensor de irradiación antes de ser instalado y cuya función será medir la cantidad de energía irradiada por el sol y a la derecha el sensor de corriente alterna cuya función es medir la corriente eléctrica que fluye a través del conductor sin necesidad de cortar o interrumpir el circuito.

Fuente: [Autor](#)

6.3.1 Sensor de temperatura ambiente Fronius

Se llevó a cabo la implementación exitosa del sensor Fronius Ambient Temperature en el sistema fotovoltaico. Este sensor, adquirido previamente, se encarga de medir la temperatura ambiental, proporcionando datos importantes para evaluar el impacto de las condiciones climáticas en el rendimiento del sistema. Su funcionamiento se basa en la captación precisa de la temperatura del entorno, permitiendo ajustes y optimizaciones en tiempo real para adaptarse a variaciones climáticas y garantizar una operación eficiente del sistema fotovoltaico.

Figura 31.

Instalación de sensor de temperatura ambiente



Nota. Identificación de polos antes de proceder a la conexión del sensor de temperatura ambiente.

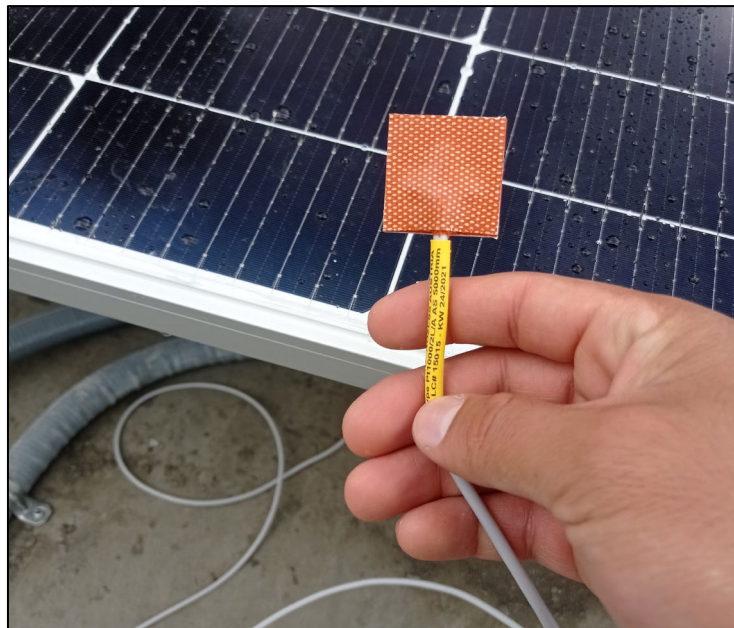
Fuente: [Autor](#)

6.3.2 Sensor de temperatura de módulo Fronius

De la misma manera se realizó la implementación del sensor de temperatura de módulo, un componente vital para el sistema fotovoltaico. Durante la fase previa, se incorporó este sensor que desempeña un papel crucial al proporcionar mediciones precisas de la temperatura de los módulos solares. Su funcionamiento preciso y continuo permite monitorear las variaciones térmicas, ofreciendo datos esenciales para evaluar y ajustar la eficiencia y rendimiento de los paneles solares en respuesta a las condiciones ambientales cambiantes. Este enfoque estratégico en el monitoreo térmico contribuye significativamente a optimizar la generación de energía del sistema fotovoltaico, asegurando una operación eficiente en diversas circunstancias.

Figura 32.

Sensor de temperatura de módulo



Nota. Instalación de sensor de temperatura de módulo el cual va colocado en la parte posterior del módulo solar. Fuente: [Autor](#)

6.3.3 Sensor de velocidad del viento Fronius

En la fase más reciente del proyecto, se llevó a cabo la implementación del Fronius Sensor Wind Speed, marcando la incorporación más reciente y crucial a nuestro sistema fotovoltaico. Este sensor desempeña un papel clave al ofrecer mediciones precisas de la velocidad del viento en tiempo real a una altura de aproximadamente 8 metros, asegurando así valores más exactos y representativos de las condiciones atmosféricas específicas del entorno. Su funcionamiento se centra en detectar con exactitud las variaciones en la velocidad del viento, proporcionando datos cruciales para evaluar el impacto directo de las condiciones climáticas en la generación de energía solar. Con la implementación de este último sensor, se completa de manera integral el sistema fotovoltaico, destacando nuestro compromiso continuo con el monitoreo ambiental y la optimización constante de la eficiencia del sistema en respuesta a las variables climáticas.

Figura 33.

Sensor que mide velocidad del viento



Nota. A la izquierda el sensor de que mide la velocidad del viento previamente a ser instalado, el sensor conectado y elevado a una altura de 8m aproximadamente. Fuente: [Autor](#)

6.4 Proceso y análisis de la generación fotovoltaica y consumo del edificio

6.4.1 *Análisis de producción*

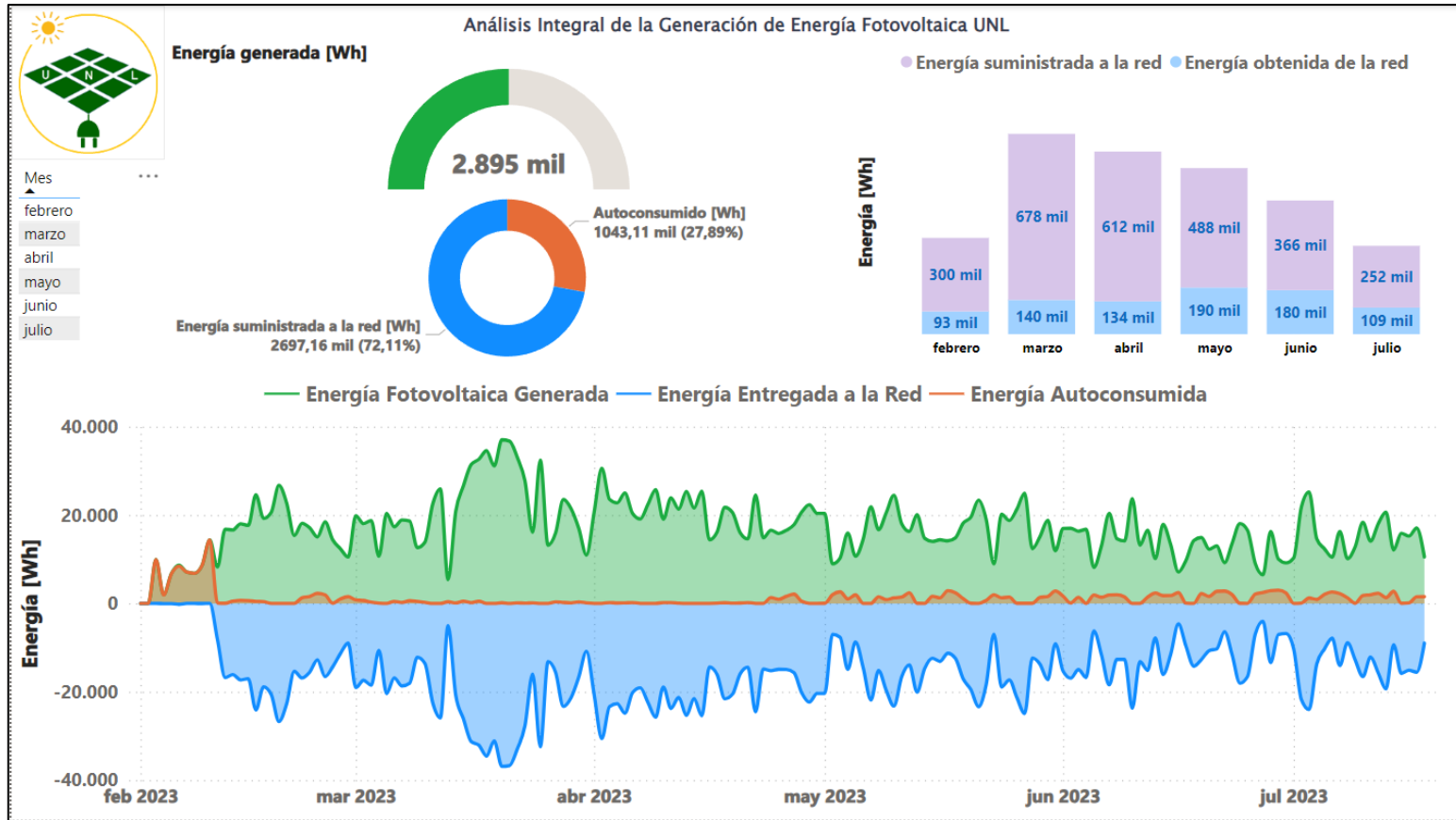
Una etapa crucial en la evaluación del sistema fotovoltaico es el análisis de su producción. El sistema fue puesto en funcionamiento el 19 de diciembre de 2022 y, tras diversas pruebas, fue debidamente configurado y conectado a la red eléctrica el 3 de febrero de 2023. En esta fase, se estableció la conexión con el sistema de monitoreo de Solar.web, el cual ha estado registrando de manera continua toda la información relativa al consumo y producción del sistema. Este sistema de monitoreo brinda una recopilación detallada y precisa de datos, esencial para realizar un análisis exhaustivo del rendimiento del sistema fotovoltaico desde su integración con la red eléctrica.

Después de un período de seis meses de operación de los paneles solares, se llevó a cabo la extracción de datos almacenados en la plataforma Solar.web, mediante la utilización de la herramienta de análisis Power BI, reconocida por su robustez y eficacia, se procedió a

realizar un análisis exhaustivo. Este enfoque analítico se diseñó con el propósito de presentar de manera clara y comprensible, a través de gráficos, la producción del sistema fotovoltaico. La rigurosidad del análisis permitió examinar detalladamente los patrones de generación de energía a lo largo del tiempo, identificar tendencias significativas y evaluar la eficiencia del sistema en diversas condiciones. Este proceso metodológico se orientó a proporcionar una visión integral y cuantitativa de la contribución del sistema fotovoltaico, facilitando una comprensión más profunda de su desempeño y posibilitando la identificación de áreas para posibles mejoras y optimizaciones.

Figura 34.

Panel de control con análisis de producción del SAFV

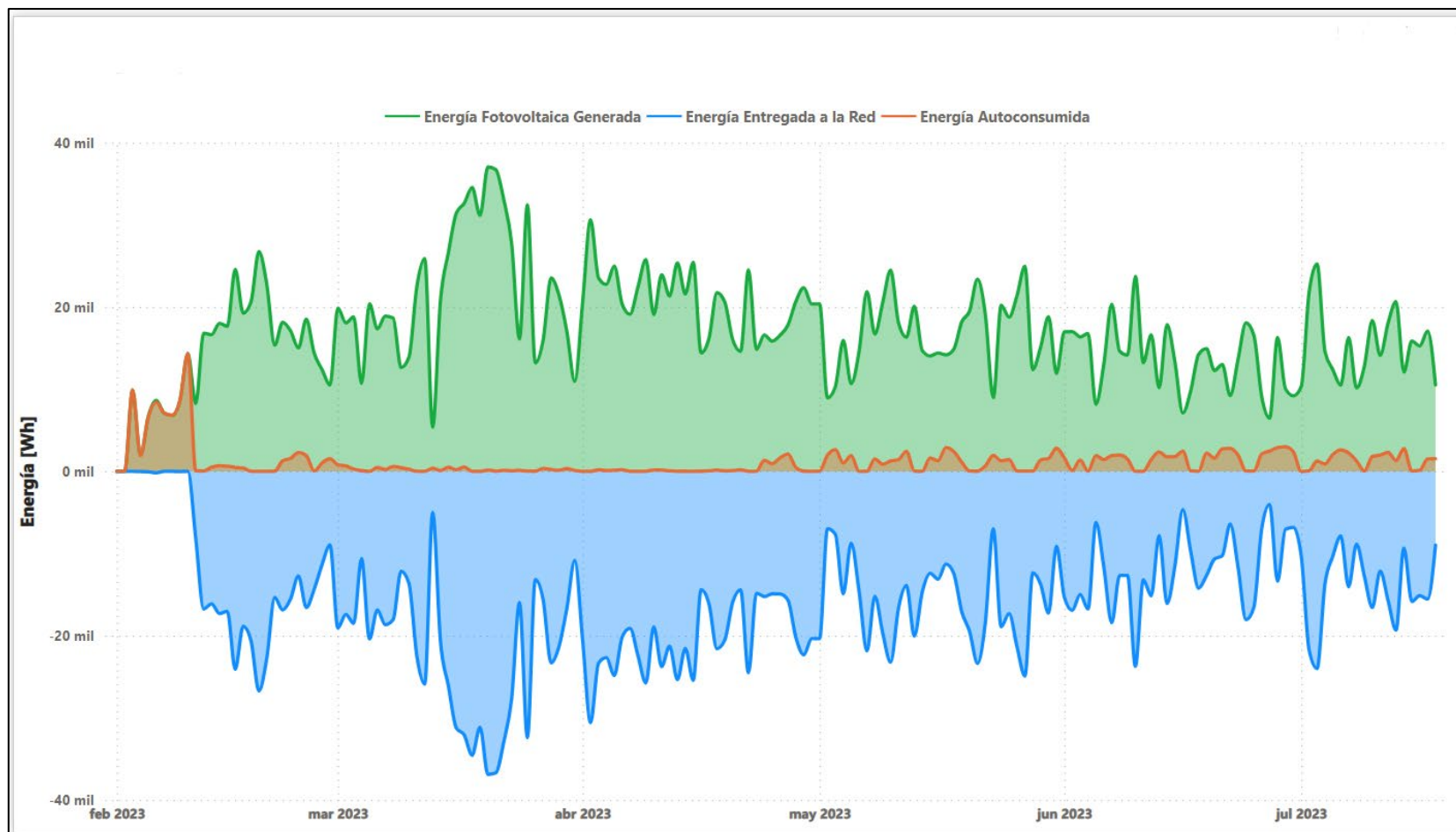


Nota. Dashboard que muestra información sobre la energía fotovoltaica generada, entregada a la red y consumida internamente por el edificio. Fuente: Elaboración propia.

En la [Figura 35](#), se representa la energía total generada, evidenciada en el eje positivo. La señal en tono naranja superpuesta en esta misma línea refleja la cantidad de energía consumida por el edificio. Por otro lado, la señal en tono celeste, en el eje negativo indica la diferencia entre estas dos señales, revelando la energía que se inyecta en la red eléctrica. Esta interpretación sugiere que los valores negativos representan la contribución excedente del sistema fotovoltaico, evidenciando la capacidad de suministrar energía a la red eléctrica. Este enfoque gráfico proporciona una representación visual clara y detallada de la relación entre la generación, consumo y entrega de energía en el contexto del sistema fotovoltaico.

Figura 35.

Relación entre generación, consumo y contribución a la red eléctrica

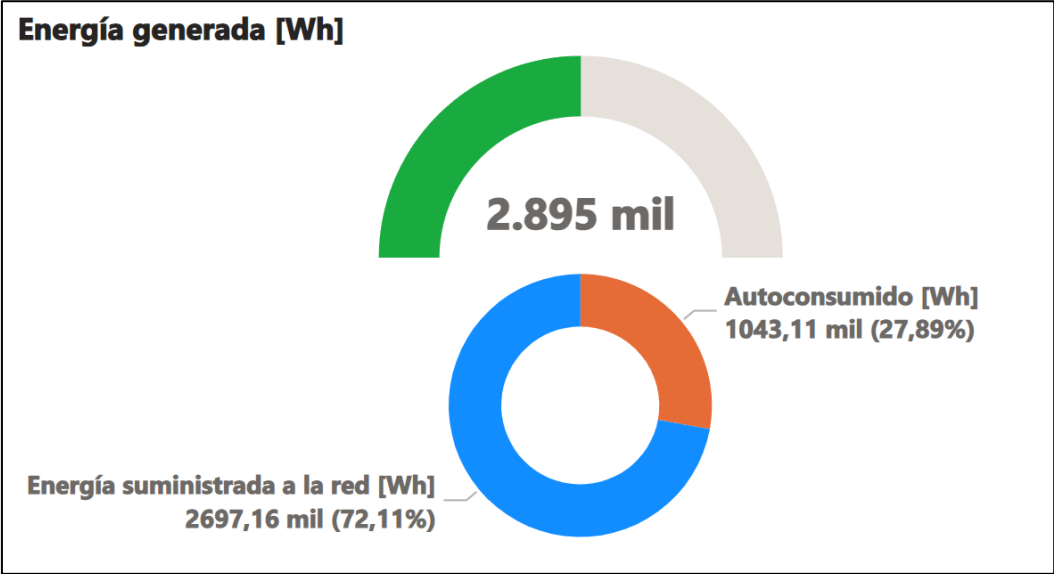


Nota. La producción energética muestra que la mayor parte de la energía generada se dirige claramente hacia la red eléctrica. Fuente: [Elaboración propia](#)

A continuación, en la [Figura 36](#) se ilustra la distribución de la energía registrada durante el período analizado. El total generado por el sistema fotovoltaico en este lapso alcanza los 2894.59 kWh, representando el 38.69%. La señal verde, correspondiente a 2697.16 kWh, refleja la energía excedente suministrada a la red, constituyendo el 36.06%. Por otro lado, la señal de color durazno, con un valor de 845.69 kWh, representa la energía obtenida de la red cuando el sistema fotovoltaico no capta energía, equivalente al 11.31%. El total de la energía consumida por el edificio asciende a 1043.11 kWh, constituyendo el 13.94%, de los cuales 197.42 kWh se consumieron directamente de la producción fotovoltaica, representando el 2.63% de este valor total. Este desglose proporciona una visión detallada de la eficiencia y la contribución específica del sistema fotovoltaico en términos de generación, consumo y suministro a la red eléctrica.

Figura 36.

Porcentajes de generación, consumo y contribución a la red



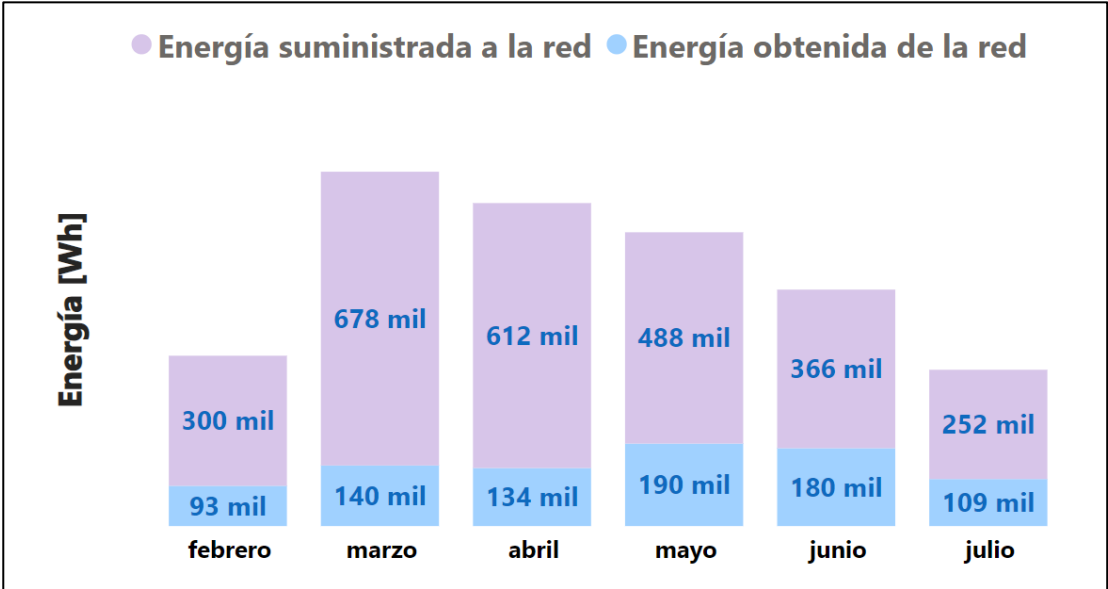
Nota. La distribución de la producción total de energía muestra que el 72.11% se entrega a la red eléctrica, mientras que solo el 27.89% se destina al consumo propio del edificio. Fuente: [Elaboración propia](#)

En la [Figura 37](#) se presenta un resumen integral de la producción fotovoltaica, destacándose el mes de marzo con la mayor generación de energía, alcanzando un total de 678 kWh. Este análisis consolidado proporciona una visión panorámica de los patrones de

producción a lo largo del tiempo, resaltando la significativa contribución del sistema fotovoltaico y destacando la variabilidad mensual en la generación de energía.

Figura 37.

Resumen de energía mensual suministrada en la red



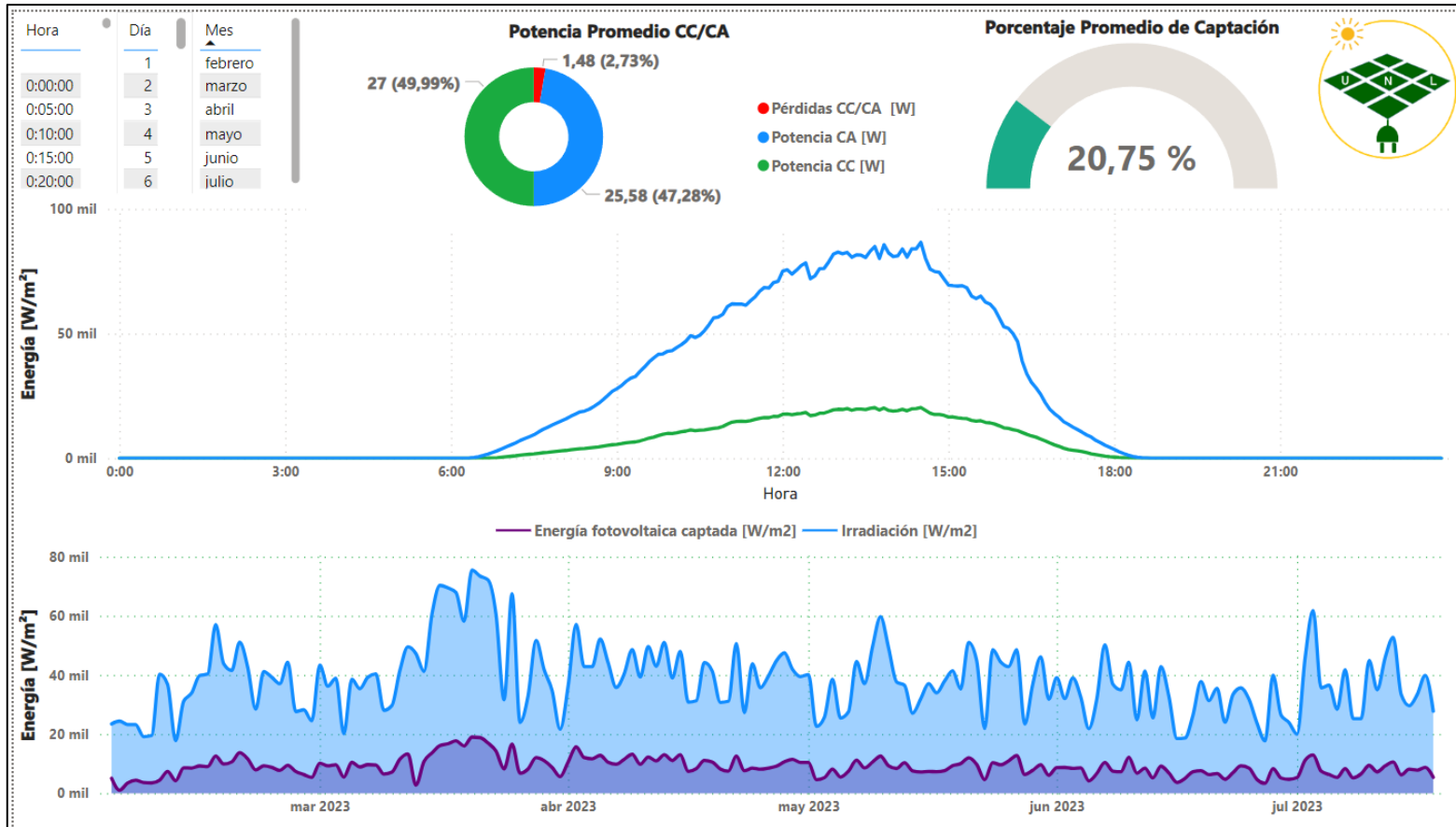
Nota. La cantidad de energía suministrada a la red es considerablemente mayor que la energía obtenida de la misma, especialmente durante períodos en los que el sistema fotovoltaico no está generando energía, como durante la noche. Fuente: [Elaboración propia](#)

6.4.2 Eficiencia en la captación de energía solar

La efectividad del sistema fotovoltaico depende directamente de su capacidad para captar y convertir la radiación solar en energía utilizable. En esta sección, nos sumergimos en un análisis detallado de la radiación solar, enfocándonos en el porcentaje captado por el sistema fotovoltaico y su influencia directa en la producción de energía.

Figura 38.

Análisis de energía irradiada y energía captada

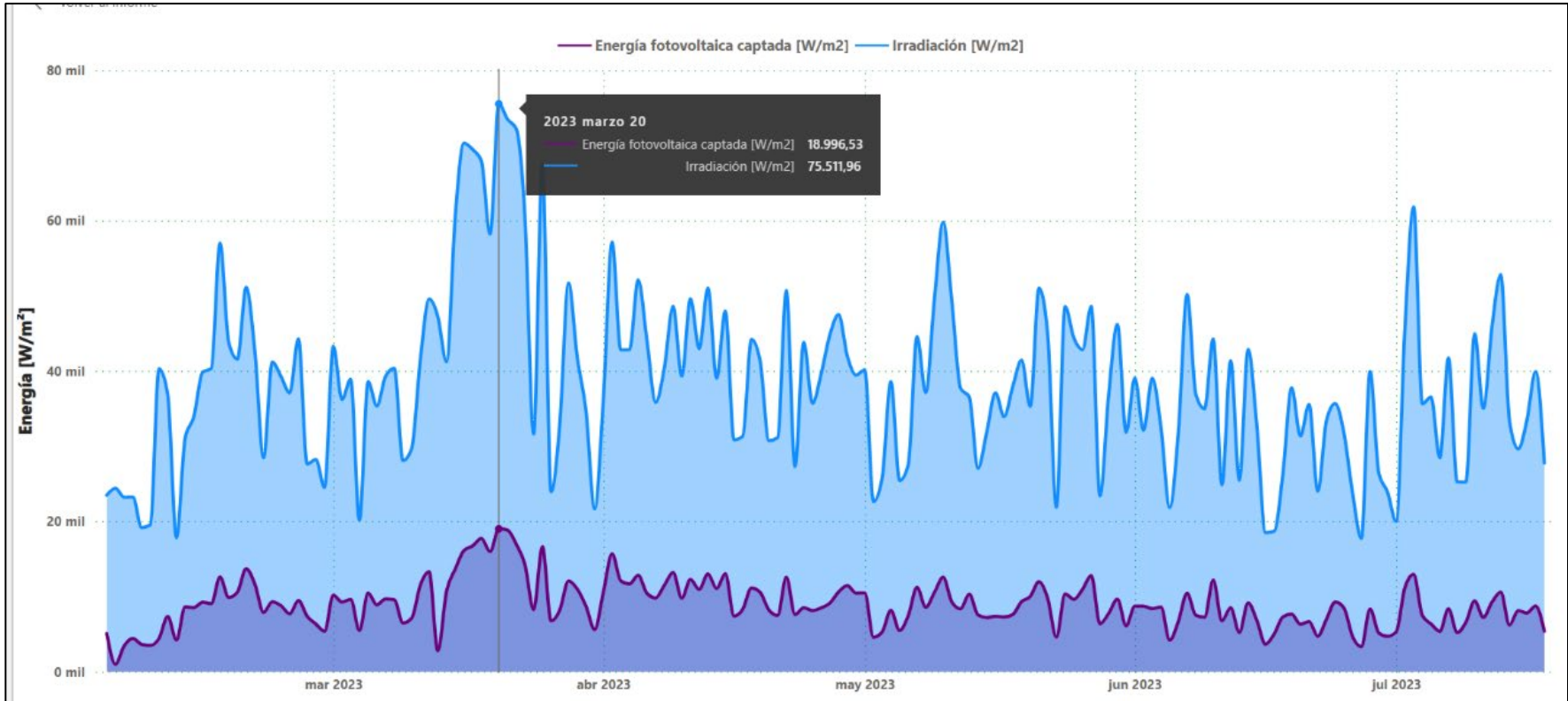


Nota. Comparativa entre la irradiación solar y la energía captada por los módulos solares, dichos módulos tienen una eficiencia del 20,74%. Fuente: [Elaboración propia](#)

A continuación, se presenta un análisis detallado de la irradiación solar, expresada en W/m^2 , a lo largo de los meses de febrero a julio de 2023. Destaca el pico máximo alcanzado el 20 de marzo, registrando $75.52 \text{ kW}/m^2$, de los cuales el sistema fotovoltaico ha captado $19 \text{ kW}/m^2$ en este punto álgido. La [Figura 39](#) ilustra de manera minuciosa las variaciones uniformes en la irradiación y la energía solar captada a lo largo del período, proporcionando una perspectiva precisa de las fluctuaciones en la disponibilidad de radiación solar.

Figura 39.

Relación entre energía irradiada y energía captada

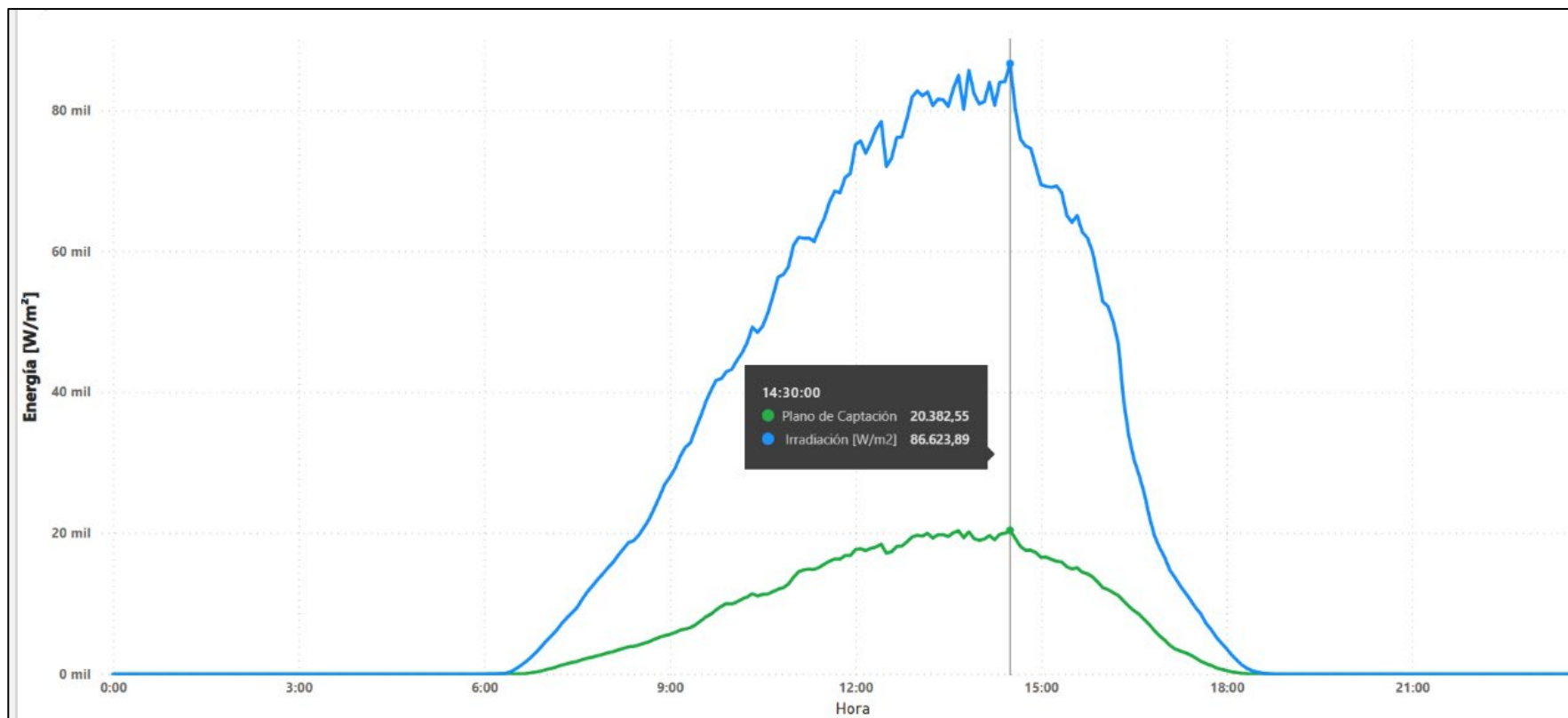


Nota. La relación entre la irradiación solar y la energía captada es notable, principalmente debido a que no se logra captar el 100% de la energía solar incidente, los paneles solares tienen una eficiencia del 20.74%, lo que significa que solo una fracción de la energía solar que incide sobre ellos se convierte en energía eléctrica utilizable. Fuente: [Elaboración propia](#)

La [Figura 40](#) proporciona un análisis del promedio general de irradiación y captación a lo largo del día. A las 06:05 AM, se inician los primeros índices de irradiación, mientras que, en el plano de captación, los registros empiezan a las 06:15, aumentando gradualmente hasta alcanzar el punto máximo a las 14:30, donde la irradiación alcanza los 86.62 kW/m², y se captan 20.38 kW/m². Así, el punto final de captación se alcanza a las 18:35 PM, mientras que el de irradiación concluye a las 18:45 PM. Este análisis temporal destaca las variaciones clave en la irradiación y la captación solar a lo largo del día, revelando claramente los momentos de mayor intensidad y eficiencia del sistema fotovoltaico.

Figura 40.

Irradiación y captación de energía a lo largo del día

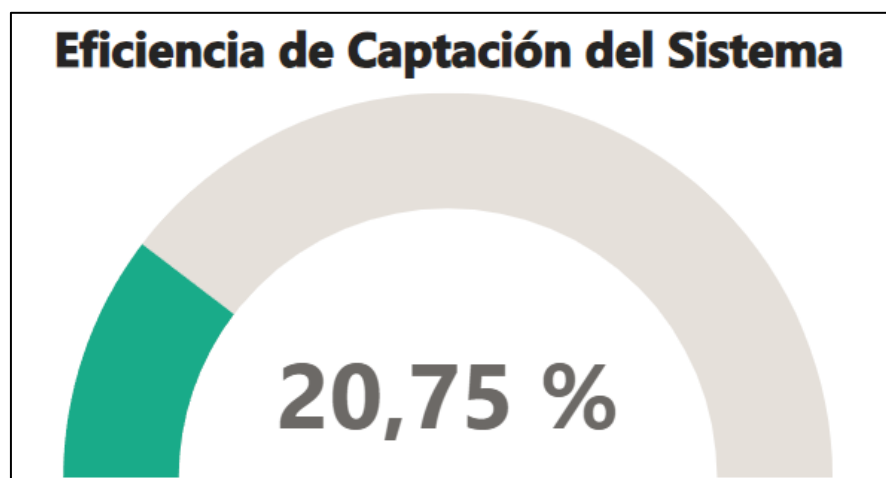


Nota. La irradiación solar alcanza su punto máximo alrededor del mediodía, lo que coincide con el momento de mayor captación de energía por parte de los paneles solares. Fuente: [Elaboración propia](#)

En términos generales, el promedio de la eficiencia de captación del sistema instalado se sitúa alrededor del 20.75%. Es importante destacar que esta eficiencia de captación es notablemente cercana a la eficiencia del módulo de los paneles solares instalados, que es del 20.74%. Este resultado refleja una alineación efectiva entre la capacidad teórica de captación del sistema fotovoltaico y su rendimiento real, demostrando una operación cercana a la eficiencia máxima del módulo instalado.

Figura 41.

Eficiencia promedio de captación del sistema



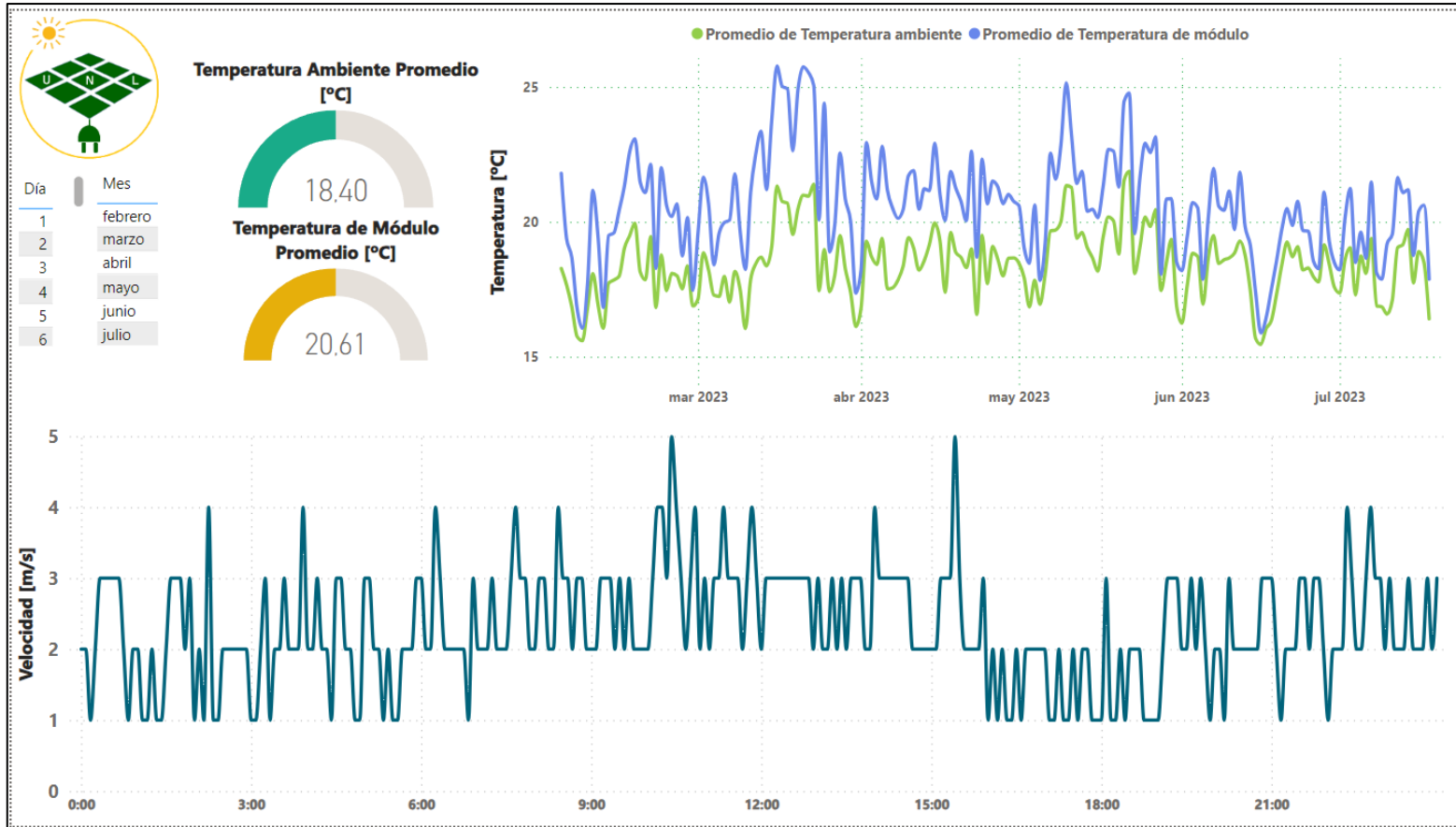
Nota. Esta eficiencia promedio refleja la capacidad del sistema para convertir la radiación solar en energía eléctrica utilizable y demuestra que el sistema está operando eficientemente en línea con las especificaciones de los módulos solares utilizados. Fuente: [Elaboración propia](#)

6.4.3 Datos de sensores

En esta sección, se exponen los datos registrados por los sensores complementarios incorporados en el sistema. De manera general, se proporciona una visión concisa sobre la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la temperatura del módulo, destacando factores ambientales clave que influyen en el rendimiento y la operación del sistema fotovoltaico.

Figura 42.

Variaciones diarias de temperatura y velocidad del viento

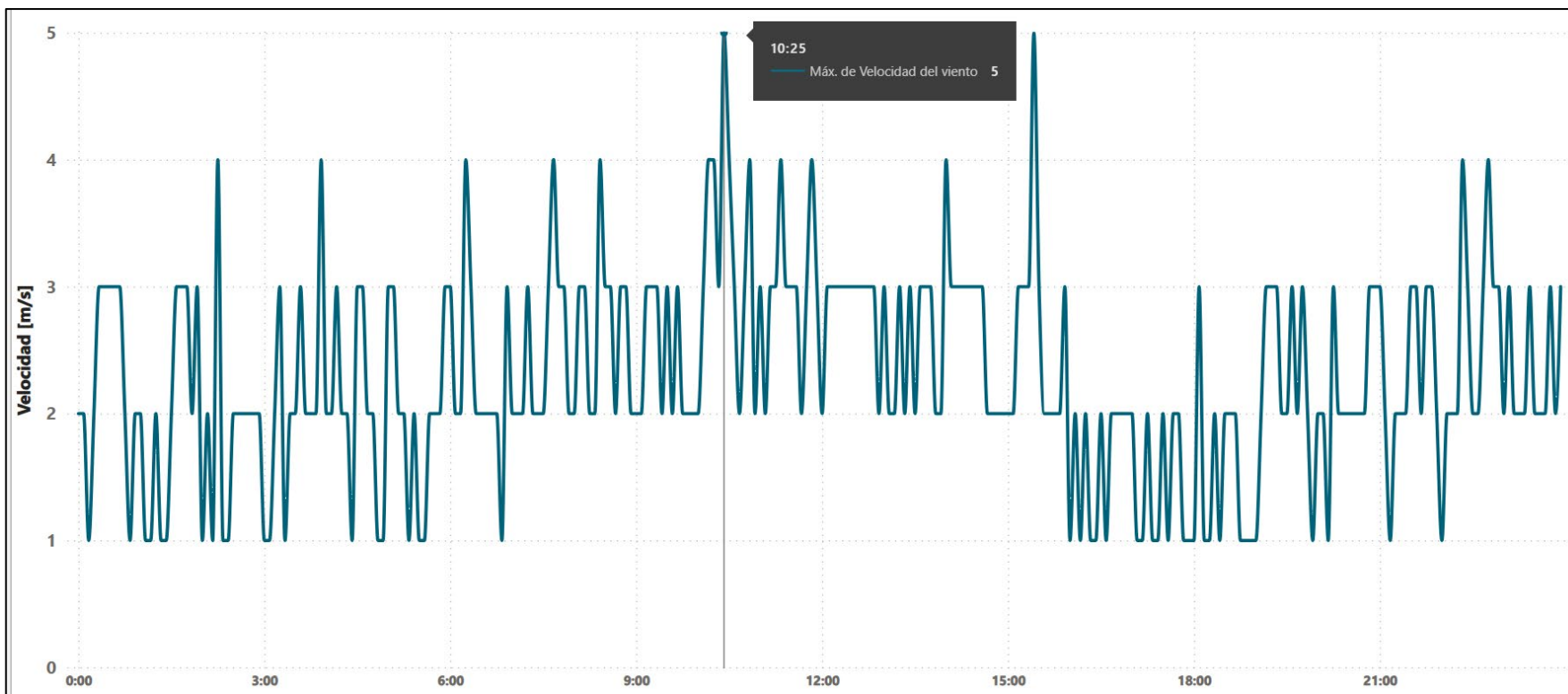


Nota. Un resumen de los datos proporcionados por los sensores de temperatura y velocidad del viento, ofreciendo una visión general de las condiciones ambientales registradas. Fuente: [Elaboración propia](#)

En la [Figura 43](#) se presenta un análisis promedio de las variaciones en la velocidad del viento a lo largo del día, registrando un máximo de 5 m/s. Es importante tener en cuenta que, debido a la naturaleza del anemómetro de copas utilizado, la precisión de las mediciones puede no ser tan exacta como la de otros sensores disponibles, pero no compatibles con el sistema Fronius.

Figura 43.

Registro de datos del sensor de velocidad del viento

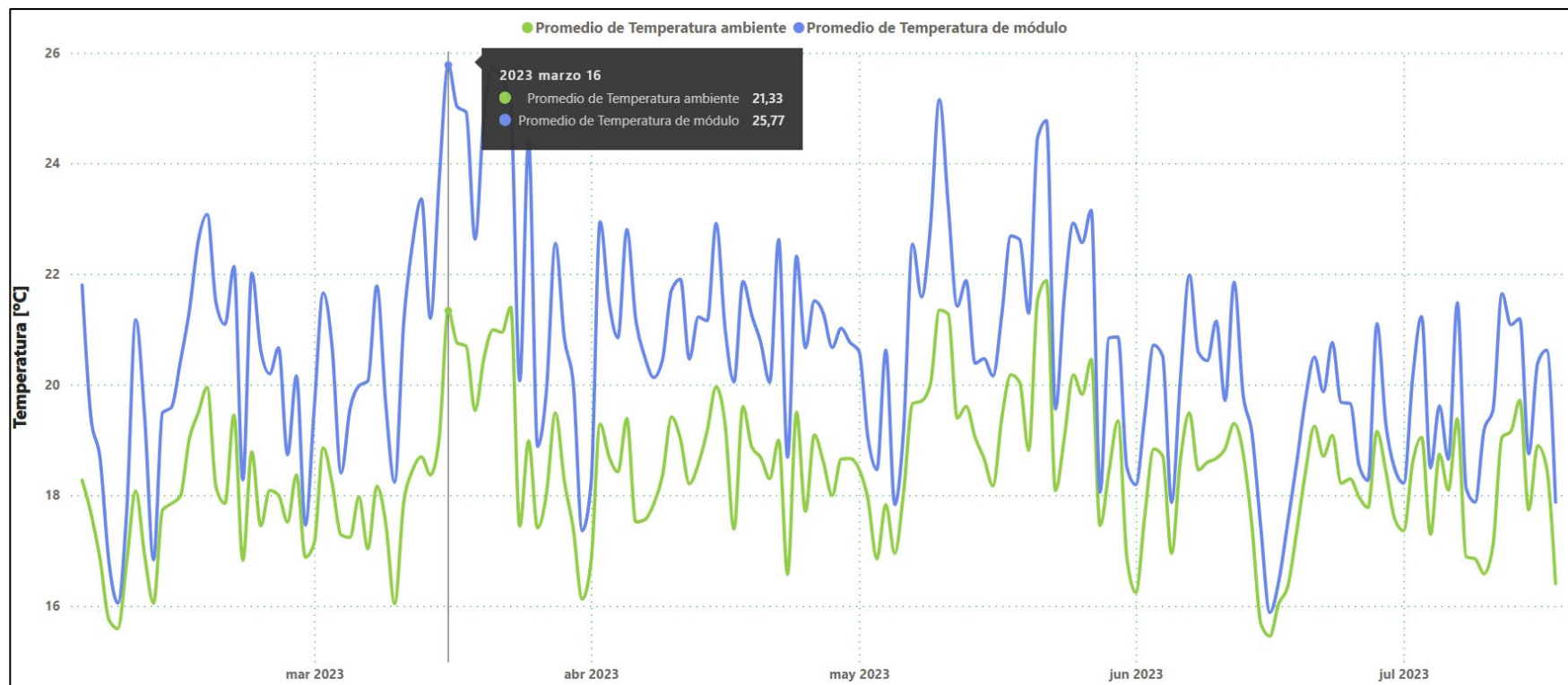


Nota. El promedio de los datos del sensor de velocidad del viento a lo largo del día muestra la velocidad media del viento registrada durante el periodo de observación. Fuente: [Elaboración propia](#)

En la [Figura 44](#) se muestra el promedio de la temperatura, tanto ambiente como la del módulo, registrada a lo largo estos 6 meses. Ambas gráficas exhiben una simetría similar, si bien es evidente que la temperatura del módulo es naturalmente superior a la ambiental, como era de esperarse. De manera general, durante el mes de marzo se registró la temperatura máxima del módulo, alcanzando los 25.77 °C, mientras que la temperatura ambiente se mantuvo en 21.33 °C. Este análisis térmico destaca las fluctuaciones en las condiciones ambientales y proporciona una visión detallada de la influencia de la temperatura en el rendimiento del sistema fotovoltaico.

Figura 44.

Relación entre temperatura ambiente y temperatura de módulo



Nota. La temperatura del módulo es significativamente más alta, lo cual es comprensible debido a que los paneles solares absorben la radiación solar directa, lo que aumenta su temperatura por encima de la temperatura ambiente. Fuente: [Elaboración propia](#)

6.4.4 Herramienta para simulación


A continuación, se presenta un trabajo complementario que consiste en el desarrollo de una herramienta de simulación creada en Excel. Es importante destacar que este trabajo fue realizado en colaboración con el Ing. Juan Carlos Solano. La herramienta en cuestión incorpora una base de datos meteorológicos que abarca información de radiación solar proveniente de tres fuentes meteorológicas. Además, cubre extensivamente la región sur del Ecuador, incluyendo áreas como El Oro, Loja y Zamora.

Esta herramienta presenta una interfaz interactiva que permite a los usuarios realizar selecciones y proporcionar información relevante. En el lado izquierdo de la figura 45, el usuario tiene la capacidad de seleccionar diversos datos, entre los cuales se incluyen la provincia, cantón, parroquia, fuente meteorológica, la categoría correspondiente a su servicio eléctrico, el nivel de voltaje y el grupo de consumo. Además, debe ingresar su consumo mensual y las características del sistema fotovoltaico que planea instalar. Automáticamente, los campos en la parte derecha se completarán con valores similares promedio, simulando un consumo a lo largo del año y presentando la producción mensual con el sistema instalado.

Asimismo, la herramienta genera un informe de resultados que incluye la energía solar fotovoltaica a lo largo del año, el costo aproximado del sistema, el ahorro anual con el sistema instalado, la superficie requerida y el tiempo estimado en el que el cliente recupera su inversión. Además, se incorpora una gráfica que representa el diagrama de trayectoria del sol. Este enfoque interactivo y detallado proporciona a los usuarios una comprensión clara de los beneficios y las implicaciones de la instalación de un sistema fotovoltaico en función de sus necesidades y ubicación específicas.

Figura 45.

Vista general de la herramienta de simulación creada

			Datos de Irradiación Promedio Mensual												Promedio mensual/ anual	Irradiación anual	
LOJA LOJA PUNZARA NREL GENERAL ATCD BENEFICIO PÚBLICO		PROVINCIA CANTÓN PARROQUIA FUENTE CATEGORÍA NIVEL DE VOLTAJE GRUPO DE CONSUMO	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	kWh/m ²	kWh/m ²
			-4,03	4,68	4,37	4,53	4,88	4,53	4,27	4,18	4,42	5,14	5,21	5,34	4,98	4,71	1.719,45
				4,92	4,47	4,49	4,64	4,15	3,84	3,80	4,14	5,01	5,29	5,60	5,28	4,64	1.691,93
Consumo Eléctrico / Producción Fotovoltaica															Sumatoria Anual		
Ingrese su consumo mensual [kWh]			3705	3705	3520	3668	3520	3742	3853	3742	3779	3520	3594	3853	3520	44.015,40 [kWh/año]	
Producción mensual con SFV				596,90	489,45	544,22	544,09	502,97	450,73	460,72	502,65	587,95	642,03	656,78	640,35	6.618,83 [kWh/año]	
Porcentaje de Autoabastecimiento con SFV				16%	14%	15%	15%	13%	12%	12%	13%	17%	18%	17%	18%	15%	
[1] Demanda de potencia eléctrica [kW]			18														
Factura Eléctrica con SFV y sin SFV															Sumatoria Anual		
Costo del servicio eléctrico sin SFV				\$339,44	\$325,64	\$336,68	\$325,64	\$342,20	\$350,48	\$342,20	\$344,96	\$325,64	\$331,16	\$350,48	\$325,64	\$4.040,14	
Costo del servicio eléctrico con SFV				\$294,98	\$289,19	\$296,14	\$285,12	\$304,74	\$316,91	\$307,88	\$307,52	\$281,85	\$283,34	\$301,56	\$277,95	\$3.547,17	
Ubicación			Informe de Resultados														
Latitud, F [°]		-4,03	Energía Generada			[5] Costo de compra e instalación por kWp			Ahorro Anual			VAN			Ganancia		
[2] Orientación, a [°]		0	6.618,83 [kWh/año]			\$7.335,00			\$492,97			\$1.776,06					
[3] Coef de reflexión, r		0,2	Ahorro de CO ₂			[6] Superficie Requerida			Retorno de la Inversión			TIR			Rentable		
			2,49 t CO ₂ -eq/año			18 m ²			17 años			14%					
Características del Sistema Fotovoltaico			[1] Es la potencia contratada por el cliente. Aplica solamente para medidores generales con demanda facturable. [2] Orientación hacia el Ecuador (valores negativos para el Hemisferio sur) [3] Coeficiente de reflexión del suelo (0,2 por defecto) [4] PR ≈ 0.70 - 0.90. Basado en la experiencia. Incluye pérdidas en DC y AC, en cables, temperatura de células, seguimiento del PMP, pérdidas en el inversor, etc. [5] El costo de la compra e instalación del sistema fotovoltaico dependerá de la marca, características de los equipos, procedencia, etc. El precio aproximado en Ecuador está entre 10 [6] Superficie cubierta únicamente por paneles fotovoltaicos.														
Potencia nominal del generador P _{NOM,G} [kW _p]		4,89															
Eficiencia del panel fotovoltaico [%]		21,00%															
Factor de sombras, FS, (0 - 1)		0															
[4] Rendimiento característico PR*, (0 - 1)		0,8															

Nota. Un resumen general de la herramienta de simulación desarrollada en Microsoft Excel, que proporciona una visión completa de los datos y resultados obtenidos a través de la simulación realizada. Fuente: [Elaboración propia](#)

La herramienta de análisis cuenta con una base de datos que recopila información de tres fuentes meteorológicas principales: METEONORM, NASA-SSE y NREL. Estas fuentes proporcionan datos sobre la irradiación solar en tres provincias específicas del Ecuador y se detalla a continuación.

- ❖ **El Oro:** Comprende 13 cantones y 81 parroquias.
- ❖ **Loja:** Incluye 16 cantones y 102 parroquias.
- ❖ **Zamora:** Consta de 9 cantones y 39 parroquias.

La [Figura 46](#) muestra una visión inicial de los datos, que abarcan la latitud de cada ubicación y la irradiación diaria media mensual medida en kWh/m², para cada mes del año, esta información es esencial para comprender el potencial de irradiación en la superficie horizontal de cada zona. Además, se calculan el promedio mensual y la suma total de la irradiación anual para cada fuente meteorológica, lo que proporciona una perspectiva completa del comportamiento de la radiación solar en cada ubicación a lo largo del año.

Figura 46.

Muestra de datos meteorológicos

Provincia	Cantón	Parroquia	Fuente	(Irradiación diaria media mensual en kWh/m ²)												Promedio	(Irradiación anual en kWh/m ²)	
				LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV			DIC
EL ORO	ARENILLAS	ARENILLAS	METEONORM	-3.56	4.99	5.47	5.83	5.5	4.99	4.58	4.25	4.46	5	4.87	4.73	5.04	4.98	1.816
EL ORO	ARENILLAS	ARENILLAS	NASA-SSE	-3.56	6.23	6.16	6.32	6.38	5.97	5.56	5.31	5.54	6.1	6.18	6.46	6.4	6.05	2.209
EL ORO	ARENILLAS	ARENILLAS	NREL	-3.56	4.87	4.96	5.31	4.96	4.06	3.71	3.66	3.95	3.98	3.88	4.34	4.57	4.35	1.589
EL ORO	ARENILLAS	CACABÓN	METEONORM	-3.63	5.01	5.51	5.94	5.58	5.08	4.75	4.48	4.84	5.48	5.36	5.1	5.23	5.20	1.897
EL ORO	ARENILLAS	CACABÓN	NASA-SSE	-3.63	6.23	6.16	6.32	6.38	5.97	5.56	5.31	5.54	6.1	6.18	6.46	6.4	6.05	2.209
EL ORO	ARENILLAS	CACABÓN	NREL	-3.63	4.23	4.48	4.99	4.98	4.24	3.65	3.77	4.23	4.57	4.2	4.25	4.31	4.33	1.579
EL ORO	ARENILLAS	CHACRAS	METEONORM	-3.55	5.15	5.63	6.06	5.67	5.11	4.75	4.44	4.72	5.37	5.25	5.04	5.29	5.21	1.900
EL ORO	ARENILLAS	CHACRAS	NASA-SSE	-3.55	6.23	6.16	6.32	6.38	5.97	5.56	5.31	5.54	6.1	6.18	6.46	6.4	6.05	2.209
EL ORO	ARENILLAS	CHACRAS	NREL	-3.55	4.43	4.85	5.23	5.59	4.76	3.89	3.98	4.23	4.82	4.34	4.65	4.71	4.62	1.688
EL ORO	ARENILLAS	PALMALES	METEONORM	-3.67	4.89	5.41	5.75	5.42	5	4.65	4.37	4.7	5.31	5.17	4.93	5.02	5.05	1.844
EL ORO	ARENILLAS	PALMALES	NASA-SSE	-3.67	6.23	6.16	6.32	6.38	5.97	5.56	5.31	5.54	6.1	6.18	6.46	6.4	6.05	2.209
EL ORO	ARENILLAS	PALMALES	NREL	-3.67	4.32	4.32	5.01	4.49	4.32	3.72	3.75	3.86	4.6	4.03	4.34	4.49	4.27	1.559
EL ORO	ATAHUALPA	AYAPAMBA	METEONORM	-3.61	4.45	4.86	5.21	4.96	4.77	4.55	4.43	5.13	5.64	5.4	5.02	4.53	4.91	1.793
EL ORO	ATAHUALPA	AYAPAMBA	NASA-SSE	-3.61	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	ATAHUALPA	AYAPAMBA	NREL	-3.61	3.82	3.88	4.12	4.49	4.29	4.57	5.13	5.86	5.82	5.55	5.41	4.28	4.77	1.740
EL ORO	ATAHUALPA	CORDONCILLO	METEONORM	-3.59	4.46	4.86	5.21	4.96	4.78	4.57	4.45	5.13	5.62	5.38	5	4.54	4.91	1.793
EL ORO	ATAHUALPA	CORDONCILLO	NASA-SSE	-3.59	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	ATAHUALPA	CORDONCILLO	NREL	-3.59	3.12	3.55	3.56	3.93	3.9	4.24	4.94	5.5	5.77	5.29	5.33	4.14	4.44	1.620
EL ORO	ATAHUALPA	MILAGRO	METEONORM	-3.63	4.5	4.91	5.29	5.04	4.84	4.65	4.56	5.33	5.83	5.58	5.17	4.61	5.03	1.834
EL ORO	ATAHUALPA	MILAGRO	NASA-SSE	-3.63	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	ATAHUALPA	MILAGRO	NREL	-3.63	3.82	3.88	4.13	4.49	4.29	4.57	5.13	5.86	5.82	5.55	5.41	4.28	4.77	1.741
EL ORO	ATAHUALPA	PACCHA	METEONORM	-3.59	4.43	4.83	5.16	4.91	4.73	4.5	4.36	5.02	5.51	5.28	4.93	4.48	4.85	1.768
EL ORO	ATAHUALPA	PACCHA	NASA-SSE	-3.59	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	ATAHUALPA	PACCHA	NREL	-3.59	3.12	3.55	3.56	3.93	3.9	4.24	4.94	5.5	5.77	5.29	5.33	4.14	4.44	1.620
EL ORO	ATAHUALPA	SAN JOSÉ	METEONORM	-3.63	4.51	4.92	5.3	5.05	4.85	4.66	4.58	5.34	5.84	5.59	5.17	4.62	5.04	1.838
EL ORO	ATAHUALPA	SAN JOSÉ	NASA-SSE	-3.63	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	ATAHUALPA	SAN JOSÉ	NREL	-3.63	3.82	3.88	4.13	4.49	4.29	4.57	5.13	5.86	5.82	5.55	5.41	4.28	4.77	1.741
EL ORO	ATAHUALPA	AN JUAN DE CERRO AZU	METEONORM	-3.47	4.33	4.74	4.89	4.6	4.48	4.11	3.77	4.06	4.46	4.3	4.16	4.2	4.34	1.585
EL ORO	ATAHUALPA	AN JUAN DE CERRO AZU	NASA-SSE	-3.47	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	ATAHUALPA	AN JUAN DE CERRO AZU	NREL	-3.47	3.06	3.21	3.46	3.37	3.02	2.84	3.03	3.12	3.16	2.95	3.22	3.19	3.14	1.145
EL ORO	BALSAS	BALSAS	METEONORM	-3.76	4.75	5.15	5.59	5.3	5.04	4.9	4.87	5.71	6.26	6.08	5.64	4.95	5.35	1.954
EL ORO	BALSAS	BALSAS	NASA-SSE	-3.76	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	BALSAS	BALSAS	NREL	-3.76	3.78	3.88	4.12	4.14	3.99	3.74	3.92	4.81	5.16	4.52	4.61	4.07	4.23	1.543
EL ORO	BALSAS	BELLAMARIA	METEONORM	-3.76	4.73	5.15	5.57	5.29	5.03	4.87	4.84	5.66	6.21	6.03	5.62	4.93	5.33	1.945
EL ORO	BALSAS	BELLAMARIA	NASA-SSE	-3.76	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	BALSAS	BELLAMARIA	NREL	-3.76	3.72	3.81	4.35	4.25	3.8	3.78	3.94	4.83	4.8	4.2	4.39	4.15	4.17	1.521
EL ORO	CHILLA	CHILLA	METEONORM	-3.46	4.66	5.06	5.21	4.89	4.8	4.56	4.28	4.63	5	4.87	4.65	4.62	4.77	1.741
EL ORO	CHILLA	CHILLA	NASA-SSE	-3.46	4.83	4.8	5.19	4.88	4.65	4.6	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.92	1.794
EL ORO	CHILLA	CHILLA	NREL	-3.46	4.37	4.52	4.62	4.74	4.24	4.94	5.38	5.97	5.9	5.72	5.76	5.02	5.10	1.861
EL ORO	EL GUABO	BORBONES	METEONORM	-3.19	4.47	4.95	4.97	4.66	4.43	3.99	3.58	3.74	4.04	3.85	3.88	4.21	4.23	1.544

Nota. La hoja de datos meteorológicos dispone de una base avanzada y actualizada específicamente para la región sur del Ecuador, lo que permite un análisis detallado y preciso de las condiciones climáticas locales. Fuente: [Elaboración propia](#)

Figura 47.

Cuadro resumen de la estimación de radiación difusa

Cálculos de difusa:		Tabla de Pérez				
ε_{inf}	k31	k32	k33	k41	k42	k43
1,000	-0,011	0,748	-0,080	-0,048	0,073	-0,024
1,056	-0,038	1,115	-0,109	-0,023	0,106	-0,037
1,253	0,166	0,909	-0,179	0,062	-0,021	-0,050
1,586	0,419	0,646	-0,262	0,140	-0,167	-0,042
2,134	0,710	0,025	-0,290	0,243	-0,511	-0,004
3,230	0,857	-0,370	-0,279	0,267	-0,792	0,076
5,980	0,734	-0,073	-0,228	0,231	-1,180	0,199
10,080	0,421	-0,661	0,097	0,119	-2,125	0,446

Fuente: (Solano, 2021).

Para la estimación de radiación difusa se hace uso de una tabla la cual contiene los coeficientes y factores utilizados en los cálculos de irradiación solar difusa. Los valores de las columnas presentados en la [Figura 47](#), son parámetros específicos para estimar la radiación solar difusa en función de varios factores atmosféricos y geográficos.

En la [Figura 48](#) se visualiza una hoja de cálculo que ejecuta cálculos específicos a lo largo del día, con el propósito de estimar la radiación solar difusa para cada uno de los meses del año. Estos cálculos se llevan a cabo mediante el modelo desarrollado por Pérez, que proporciona una aproximación de la radiación solar difusa en función de diversos parámetros meteorológicos.

Figura 48.

Estimación de radiación solar difusa utilizando el modelo de Pérez

MES:																			
Epsilon_0 =	2																		
Declinación (°)=	1,0232																		
Ws (rad)=	-13,29																		
Ddm(0) (Wh/m2) =	-1,587	Grados	-90,95	Horas	-6,06														
Gdm(0) (Wh/m2) =	2343																		
	4370																		
	a= 0,666993794																		
	b= 0,415713314																		
ω (h)	ω (rad)	rd	D(0)	rg	G(0)	B(0)	Cos(θ _{2S})	θ _{2S} (rad)	Cos(θ _S)	θ _S (rad)	B(α,β)	epsilon	AM	delta	k31	k32	k33	k41	k42
-11.5	-3.011	-0.1243	0.0	-0.0317	0.0	0.0	-0.9464	2.81	-0.8804	2.65	0.0	0.000	-1.06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-10.5	-2.749	-0.1157	0.0	-0.0327	0.0	0.0	-0.8808	2.65	-0.8166	2.53	0.0	0.000	-1.14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-9.5	-2.487	-0.0991	0.0	-0.0334	0.0	0.0	-0.7540	2.42	-0.6934	2.34	0.0	0.000	-1.33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-8.5	-2.225	-0.0755	0.0	-0.0313	0.0	0.0	-0.5748	2.18	-0.5191	2.12	0.0	0.000	-1.74	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-7.5	-1.963	-0.0467	0.0	-0.0237	0.0	0.0	-0.3554	1.93	-0.3056	1.88	0.0	0.000	-2.81	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-6.5	-1.702	-0.0145	0.0	-0.0089	0.0	0.0	-0.1106	1.68	-0.0675	1.64	0.0	0.000	-9.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-5.5	-1.440	0.0188	44.0	0.0135	59.2	15.2	0.1429	1.43	0.1790	1.39	19.0	3.416	7.00	0.225	0.857	-0.370	-0.279	0.267	-0.792
-4.5	-1.178	0.0509	119.3	0.0421	183.9	64.5	0.3877	1.17	0.4171	1.14	69.4	2.395	2.58	0.225	0.710	0.025	-0.290	0.243	-0.511
-3.5	-0.916	0.0798	186.9	0.0734	320.7	133.8	0.6072	0.92	0.6305	0.89	139.0	2.179	1.65	0.225	0.710	0.025	-0.290	0.243	-0.511
-2.5	-0.654	0.1033	242.1	0.1030	450.0	208.0	0.7864	0.67	0.8048	0.64	212.9	2.093	1.27	0.225	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167
-1.5	-0.393	0.1200	281.1	0.1261	551.0	269.9	0.9131	0.42	0.9280	0.38	274.4	2.052	1.10	0.225	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167
-0.5	-0.131	0.1286	301.3	0.1388	606.4	305.1	0.9787	0.21	0.9918	0.13	309.2	2.035	1.02	0.225	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167
0.5	0.131	0.1286	301.3	0.1388	606.4	305.1	0.9787	0.21	0.9918	0.13	309.2	2.035	1.02	0.225	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167
1.5	0.393	0.1200	281.1	0.1261	551.0	269.9	0.9131	0.42	0.9280	0.38	274.4	2.052	1.10	0.225	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167
2.5	0.654	0.1033	242.1	0.1030	450.0	208.0	0.7864	0.67	0.8048	0.64	212.9	2.093	1.27	0.225	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167
3.5	0.916	0.0798	186.9	0.0734	320.7	133.8	0.6072	0.92	0.6305	0.89	139.0	2.179	1.65	0.225	0.710	0.025	-0.290	0.243	-0.511
4.5	1.178	0.0509	119.3	0.0421	183.9	64.5	0.3877	1.17	0.4171	1.14	69.4	2.395	2.58	0.225	0.710	0.025	-0.290	0.243	-0.511
5.5	1.440	0.0188	44.0	0.0135	59.2	15.2	0.1429	1.43	0.1790	1.39	19.0	3.416	7.00	0.225	0.857	-0.370	-0.279	0.267	-0.792
6.5	1.702	-0.0145	0.0	-0.0089	0.0	0.0	-0.1106	1.68	-0.0675	1.64	0.0	0.000	-9.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.5	1.963	-0.0467	0.0	-0.0237	0.0	0.0	-0.3554	1.93	-0.3056	1.88	0.0	0.000	-2.81	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.5	2.225	-0.0755	0.0	-0.0313	0.0	0.0	-0.5748	2.18	-0.5191	2.12	0.0	0.000	-1.74	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9.5	2.487	-0.0991	0.0	-0.0334	0.0	0.0	-0.7540	2.42	-0.6934	2.34	0.0	0.000	-1.33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota. La estimación de radiación solar difusa se realiza utilizando el modelo de Pérez, el cual incorpora una tabla con valores específicos para cada mes.

Elaborado por: (Solano, 2021).

De manera complementaria, se diseñó una tabla que se fundamenta en el Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica para el año 2023. Esta tabla establece la estructura tarifaria, la cual varía en función del tipo de consumidor (Residencial y General) y las características del punto de entrega. Se consideran tres niveles de voltaje: bajo, medio y alto, y para cada uno de ellos se asigna una tarifa específica, junto con un costo de comercialización. La disposición detallada de esta información se presenta de manera clara en la [Figura 52](#).

Este componente es esencial para realizar análisis económicos y evaluar el impacto financiero del sistema fotovoltaico en términos de ahorro de costos, por ello se realizaron diversas pruebas y tablas para poder ser llamadas en la herramienta desarrollada, como se observa en la [Figura 49](#), aquí se calcula el costo por kWh consumido, se agrega valores por comercialización, subsidio entre otros impuestos. Los valores que arroja esta tabla son casi exactos a los valores que se emiten por el consumo eléctrico de cada localidad, factores como el servicio de alumbrado público no cuentan con un valor fijo lo cual no permite el valor sea exacto, ya que este valor se modifica dependiendo de cada gobierno autónomo.

Figura 49.

Tabla general que realiza el cálculo por valores de consumo de servicio eléctrico.

RESIDENCIAL		BENEFCIO PÚBLICO		Valores a cancelar por Servicio Eléctrico	
BMT	Ingrese su consumo mensual en kWh ↴	3000	697,55	←	Valor por consumo
DEMANDA →		20	0	←	Valor por demanda
			1,41	←	Comercialización
			69,90	←	Subsidio cruzado
			103,80	←	Servicio de Alumbrado público
	Total a Pagar →		872,65		

BMT Baja y Media Tensión
BTSD Baja Tensión Sin Demanda
BTCD Baja Tensión Con Demanda
MTCD Media Tensión Con Demanda
ATCD Alta Tensión Con Demanda

Fuente: [Elaboración propia](#)

Para calcular los valores para cada mes del año, fue necesario crear un total de 24 tablas, como se ilustra en la [Figura 50](#). Este proceso fue indispensable ya que calcular el servicio eléctrico con un solo conjunto de datos resultaba impracticable. Las primeras doce tablas calcularon el costo del servicio eléctrico sin la presencia del sistema fotovoltaico, mientras que las tablas restantes llevaron a cabo los cálculos considerando la instalación del SFV.

Figura 50.

Tabla individual que calcula el valor del servicio eléctrico.

RESIDENCIAL	GENERAL	BTCD	MTCD	ATCD
BMT	BTSD	COMERCIAL	COMERCIAL	COMERCIALES
	ENTIDAD OFICIAL	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	ENTIDADES OFICIALES
	BOMBEO DE AGUA	ENTIDAD OFICIAL	ENTIDADES OFICIALES	BOMBEO DE AGUA
	SERVICIO PÚBLICO DE BOMBEO DE AGUA	BOMBEO DE AGUA	BOMBEO DE AGUA	BENEFICIO PÚBLICO
INDUSTRIA ARTESANAL				
RESIDENCIAL	IGRESAR VALOR en kW	Factura		
	0	1055,20	Valor Consumo	
			1,41 Comercialización	
			0,00 Subsidio Cruzado	
		142,64	Servicio de Alumbrado Público	
		1199,25	TOTAL	
BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA				
GENERAL	IGRESAR VALOR en kW	Factura		
BOMBEO DE AG	50		Valor Consumo	
			1,41 Comercialización	
		#¡VALOR!	Servicio de Alumbrado Público	
		#¡VALOR!	TOTAL	
BAJO VOLTAJE CON DEMANDA				
GENERAL	IGRESAR VALOR en kW	Factura		
INDUSTRIAL	335		Valor Consumo	
DEMANDA →	7	86,22	Valor Demanda	
			1,41 Comercialización	
		#¡VALOR!	Servicio de Alumbrado Público	
		#¡VALOR!	TOTAL	
BAJO Y MEDIO VOLTAJE				
GENERAL	IGRESAR VALOR en kW	Factura		
COMUNIDADES	10000	400,00		* Comunidades Campesinas, no pagan demanda
DEMANDA →	10	30,00		

Fuente: Elaboración propia

Dada la complejidad de configurar cada celda para llevar a cabo el cálculo, no es factible incluir todo el código en este espacio. Sin embargo, para ilustrar brevemente el proceso, se muestra en la Figura 51 un ejemplo de cómo se estructuran las reglas para calcular el valor residencial.

Figura 51.

Configuración de celda para realizar cálculo de la categoría residencial.

RESIDENCIAL	INDUSTRIA ARTESANAL	IGRESAR VALOR en kW	Factura
		0	1055,20
			Valor Consumo
			1,41 Comercialización
			0,00 Subsidio Cruzado
			142,64 Servicio de Alumbrado Público
			1199,25
			TOTAL

Fuente: Elaboración propia

Figura 52.

Estructura y costos del servicio eléctrico

Categoría	Nivel de Voltaje	Tipo	Rango de voltaje	Costo	Comercialización
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	1-50	0,091	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	51-100	0,093	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	101-150	0,095	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	151-200	0,097	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	201-250	0,099	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	251-300	0,101	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	301-350	0,103	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	351-400	0,105	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	401-450	0,105	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	451-500	0,105	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	501-700	0,1285	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	701-1000	0,145	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	1001-1500	0,1709	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	1501-2500	0,2752	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	2501-3500	0,436	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	RESIDENCIAL	3501-20000	0,6812	1,414
RESIDENCIAL	BAJO Y MEDIO VOLTAJE	TEMPORAL	1-20000	0,1285	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	COMERCIAL	1-300	0,092	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	COMERCIAL	301-20000	0,103	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ENTIDAD OFICIAL	1-300	0,082	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ENTIDAD OFICIAL	301-20000	0,093	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ESCUELAS DEPORTIVAS	1-300	0,082	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ESCUELAS DEPORTIVAS	301-20000	0,093	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	SERVICIO COMUNITARIO	1-300	0,082	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	SERVICIO COMUNITARIO	301-20000	0,093	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ABONADOS ESPECIALES	1-300	0,082	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ABONADOS ESPECIALES	301-20000	0,093	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	BOMBEO DE AGUA	1-300	0,072	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	BOMBEO DE AGUA	301-20000	0,083	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	INDUSTRIAL ARTESANAL	1-300	0,073	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	INDUSTRIAL ARTESANAL	301-20000	0,089	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ASISTENCIA SOCIAL	1-100	0,034	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ASISTENCIA SOCIAL	101-200	0,036	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ASISTENCIA SOCIAL	201-300	0,038	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	ASISTENCIA SOCIAL	301-20000	0,063	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	BENEFICIO PÚBLICO	1-100	0,034	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	BENEFICIO PÚBLICO	101-200	0,036	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	BENEFICIO PÚBLICO	201-300	0,038	1,414
GENERAL	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	BENEFICIO PÚBLICO	301-20000	0,063	1,414

Nota. Esta hoja proporciona información actualizada sobre los precios de la electricidad, lo que facilita el análisis y la planificación financiera relacionados con el consumo energético. Fuente: [Elaboración propia](#)

Ahora bien, utilizando una factura de consumo eléctrico [Figura 53](#), correspondiente al mes de marzo de 2023 del edificio de estudio, se llevó a cabo una comparación y puesta en funcionamiento del simulador creado para evaluar su eficacia, como se evidencia a continuación.

Figura 53.

Factura de consumo eléctrico UNL marzo 2023

Información del Consumidor										VALOR TOTAL: 339,01	
CUENTA CONTRATO 200026208161											
Razón social	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA (DE LOJA UNIVERSIDAD NACIONAL)	Código Único Eléctrico	1800100347								
RUC	1160001720001	Tipo de tarifa	BT CGCD05 - BT Beneficio Público con Demanda								
Celular	0998987812	Geocódigo	1801E001000011							Unidad de Lectura 1801E001	
Correo Electrónico	subdireccion.tesoreria@unl.edu.ec										
Dirección del servicio	PIO JARAMILLO ALVARADO REINALDO ESPINOZA / SAN SEBASTIÁN - LOJA										
1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público											
Número de medidor	32500	Días facturados	31								
Tipo de consumo	leído	Fecha desde	02-03-2023	Fecha hasta	01-04-2023	Factor de potencia (FP)	0.9922				
						Penalización bajo FP	0.0000				
Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)		
Energía activa total	01-04-2023	906460.00	902755.00	0.00	3705.00	0.00	3705.00	kWh	240.83		
Energía reactiva total	01-04-2023	227354.00	226889.00	0.00	465.00	0.00	465.00	kVarh			
Demanda máx. total	01-04-2023	18.00		0.00	18.00	0.00	18.00	KW			
Demanda facturable	01-04-2023	18.00		0.00	18.00	0.00	18.00	KW	54.00		

Para comenzar la simulación, se tomaron en cuenta y se completaron todos los parámetros resaltados en color rojo de la [Figura 54](#). Para ello, es necesario seleccionar la provincia, el cantón y la parroquia, así como una de las tres fuentes meteorológicas disponibles. Una vez completada esta parte, el parámetro de latitud se llena automáticamente con el valor previamente guardado para cada zona geográfica. A continuación, se elige la categoría que se desea simular, considerando dos opciones: residencial y general. Luego, se especifica el nivel de voltaje, que consta de cinco parámetros:

BMT - Baja y media tensión para la categoría residencial.

Para la categoría general, existen:

BTSD - Baja tensión sin demanda.

BTCD - Baja tensión con demanda.

MTCD - Media tensión con demanda.

ATCD - Alta tensión con demanda.

Existe una categoría adicional que es BTCD – Baja tensión con demanda, se la excluye de este apartado ya que sus valores son exactamente los mismos que los de ATCD.

Figura 54.

Ingreso de parámetros a simular

Ubicación		Latitud ↕
LOJA	◀ PROVINCIA	-4,03
LOJA	◀ CANTÓN	
PUNZARA	◀ PARROQUIA	
NREL	◀ FUENTE	
GENERAL	◀ CATEGORÍA	
ATCD	◀ NIVEL DE VOLTAJE	
BENEFICIO PÚBLICO	◀ GRUPO DE CONSUMO	
Ingrese su consumo de kWh mensual		4113
Producción mensual con SFV		
Porcentaje de Autoabastecimiento con SFV		
Ingrese la Demanda en kWh mensual		21
Costo del servicio eléctrico sin SFV		
Costo del servicio eléctrico con SFV		
Ubicación		
Latitud, F [°]	-4,03	
Inclinación, b [°]	10	
Orientación, a [°]	0	
Coef de reflexión, r	0,2	
Características del Sistema Fotovoltaico		
Potencia nominal del generador $P_{NOM,G}$, [kW _p]	4,9	
Eficiencia del panel fotovoltaico [%]	21,00%	
Factor de sombras, FS, (0 - 1)	0	
Rendimiento característico PR*, (0 - 1)	0,8	

Nota. Los recuadros resaltados en rojo indican los parámetros que deben ser completados para iniciar la simulación. Fuente: [Elaboración propia](#)

Ingresamos el valor de consumo mensual, y el consumo de demanda si la hubiese, datos que se detallan en la factura eléctrica, luego de esto se seleccionan las características del sistema a instalar, los campos subsiguientes se completan automáticamente con valores aleatorios que representan una estimación mensual de consumo en kWh, como se muestra en la [Figura 55](#), Fila 1.

En la Fila 2, se presenta una estimación de la producción fotovoltaica en kWh/mes, para ello se utiliza la [Ec1](#).

Ec1.

$$\text{Producción FV (kWh/mes)} = \text{Área del sistema (m}^2\text{)} * \text{Radiación solar diaria} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}} \right) * \text{Eficiencia del panel} * \text{días del mes}$$

Con esta ecuación se considera el área del sistema, la eficiencia de los paneles, el factor de radiación solar diaria y el número de días del mes, para este ejemplo no da un resultado de 490,96 kWh/mes para febrero.

En la Fila 3, se indica el porcentaje de autoabastecimiento, para ello hacemos una relación entre la *Producción FV/Consumo Energético*, siendo solo del 12% para el mes de febrero en este caso. La Fila 5 refleja el costo del servicio eléctrico que el cliente abonaría mensualmente sin el sistema fotovoltaico, para ello se hace uso de las tablas indicadas en la [Figura 51](#), destacando que este valor es muy cercano al monto real de la factura eléctrica, que asciende a \$379.71 y se puede verificar en el [Figura 53](#). Los cálculos de este valor difieren de aspectos como el alumbrado público, los cuales son asignados por cada gobierno autónomo y hasta la fecha actual no se divulgan públicamente, por lo que son solo estimaciones. En la Fila 6, se presenta el costo que el cliente pagaría por el servicio de energía eléctrica, revelando un ahorro de \$36.53. Con el tiempo, estos ahorros se vuelven significativos, y aproximadamente en 17 años se alcanzaría el retorno de la inversión en este escenario.

Figura 55.

Estimaciones de producción y costos por energía eléctrica

LOJA		Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
F1	Ingrese su consumo de kWh mensual	4113	4236	3948	4195	3990	3948
F2	Producción mensual con SFV	490,46	545,33	545,21	503,99	451,65	461,66
F3	Porcentaje de Autoabastecimiento con SFV	12%	13%	14%	12%	11%	12%
F4	Ingrese la Demanda en kWh mensual						
		Factura Eléctrica con S					
F5	Costo del servicio eléctrico sin SFV	\$380,14	\$389,33	\$367,88	\$386,26	\$370,95	\$367,88
F6	Costo del servicio eléctrico con SFV	\$343,61	\$348,71	\$327,28	\$348,73	\$337,31	\$333,50

Nota. Los costos de energía son muy similares a los valores reales, aunque existen algunas diferencias que pueden atribuirse a los costos adicionales por alumbrado público. Fuente: [Elaboración propia](#)

Esta herramienta nos da un apartado con un resumen de los resultados y nos permite determinar si es viable o no la instalación del sistema, como se observa en la [Figura 56](#).

Figura 56.

Informe de resultado de simulación creada a un año

Informe de Resultados				
Energía Generada	[5] Costo de compra e instalación por kWp	Ahorro Anual	VAN	Ganancia
6.618,83 [kWh/año]	\$7.335,00	\$492,97	\$1.776,06	
Ahorro de CO ₂	[6] Superficie Requerida	Retorno de la Inversión	TIR	Rentable
2,49 t CO ₂ -eq/año	18 m ²	17 años	14%	

Fuente: [Elaboración propia](#)

Bien, en el primer apartado se presentada la energía generada a lo largo del año, para llegar a este valor se suma las cantidades de producción mensual en kW/h.

El costo de la compra e instalación del sistema fotovoltaico dependerá de la marca, características de los equipos, procedencia, etc. El precio aproximado en Ecuador ronda los 1000 y 1500 USD/kWp, por lo tanto, se aplica la [Ec2](#):

Ec2.

$$\text{Costo aproximado (USD)} = 1500 \frac{\text{USD}}{\text{kWp}} * \text{Potencia a instalar (kWp)}$$

Para el ahorro anual que se obtendrá con el sistema se realiza una relación entre los costos de las facturas eléctricas con y sin el sistema fotovoltaico.

Para saber el ahorro de CO₂ se aplica la siguiente [Ec3](#).

Ec3.

$$\text{Ahorro de CO}_2(\text{t CO}_2\text{-eq}) = \text{Producción FV} \left(\frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right) * \text{Factor de emisión}(\text{t CO}_2\text{-eq/MWh})$$

Para Ecuador los factores de emisión conforme a la metodología serían de 0,75 y 0,25 para el margen de operación y de construcción, respectivamente. Dando como resultado un margen combinado o factor de emisión de la red de **0,3761 t CO₂-eq/MWh**.

Para la superficie requerida se aplica la [Ec4](#), donde la eficiencia de los paneles solares es un valor adimensional que representa la proporción de energía solar incidente que los paneles pueden convertir en electricidad, por lo general oscila los 20 a 21 %.

Ec4.

$$\text{Superficie requerida (m}^2\text{)} = \frac{\text{Potencia a instalar (kWp)}}{\text{Eficiencia del panel (\%)}}$$

Para determinar el tiempo necesario para recuperar la inversión, se emplea la siguiente fórmula [Ec5](#). Es importante destacar que se incluye un costo estimado de mantenimiento de alrededor de \$3000, que corresponde al promedio de un inversor de red, tomando como referencia la cotización detallada en el [Anexo 20](#). Este valor debe ser tomado en cuenta dado que la vida útil del inversor es de 15 años, inferior a la vida útil total del sistema, que generalmente oscila entre 25 y 30 años.

Ec5.

$$\text{Retorno de inversión (años)} = \left(\frac{\text{Costos de inversión}}{\text{Ahorro anual}} \right) - 1 + \left(\frac{\text{Costos de inversión}}{\text{Gasto de mantenimiento}} \right)$$

En este apartado se aplicó el cálculo del Valor actual neto (VAN) y la Tasa interna de retorno (TIR).

El VAN [Ec6](#) determina la rentabilidad del proyecto y se calcula el valor presente de todos los flujos de efectivo futuros, descontados a una tasa de interés anual de 8.68%, que es la actual tasa de interés de referencia dictaminada por el BCE.

Ec6.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

En donde:

- ❖ La inversión inicial a realizar (I_0), que permitirá o no obtener los rendimientos futuros.
- ❖ Los flujos de caja futuros ya sean positivos o negativos (F_t), en este caso gastos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema.
- ❖ La tasa de descuento esperado (k).

Importante recordar que, un VAN positivo indica que el proyecto generará un retorno sobre la inversión realizada.

Mientras que el TIR, tiene como objetivo mostrar el valor de rendimiento de la inversión realizada [Ec7](#), cuanto mayor sea este, mayor será la rentabilidad del proyecto. Se compara con la tasa de descuento utilizada para evaluar si el proyecto es viable. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el proyecto es rentable.

Ec7.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

En donde:

- ❖ (Fn) Flujo de caja en el periodo n.
- ❖ (n) es el número de períodos.
- ❖ (i) es el valor de la inversión inicial.

Se seleccionaron 25 periodos para representar la vida útil completa del sistema, abarcando así el tiempo estimado de funcionamiento del proyecto en su totalidad.

6.4.5 Comparativa entre producción del SAFV y simulaciones realizadas

A continuación, en la [Tabla 12](#) se expone un análisis comparativo entre la producción efectiva del sistema de autoconsumo fotovoltaico instalado y las proyecciones generadas por el simulador PVsyst. Este análisis abarca un periodo de seis meses, comprendido entre febrero y julio del año 2023.

Cada columna representa una fuente de datos utilizada en la simulación, mientras que cada fila representa un mes del año. Los valores en la tabla indican la cantidad de energía solar producida en kWh/mes para cada mes según la simulación realizada en PVsyst y según la producción real del SAFV, como se observa, los valores varían según la fuente de datos utilizada con respecto de la producción real.

Tabla 12.

Producción fotovoltaica mensual simulada con el software PVsyst y la producción real (UNL)

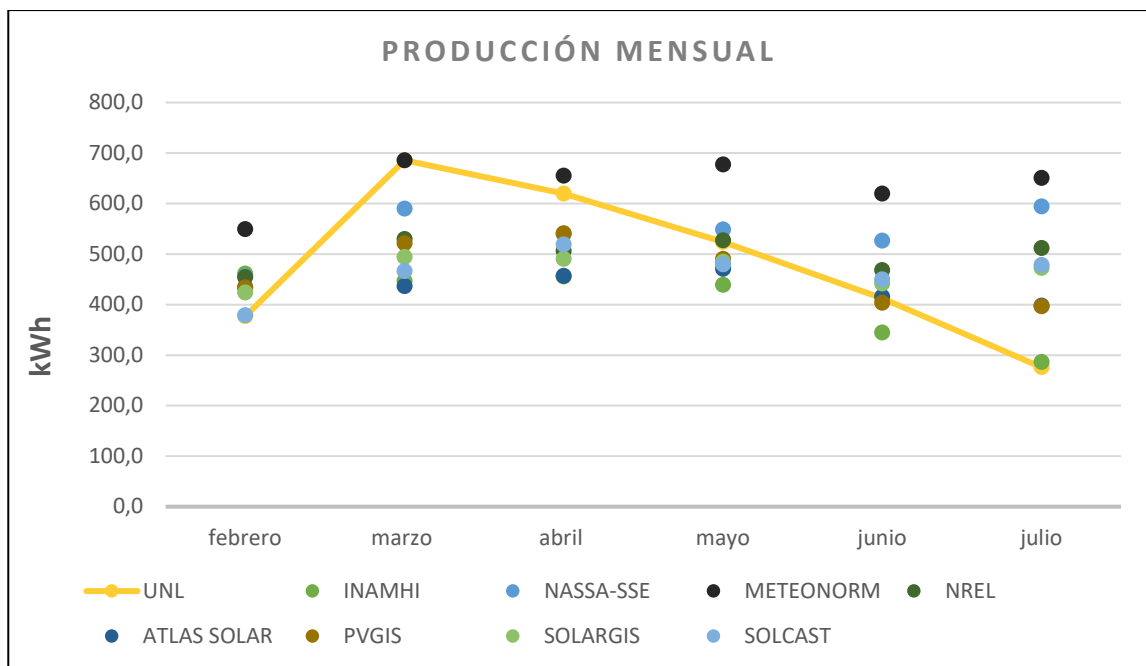
Fuente de datos	Simulado con PVsyst								SAFV
	INAMHI	NASSA-SSE	METEONORM	NREL	ATLAS SOLAR	PVGIS	SOLARGIS	SOLCAST	UNL
<i>febrero</i>	461,2	456,4	549,1	454,3	434,8	433,9	423,7	379,2	376,8
<i>marzo</i>	446,9	590,1	685,5	529,8	436,5	521,5	494,2	466,6	685,6
<i>abril</i>	455,8	540,0	655,4	506,4	456,6	541,1	490,3	518,9	620,0
<i>mayo</i>	439,2	548,7	677,7	527,0	470,7	490,2	484,5	479,9	523,7
<i>junio</i>	344,5	526,4	619,8	468,5	415,9	403,9	441,7	450,1	412,3
<i>julio</i>	286,6	594,3	650,5	511,9	397,9	396,9	472,9	478,5	276,1
<i>Promedio</i>	405,7	542,7	639,7	499,7	435,4	464,6	467,9	462,2	482,4
<i>kWh/ 1/2 año</i>	2434,20	3255,90	3838,00	2997,90	2612,40	2787,50	2807,30	2773,20	2894,57

Fuente: [Elaboración propia](#)

Es probable que las diferencias entre la cantidad real de energía producida y las previsiones simuladas se originen en la inconstancia del clima en la ciudad. Esto se debe a que se ubica en una región andina, donde las condiciones atmosféricas suelen ser más variables y difíciles de anticipar, principalmente en áreas donde las estaciones no están claramente definidas y donde fenómenos como el Niño pueden tener un efecto considerable. Además, cada fuente de datos utiliza diferentes métodos y modelos para estimar la radiación solar diaria, algunos basados en datos recolectados por estaciones meteorológicas, mientras que otros se apoyan en observaciones satelitales y modelos climáticos globales. Esta variedad de enfoques contribuye a la discrepancia entre los datos simulados y los valores reales observados.

Figura 57.

Producción mensual simulada y producción real



Fuente: [Elaboración propia](#)

Tabla 13.

Análisis comparativo entre la producción fotovoltaica simulada y la producción real

Fuente	Diferencia ABS	Variabilidad	Coficiente de variación	% Error
INAMHI	460,37	16,33%	2,7%	16%
NASSA-SSE	361,33	8,47%	1,4%	12%
METEONORM	943,43	7,14%	1,2%	33%
NREL	103,33	5,71%	1,0%	4%
ATLAS SOLAR	282,17	5,53%	0,9%	10%
PVGIS	107,07	12,10%	2,0%	4%
SOLARGIS	87,27	5,61%	0,9%	3%
SOLCAST	121,37	9,20%	1,5%	4%

Fuente: [Elaboración propia](#)

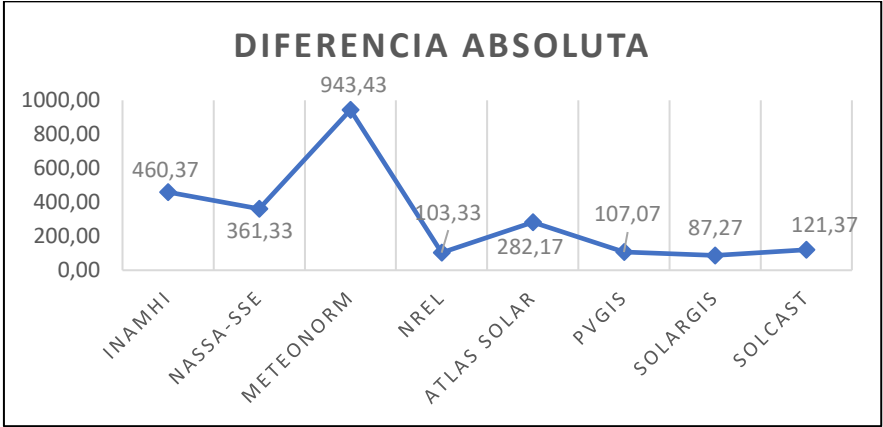
En la [Tabla 13](#) se muestra un análisis comparativo de las simulaciones realizadas con respecto a la producción real del sistema, a continuación, se detalla cada uno de estos parámetros.

La [Figura 58](#) indica la magnitud de la diferencia entre los valores simulados y el valor real de producción. Comparando entre todas las fuentes, SOLARGIS y NREL muestran los

valores más bajos, lo que sugiere que sus resultados están más cerca y sus estimaciones son más precisas de la producción real en comparación con otras fuentes de datos.

Figura 58.

Diferencia absoluta entre producción y simulación

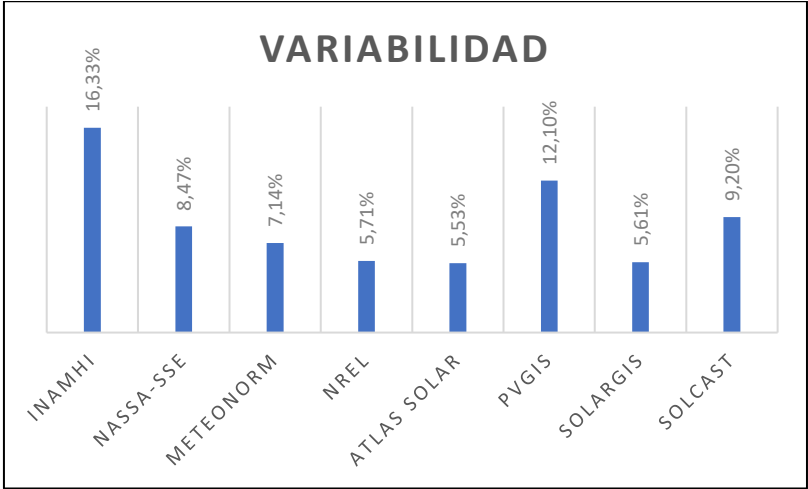


Fuente: [Elaboración propia](#)

La [Figura 59](#) ilustra la variabilidad de los datos, mostrando qué tan dispersos están en relación con el valor promedio. Como se puede observar, los datos de INAMHI muestran la mayor dispersión respecto a la media de producción, mientras que los datos de ATLAS SOLAR están más concentrados alrededor de la media.

Figura 59.

Variabilidad entre producción y simulación

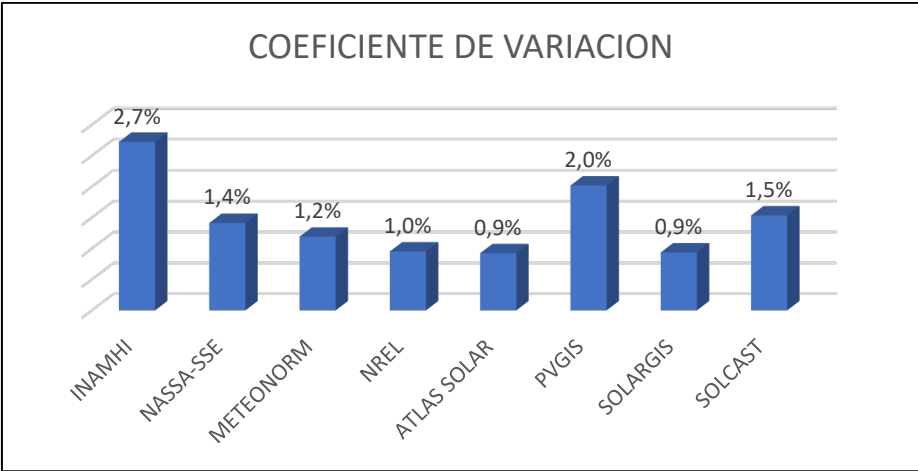


Fuente: [Elaboración propia](#)

La [Figura 60](#) muestra la medida de la dispersión relativa en la producción fotovoltaica simulada con respecto al promedio de la producción real, para cada fuente de datos. Por ejemplo, para INAMHI, el coeficiente de variación es del 2,7%, lo que indica la magnitud de la dispersión de los datos simulados en relación con su promedio. Por otro lado, ATLAS SOLAR y SOLARGIS presentan un valor del 0.9%, lo que indica que los valores simulados están más cercanos entre sí y más próximos al promedio.

Figura 60.

Dispersión relativa entre producción y simulación

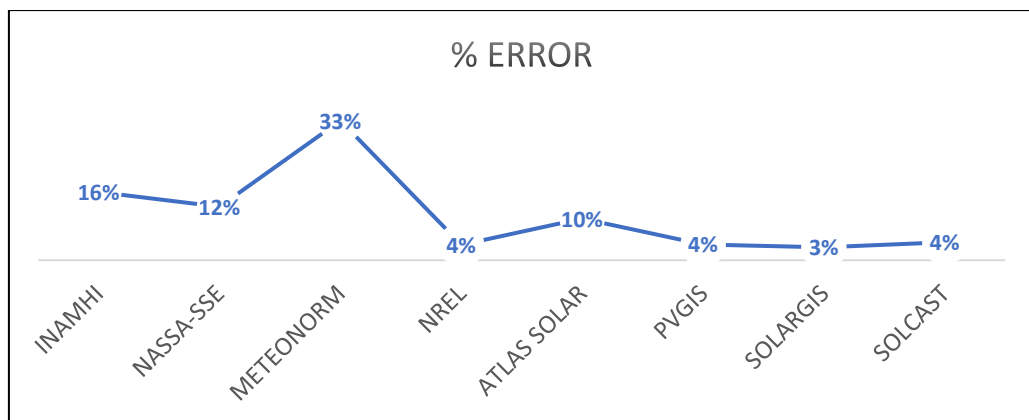


Fuente: [Elaboración propia](#)

La [Figura 61](#) muestra el porcentaje de error entre la producción fotovoltaica simulada y la producción real, METEONORM tiene el valor más alto, del 33%, lo que indica una discrepancia considerable entre sus predicciones y los valores reales. Por otro lado, NREL, PVGIS y SOLCAST tienen un error del 4%, mientras que SOLARGIS tiene un 3%, lo que sugiere que estas fuentes ofrecen estimaciones más precisas en comparación con la producción real.

Figura 61.

Porcentaje de error estimado entre producción y simulación



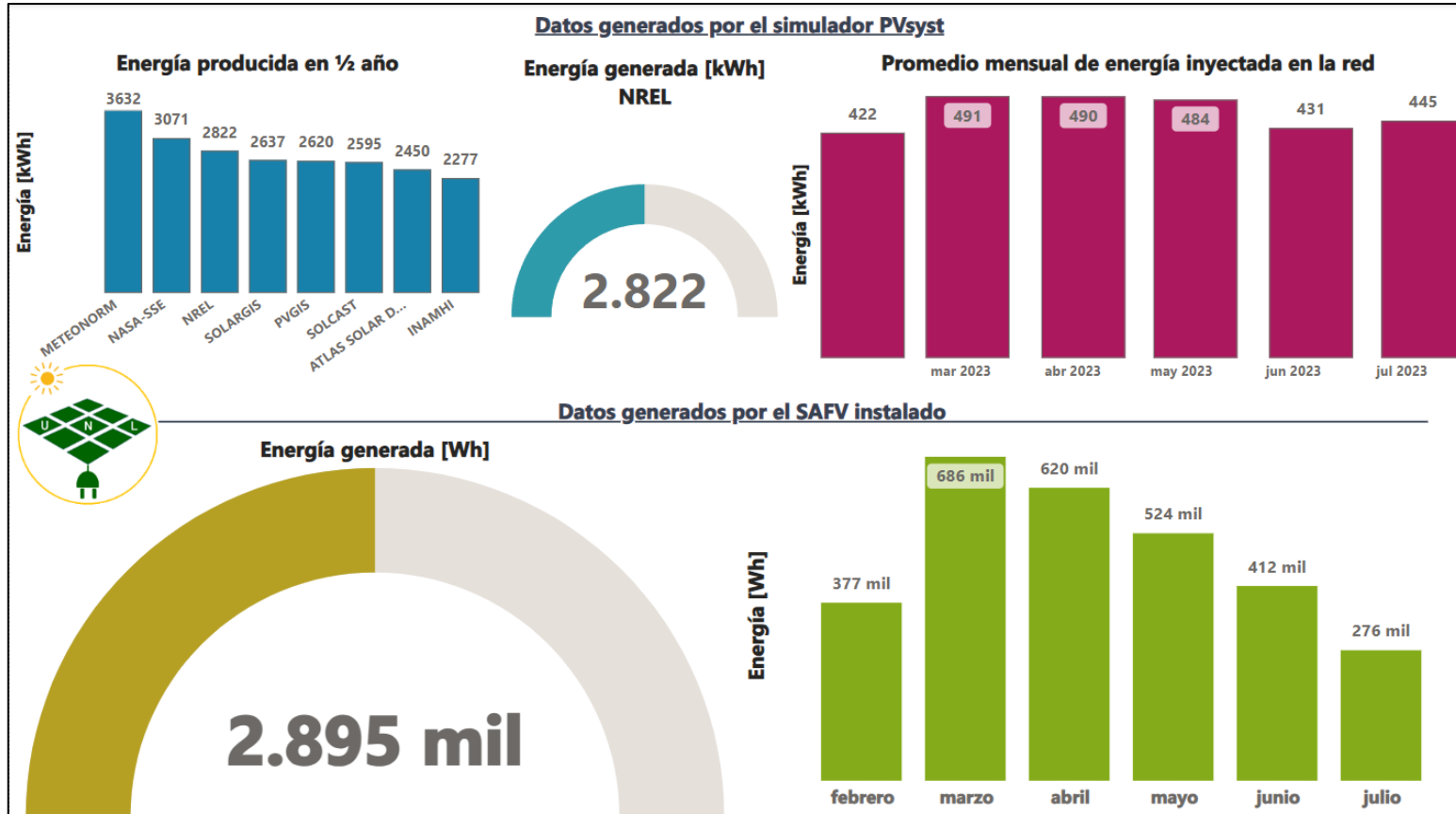
Fuente: [Elaboración propia](#)

Por otro lado, la producción total de energía del SAFV instalado durante este periodo alcanzó los 2895 kWh. Aunque la sumatoria de los valores de los seis meses, contrastada con diversas fuentes simuladas, revela que NREL exhibe la mayor concordancia con el valor total, registrando una cifra de 2822 kWh, pero no quedan por fuera las otras fuentes como PVGIS, SOLARGIS y SOLCAST, que presentan las mismas similitudes. Este valor representa la aproximación más cercana al real y, como se ha señalado previamente, demuestra ser una de las fuentes que mejor se ajustan a los valores reales.

Ahora bien, a lo largo de estos 6 meses de funcionamiento, con la herramienta que previamente fue creada, se estima un valor total de 2.998,3 kWh, y si comparamos este valor con los datos de la [Figura 62](#), estos no difieren mucho, ya que los datos reales del sistema instalado fueron de 2895 kWh mientras que los de la fuente de NREL simulados son de 2822 kWh.

Figura 62.

Comparativa entre producción real y producción simulada creada en Power BI



Nota. La simulación realizada refleja de manera precisa el rendimiento real del sistema, lo cual se confirma al compararlos con los datos de la fuente de NREL (National Renewable Energy Laboratory). Fuente: [Elaboración propia](#)

7. Discusión

Este estudio complementa el proyecto de investigación liderado por el Ing. Juan Carlos Solano, titulado "DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES PARA EL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN EL ECUADOR: CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR". Los datos obtenidos en esta investigación contribuirán a enriquecer y respaldar el mencionado proyecto.

Para cumplir con los objetivos establecidos al inicio de este proyecto, se comenzó adquiriendo una licencia estudiantil del software de simulación PVsyst. Este software fue seleccionado por sus diversas funcionalidades, que permiten diseñar el sistema fotovoltaico a instalar y estimar su producción a lo largo del tiempo. Sin embargo, al encontrarse limitado en cuanto a fuentes de datos meteorológicos, se optó por ingresar manualmente información de 8 fuentes reconocidas para obtener estimaciones más precisas. Aunque se deseaba utilizar más fuentes, muchas de estas requieren pago.

Posteriormente, se procedió con el registro de la instalación del sistema. Se inició con un registro fotográfico que tomó aproximadamente tres días. Durante este período, se acondicionó la azotea del bloque #3 de la FEIRNNR, que no se encontraba en condiciones óptimas. Se llevó a cabo la impermeabilización de la azotea, seguida del trazado para la instalación de las bases, montaje de paneles, cableado, conexión y configuración. Estas tareas fueron realizadas por el Ing. David Aguirre Burneo, quien también donó sensores complementarios para facilitar el estudio.

La conexión del sistema a la red eléctrica se realizó de manera eficiente. Sin embargo, surgieron discrepancias debido a que el edificio de estudio comparte un medidor de energía con otros tres edificios. Esto dificulta determinar con certeza si la energía generada por el sistema fotovoltaico se consume en el edificio de estudio, en los edificios vecinos, o si se vierte directamente a la red eléctrica. Para dar solución a este problema, es importante contar con un medidor bidireccional, que permita medir tanto el consumo del edificio como la energía entregada a la red eléctrica.

Para mejorar la eficiencia del sistema, se incorporaron sensores adicionales con el objetivo principal de proporcionar datos para proyectos futuros y para complementar el estudio en curso. El sistema tiene capacidad para un máximo de cuatro sensores, de los cuales

uno (sensor de Irradiación) fue incluido en el presupuesto universitario. Los otros dos sensores (sensor de temperatura del módulo y sensor de temperatura ambiente) fueron donados por el Ing. David Aguirre, y por mi parte realice la instalación del cuarto sensor (sensor de velocidad del viento).

Para maximizar el rendimiento del sistema, se realiza un seguimiento constante, durante este proceso, se observó que los paneles solares acumulaban polvo en la parte inferior debido a la inclinación de 10 grados, que no se limpiaba por completo con las lluvias de la zona. Por lo tanto, tomé la iniciativa de lavar los módulos manualmente siguiendo las instrucciones del fabricante para mejorar su eficiencia de captación.

Para el análisis de producción, se consideró un período de 6 meses, de febrero a julio de 2023. El período de análisis no pudo ser más largo debido a un desperfecto del sistema debido a razones climáticas, lo que obligó a detenerlo por motivos de seguridad. Durante este período, se produjeron un total de 2.895 kWh, de los cuales el 72.11% se suministró a la red eléctrica y el resto se consumió en el edificio donde se encuentra el sistema. Se esperaba una producción de aproximadamente 5898 kWh en un año con un sistema instalado de 4.9 kWp, según la simulación realizada con la fuente de NREL. Este valor de producción se asemeja a la mitad de la producción total esperada. Para corroborar esto, se realizó una modificación en el panel de análisis simulado, considerando solo 6 meses, lo cual resultó en un valor de 2.949 kWh, lo que se aproxima aún más a la producción real.

En términos económicos, se realizaron cálculos basados en un costo de electricidad de 0.065 USD por kilovatio-hora (USD/kWh) para determinar el ahorro en la factura de electricidad. Durante un período de análisis de 6 meses, se logró un ahorro de aproximadamente 246.5 USD en la factura de electricidad. Extrapolando estos resultados a un año completo, se estima un ahorro de alrededor de 493.98 USD.

Así mismo, durante este periodo, se estima que se ha logrado una disminución en las emisiones contaminantes, como el dióxido de carbono, en términos ambientales. En total, se ha conseguido un ahorro de 1,06 toneladas de CO₂ equivalente en estos seis meses.

Estos datos indican que el sistema de autoconsumo fotovoltaico tiene un retorno de inversión de aproximadamente 17 años, considerando que se le agrega un valor adicional por la inversión de un nuevo inversor, ya que este cuenta con una vida útil de 15 años en promedio

aproximadamente, aun así, sigue siendo una opción atractiva para aquellos consumidores que desean reducir sus costos de energía a largo plazo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos cálculos se basan en el costo de electricidad proporcionado y pueden variar según la ubicación y el proveedor de servicios eléctricos. Otros factores, como impuestos, tarifas adicionales y políticas energéticas locales, también pueden influir en el costo final de la electricidad.

8. Conclusiones

El presente proyecto ha representado un esfuerzo significativo para abordar la implementación de un Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico, evaluando su rendimiento y eficacia en un entorno específico. A través de la ejecución de simulaciones detalladas en PVsyst, la instalación cuidadosa del sistema y el análisis exhaustivo de los datos recopilados, se han obtenido resultados valiosos que arrojan luz sobre la viabilidad y eficiencia de la generación fotovoltaica en el contexto abordado.

El proyecto ha logrado con éxito el registro de la implementación del Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico, confirmando varias hipótesis planteadas al inicio del trabajo. La orientación óptima de los paneles solares, determinada mediante simulaciones en PVsyst, ha demostrado ser importante para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del día.

La contribución de este proyecto radica en la aplicación práctica de conceptos teóricos, proporcionando una perspectiva valiosa para investigadores y profesionales interesados en la implementación efectiva de sistemas fotovoltaicos. La información detallada sobre la orientación, montaje y conexión a la red eléctrica puede servir como referencia para futuros proyectos similares.

El análisis detallado de la eficiencia en la captación de energía solar ha revelado una operación cercana a la eficiencia máxima del módulo instalado, destacando la alineación efectiva entre la capacidad teórica y el rendimiento real del sistema. Además, la incorporación de sensores específicos para monitorear factores ambientales, como la temperatura y la velocidad del viento, ha proporcionado datos valiosos sobre la influencia de estas variables en el rendimiento del sistema fotovoltaico.

A pesar de los logros, se reconocen algunas limitaciones en el estudio, como las variaciones en las fuentes meteorológicas utilizadas. Estas limitaciones ofrecen oportunidades para mejoras futuras, como la diversificación de las fuentes de datos y una evaluación continua del sistema para adaptarse a cambios en las condiciones ambientales.

Este estudio demuestra que los sistemas de autoconsumo fotovoltaico pueden ser una opción rentable y sostenible para los consumidores. La simulación y el análisis de datos han proporcionado una base sólida para tomar decisiones informadas en la implementación de estos sistemas.

En general, este proyecto de titulación no solo ha cumplido con los objetivos establecidos, sino que ha contribuido al conocimiento en el campo de la energía fotovoltaica. Los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas proporcionan una base sólida para el avance continuo en la implementación sostenible de sistemas de generación de energía solar.

9. Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo evaluaciones periódicas del sistema fotovoltaico para identificar oportunidades de optimización, estas revisiones pueden incluir ajustes en la orientación de los paneles, la implementación de tecnologías emergentes y la incorporación de estrategias para mejorar la eficiencia del sistema.

Se debe considerar la integración de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para maximizar la utilización de la energía generada. Esta adición permitiría mitigar los efectos de la variabilidad en la generación y mejorar la autosuficiencia del sistema.

Para una evaluación más robusta, se sugiere la diversificación de fuentes meteorológicas. La inclusión de datos de diversas fuentes puede ofrecer una comprensión más completa de las condiciones ambientales locales y mejorar la precisión de las simulaciones.

Ampliar el monitoreo de condiciones ambientales con sensores adicionales, como sensores de humedad y calidad del aire, para evaluar de manera integral el impacto de factores ambientales en el rendimiento del sistema.

Explorar y evaluar tecnologías emergentes en el campo de la energía fotovoltaica, como paneles solares de nueva generación, materiales avanzados y sistemas de seguimiento solar, para mantenerse al tanto de las innovaciones que podrían mejorar la eficiencia del sistema.

Se recomienda un monitoreo constante y el mantenimiento adecuado del sistema para garantizar su eficiencia y rendimiento óptimo haciendo limpiezas constantes de los módulos solares ya que estos acumulan cierta cantidad de polvo.

El uso del medidor bidireccional en estos sistemas es de suma importancia, para poder llevar a cabo el conteo efectivo del consumo y entrega de energía a la red eléctrica.

Impulsar programas educativos y de concientización para promover la adopción de sistemas fotovoltaicos a nivel comunitario. Esto puede incluir la capacitación de profesionales locales, la divulgación de beneficios económicos y ambientales, y la participación activa de la comunidad en proyectos similares.

Refinar y mejorar la herramienta de simulación desarrollada, considerando la retroalimentación de usuarios y actualizando la base de datos meteorológicos. Esto facilitará

su utilidad continua como recurso de planificación para aquellos que deseen implementar sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos también pueden diseñarse para maximizar la captación de radiación reflejada, mediante el uso de dispositivos ópticos como espejos, lentes o concentradores, que enfocan la luz reflejada en los módulos solares. Además, algunos módulos fotovoltaicos tienen una mayor capacidad para captar y aprovechar la radiación reflejada debido a su diseño y propiedades ópticas. Por lo tanto, la radiación reflejada puede ser un factor relevante en el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, especialmente en contextos donde la radiación directa y difusa es limitada.

Como parte de las proyecciones futuras, se sugiere una mayor exploración de tecnologías emergentes, la integración de sistemas de almacenamiento de energía y la evaluación de estrategias para la gestión eficiente del excedente de energía generada. Además, la herramienta de simulación desarrollada en colaboración con el Ing. Juan Carlos Solano podría ser refinada y compartida como recurso educativo y de toma de decisiones para aquellos interesados en la implementación de sistemas fotovoltaicos.

10. Bibliografía

- ACCIONA. ORG. (2023). *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*.
https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894
- Álvarez, O., Montaña, T., & Correa, J. M. (2014). *La radiación solar global en la provincia de Loja, evaluación preliminar utilizando el método de Hottel*.
- Arancibia Bulnes, C., Best, R., & Brown. (2010). La Energía del Sol. *ENERGÍA del SOL*, 0, 1.
<https://doi.org/10.14409/cc.v1i14.2184>
- ARCERNNR. (2021). *Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica*. 1–39.
- Creutzig, F., Agoston, P., Goldschmidt, J. C., Luderer, G., Nemet, G., & Pietzcker, R. C. (2017). The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nature Energy*, 2(9), 17140. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.140>
- DIARIO CRÓNICA. (2023, diciembre 26). *Aroma Santo Solar, proyecto lojano que aportará energía eléctrica a 70 mil habitantes*. Aroma Santo Solar, proyecto lojano que aportará energía eléctrica a 70 mil habitantes
- Echegaray-Aveiga, R. C., Masabanda, M., Rodriguez, F., Toulkeridis, T., & Mato, F. (2018). *Solar Energy Potential in Ecuador*.
- Enercity SA. (2019). *Beneficios Económicos Y Tributarios De La Energía Solar En Ecuador*.
<https://enercitysa.com/blog/beneficios-economicos-y-tributarios-de-la-energia-solar-en-ecuador/>
- FRONIUS. (2024a). *Fronius Sensor Box*. <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/system-monitoring/hardware/fronius-sensor-card-box/fronius-sensor-box>
- FRONIUS. (2024b). *Fronius Smart Meter 63A-3*. <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorizaci%C3%B3n-de-instalaciones/hardware/fronius-smart-meter/fronius-smart-meter-63a-3>

- FRONIUS. (2024c). *Inversor de red IR015 - Fronius Primo 3.8-1 208-240*. <https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-primo-ul/fronius-primo-3-8-1-208-240>
- FRONIUS. (2024d). *Sensor de irradiación*. <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorizaci%C3%B3n-de-instalaciones/hardware/sensores/sensor-de-irradiaci%C3%B3n>
- FRONIUS. (2024e). *Sensor de temperatura ambiente*. <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorizaci%C3%B3n-de-instalaciones/hardware/sensores/sensor-de-temperatura-ambiente>
- FRONIUS. (2024f). *Sensor de temperatura de módulo*. <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorizaci%C3%B3n-de-instalaciones/hardware/sensores/sensor-de-temperatura-de-m%C3%B3dulo>
- FRONIUS. (2024g). *Sensor de velocidad del viento*. <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorizaci%C3%B3n-de-instalaciones/hardware/sensores/sensor-de-velocidad-del-viento>
- Fronius International GmbH. (2023). *SOLAR.WEB SAFV UNL*. <https://www.solarweb.com/PvSystems/PvSystem?pvSystemId=ea02abd0-e762-49a9-b51f-41ab795acdbf>
- Fronius International GmbH. (2024). *Fronius Datamanager 2.0*. <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/monitorizaci%C3%B3n-de-instalaciones/hardware/fronius-datamanager-2-0/fronius-datamanager-2-0>
- Fthenakis, V. M., Kim, H. C., & Alsema, E. (2008). Emissions from Photovoltaic Life Cycles. *Environmental Science & Technology*, 42(6), 2168–2174. <https://doi.org/10.1021/es071763q>


- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Irena. (2016). *RENEWABLE ENERGY BENEFITS: MEASURING THE ECONOMICS*. www.irena.org
- Jara Alvear, J. (2021). *Potencial solar fotovoltaico del Ecuador*.
- Jaramillo, P., Michael Griffin, W., & Scott Matthews, H. (2007). Comparative life-cycle air emissions of coal, domestic natural gas, LNG, and SNG for electricity generation. *Environmental science & technology*, 6290–6296. <https://doi.org/10.1021/es063031o>
- Kalogirou, S. A. (2014). Solar Energy Collectors. *Solar Energy Engineering (Second Edition)*, 125–220. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123972705000030>
- La Hora. (2021). *La inversión en energía fotovoltaica se cuadruplicará en Ecuador hasta 2023*. <https://www.lahora.com.ec/pais/solar-fotovoltaica-inversion-ecuador/#:~:text=Ecuador tiene una alta radiación, parte de la empresa privada>.
- Legislativo, D. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. En *Registro Oficial* (Vol. 449, Número 20). www.lexis.com.ec
- LEY ORGANICA DEL SERVICIO PUBLICO DE ENERGIA ELECTRICA. (2018). www.lexis.com.ec
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Número 5, pp. 2920–2925). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>
- Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G., & Macknick, J. (2013). Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015031>
- Municipio de Loja. (2021). *PLAN DE DESARROLLO GENERAL 2021*.
- National Geographic. (2022). *La energía solar y su potencial para ayudar a reducir el calentamiento global*.
- Ordóñez, Á., Sánchez, E., Rozas, L., García, R., & Parra Domínguez, J. (2022). Net-metering and net-billing in photovoltaic self-consumption: The cases of Ecuador and Spain. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102434>.

- Parida, B., Iniyán, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625–1636.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.11.032>
- PRIMICIAS. (2023). *Gobierno firmó la concesión del Proyecto fotovoltaico El Aromo.*
- pv magazine. (2018). *La Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, en Ecuador, inaugura su instalación fotovoltaica.* <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/12/06/la-universidad-politecnica-salesiana-de-cuenca-en-ecuador-inaugura-su-instalacion-fotovoltaica/>
- RAMOS GUAÑUNA, I. F. (2021). *INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN ECUADOR.*
- RENOVA. (2022). *Panel Solar Fotovoltaico Jinko Solar Tiger Pro JKM550M-72HL4-V.*
<https://www.renova-energia.com/productos/jinko-solar-tiger-pro-jkm550m-72hl4-v/>
- Solano, J. C. (2021). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES PARA EL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN EL ECUADOR: CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR. Proyecto de investigación -.*
- SolarPlak. (2023). *En qué consiste el autoconsumo de energía solar.*
- UTPL. (2022). *UTPL contribuye a la Red Eléctrica del Ecuador con energía limpia.*
<https://noticias.utpl.edu.ec/utpl-contribuye-a-la-red-electrica-del-ecuador-con-energia-limpia>

11. Anexos

Anexo 1.

Informe generado por el simulador PVsyst



PVsyst V7.3.1
VC4, Fecha de simulación:
19/01/23 11:25
con v7.3.1

Proyecto: Sistema Voltaico de 4.9 KWp
Variante: Simulación Meteo NREL
Anibal Andrés Lozano Mendoza (Ecuador)

Parámetros generales

Sistema conectado a la red		Cobertizos, conjunto único	
Orientación campo FV		Configuración de cobertizos	
Orientación		Núm. de cobertizos	2 unidades
Plano fijo		Conjunto único	
Inclinación/Azmut	10 / 90 °	Tamaños	
		Espaciado entre cobertizos	5.00 m
		Ancho de colector	1.13 m
		Proporc. cob. suelo (GCR)	22.7 %
		Banda inactiva superior	0.02 m
		Banda inactiva inferior	0.02 m
		Ángulo límite de sombreado	
		Ángulo límite de perfil	3.0 °
Horizonte		Sombreados cercanos	
Horizonte libre		Sombreados lineales	
		Necesidades del usuario	
		Carga Ilimitada (red)	

Características del generador FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	JKM-405M-54HL4	Modelo	Primo 3.8-1 / 240
(Base de datos PVsyst original)		(Base de datos PVsyst original)	
Unidad Nom. Potencia	405 Wp	Unidad Nom. Potencia	3.80 kWca
Número de módulos FV	12 unidades	Número de inversores	1 unidad
Nominal (STC)	4860 Wp	Potencia total	3.8 kWca
Módulos	2 Cadenas x 6 En series	Voltaje de funcionamiento	80-800 V
En cond. de funcionam. (50°C)		Proporción Pnom (CC:CA)	1.28
Pmpp	4439 Wp	Power sharing within this inverter	
U mpp	168 V		
I mpp	26 A		
Potencia FV total		Potencia total del inversor	
Nominal (STC)	4.86 kWp	Potencia total	3.8 kWca
Total	12 módulos	Número de inversores	1 unidad
Area del módulo	23.4 m²	Proporción Pnom	1.28

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica		Pérdidas de cableado CC		Pérdida de calidad módulo				
Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	105 mΩ	Frac. de pérdida	-0.8 %			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Frac. de pérdida	1.5 % en STC					
Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s							
Pérdidas de desajuste de módulo		Pérdidas de desajuste de cadenas						
Frac. de pérdida	2.0 % en MPP	Frac. de pérdida	0.1 %					
Factor de pérdida IAM								
Efecto de incidencia (IAM): Fresnel, revestimiento AR, n(vídr)o=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

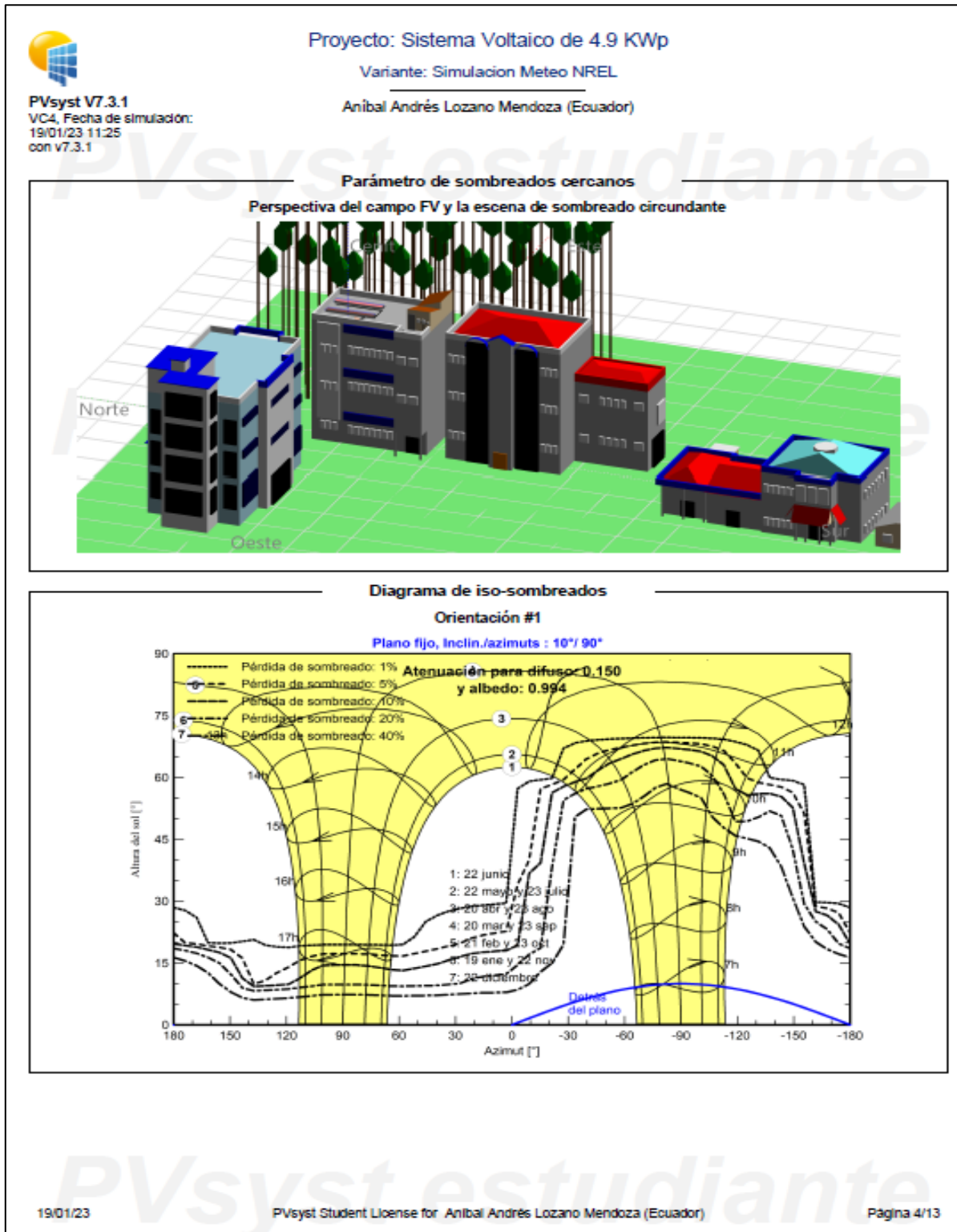
19/01/23

PVsyst Student License for Anibal Andrés Lozano Mendoza (Ecuador)

Página 3/13

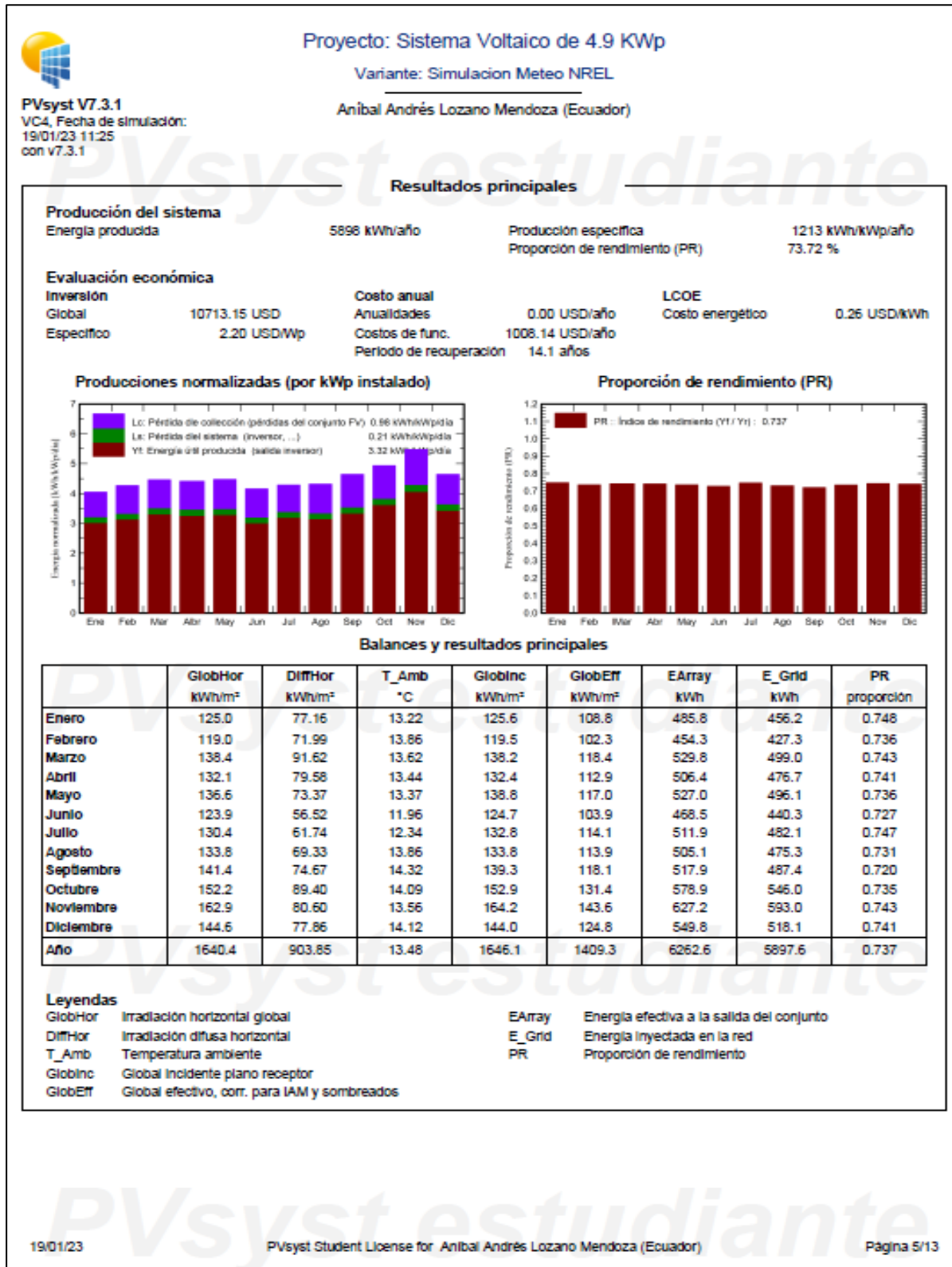
Anexo 2.

Perspectiva del campo FV y diagrama de iso-sombreados



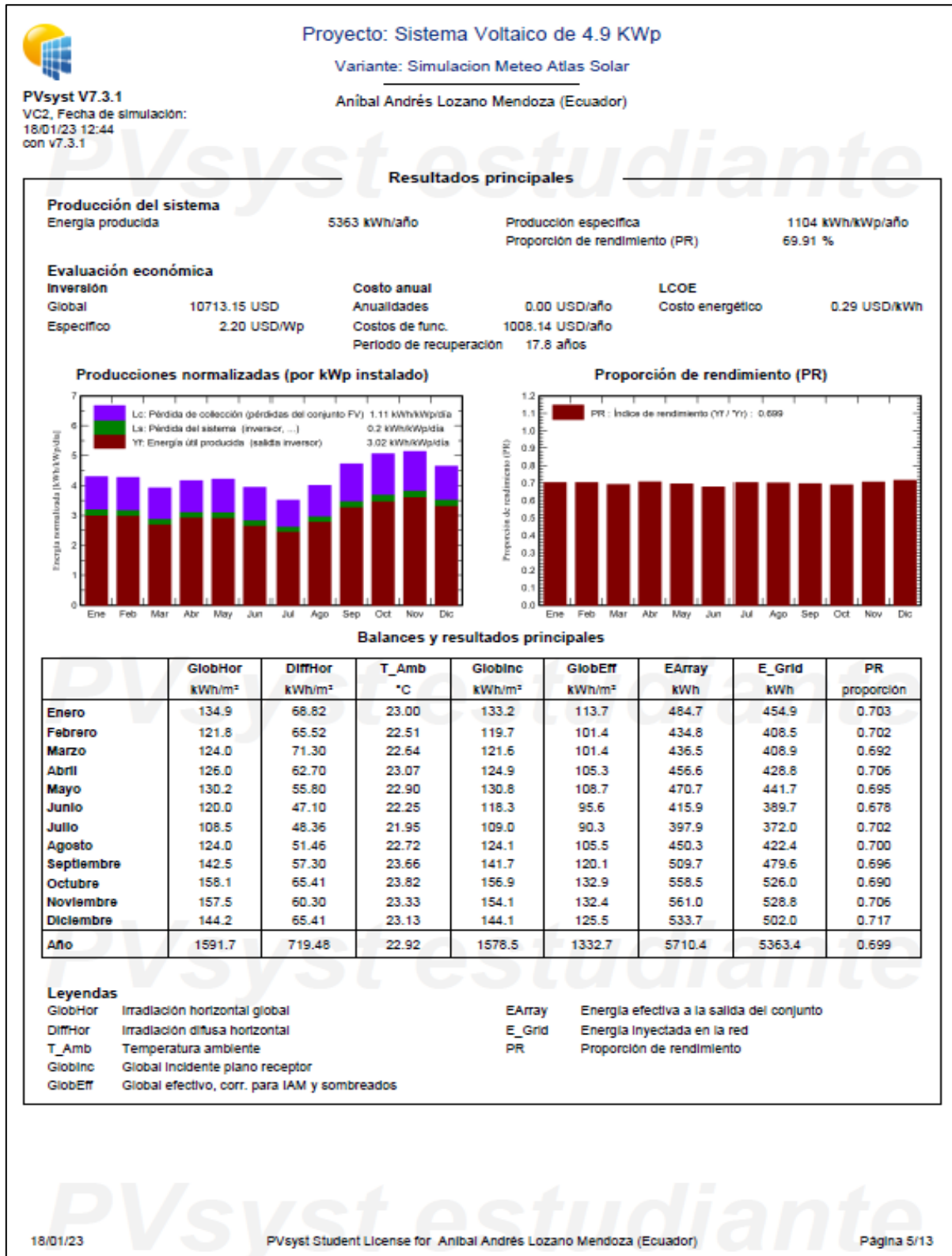
Anexo 3.

Resultados de producción simulados con datos de NREL



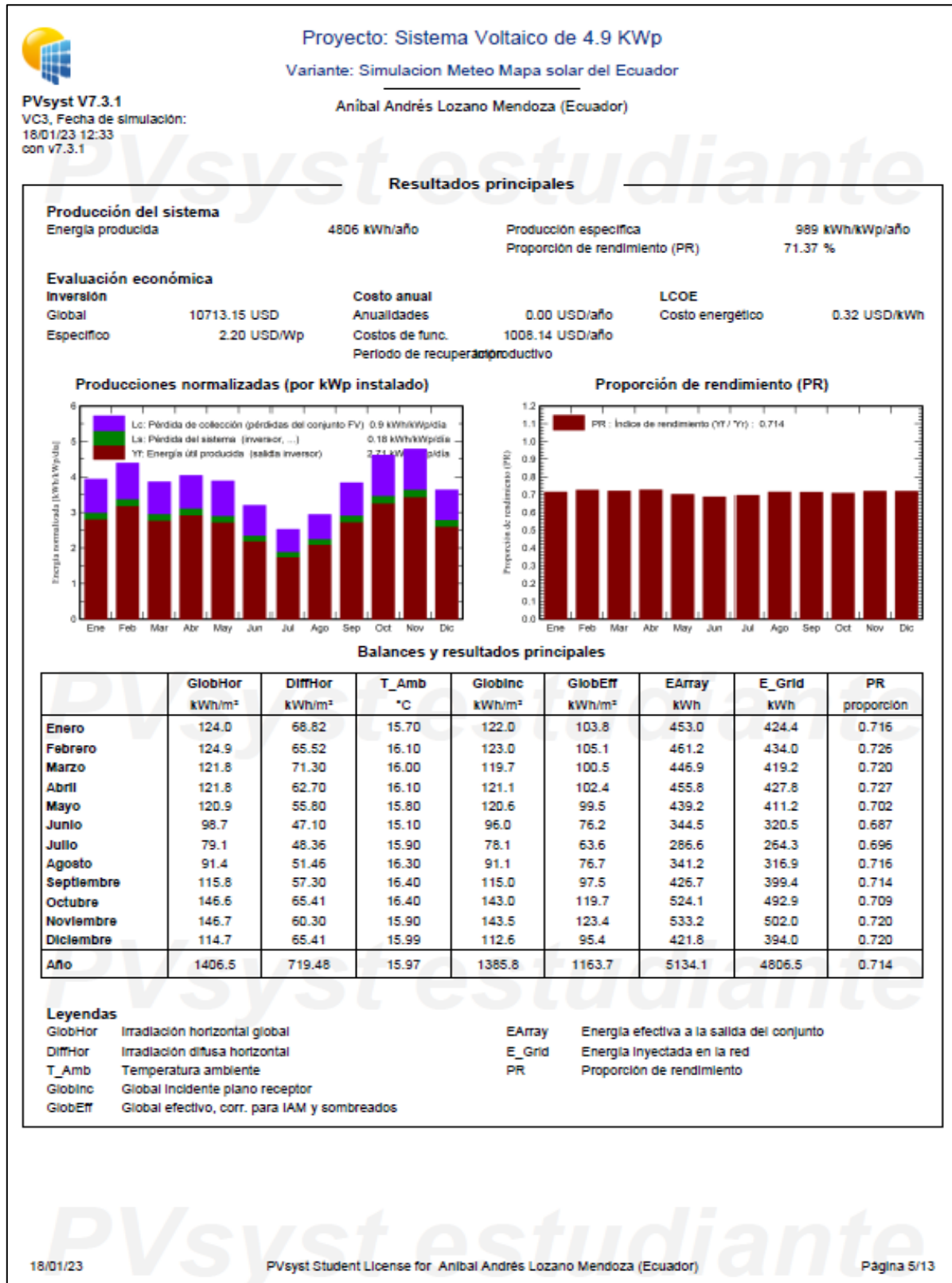
Anexo 4.

Resultados de producción simulados con datos de Atlas Solar



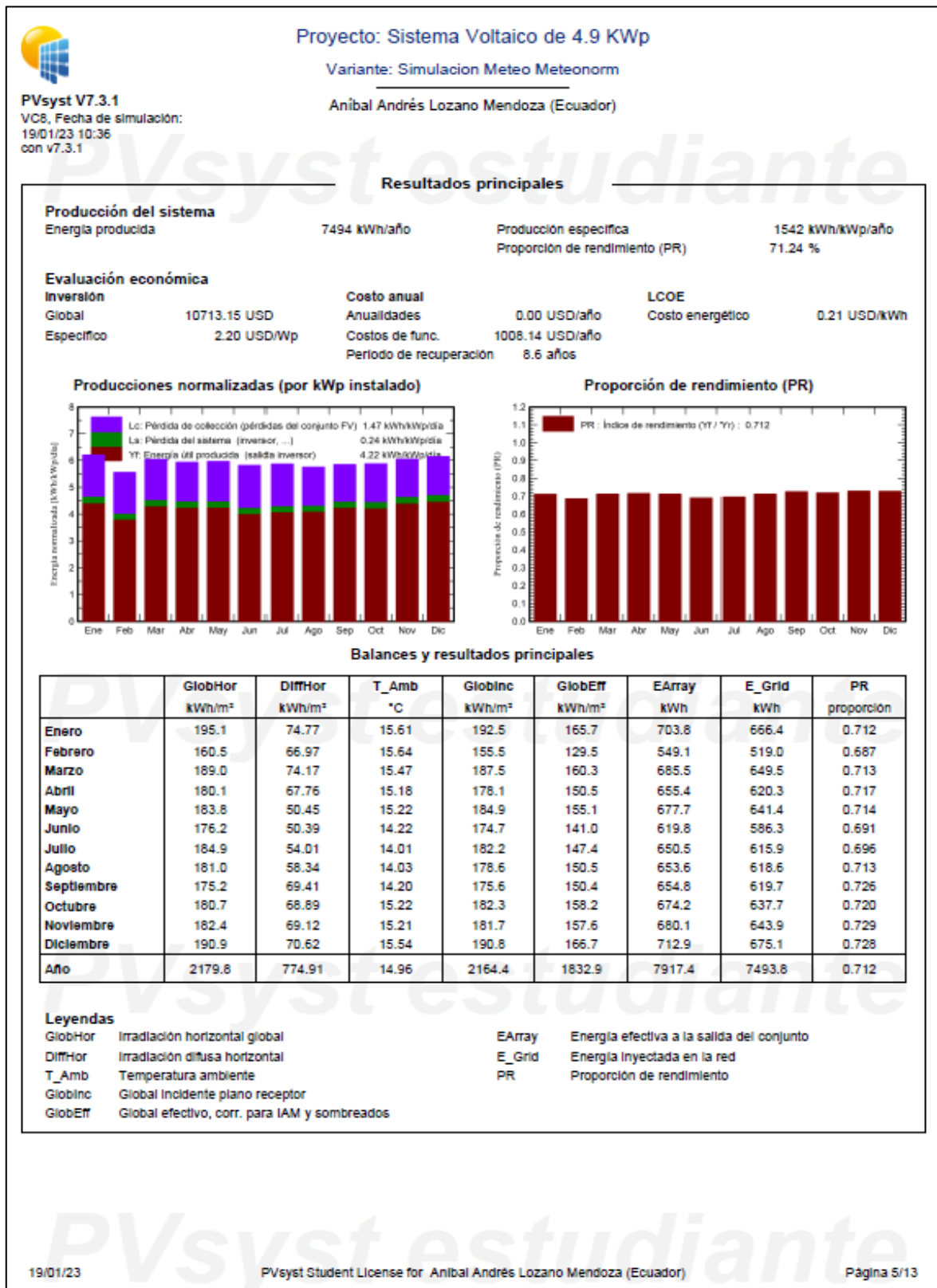
Anexo 5.

Resultados de producción simulados con datos del INAMHI



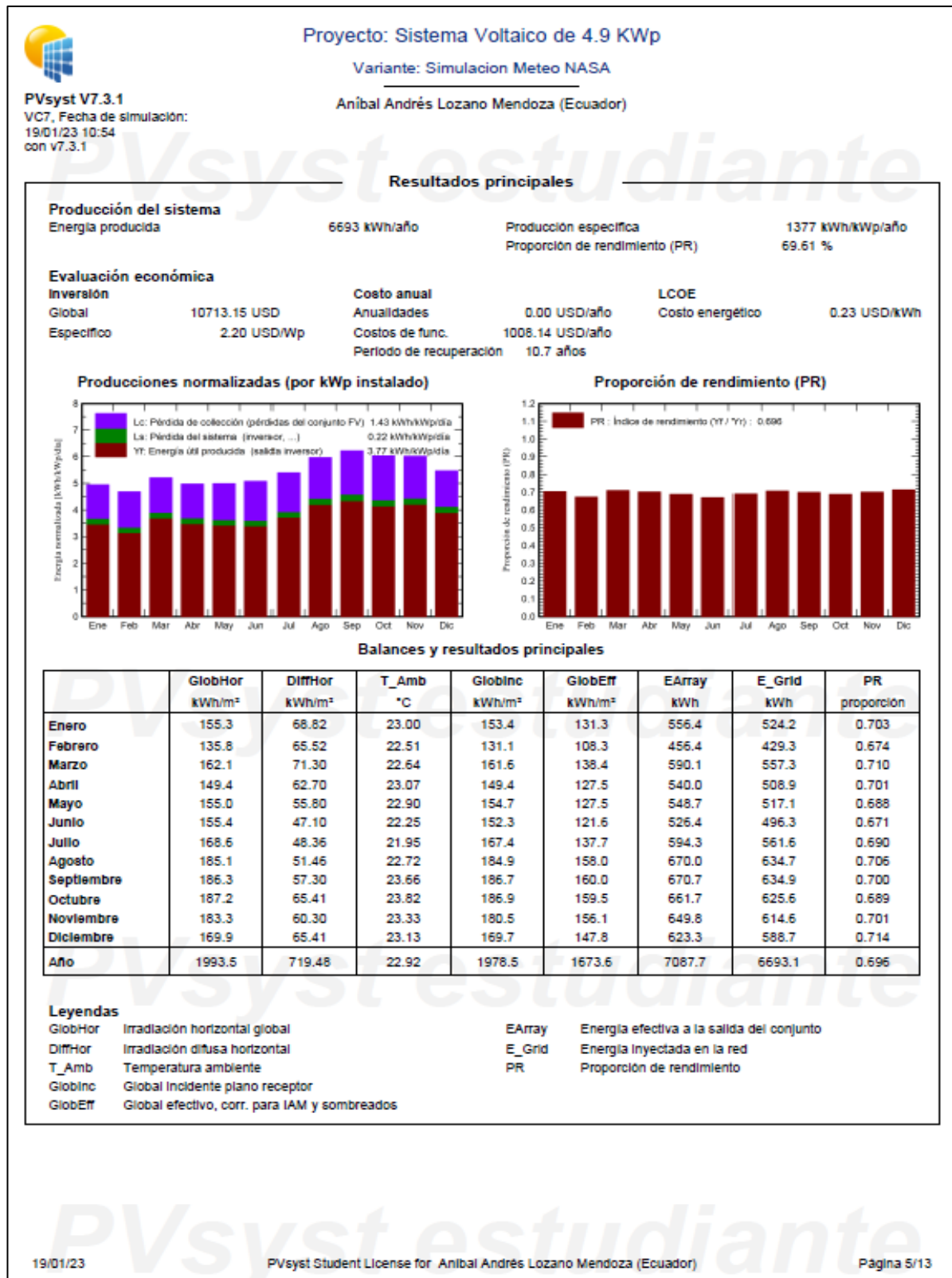
Anexo 6.

Resultados de producción simulados con datos de Meteonorm



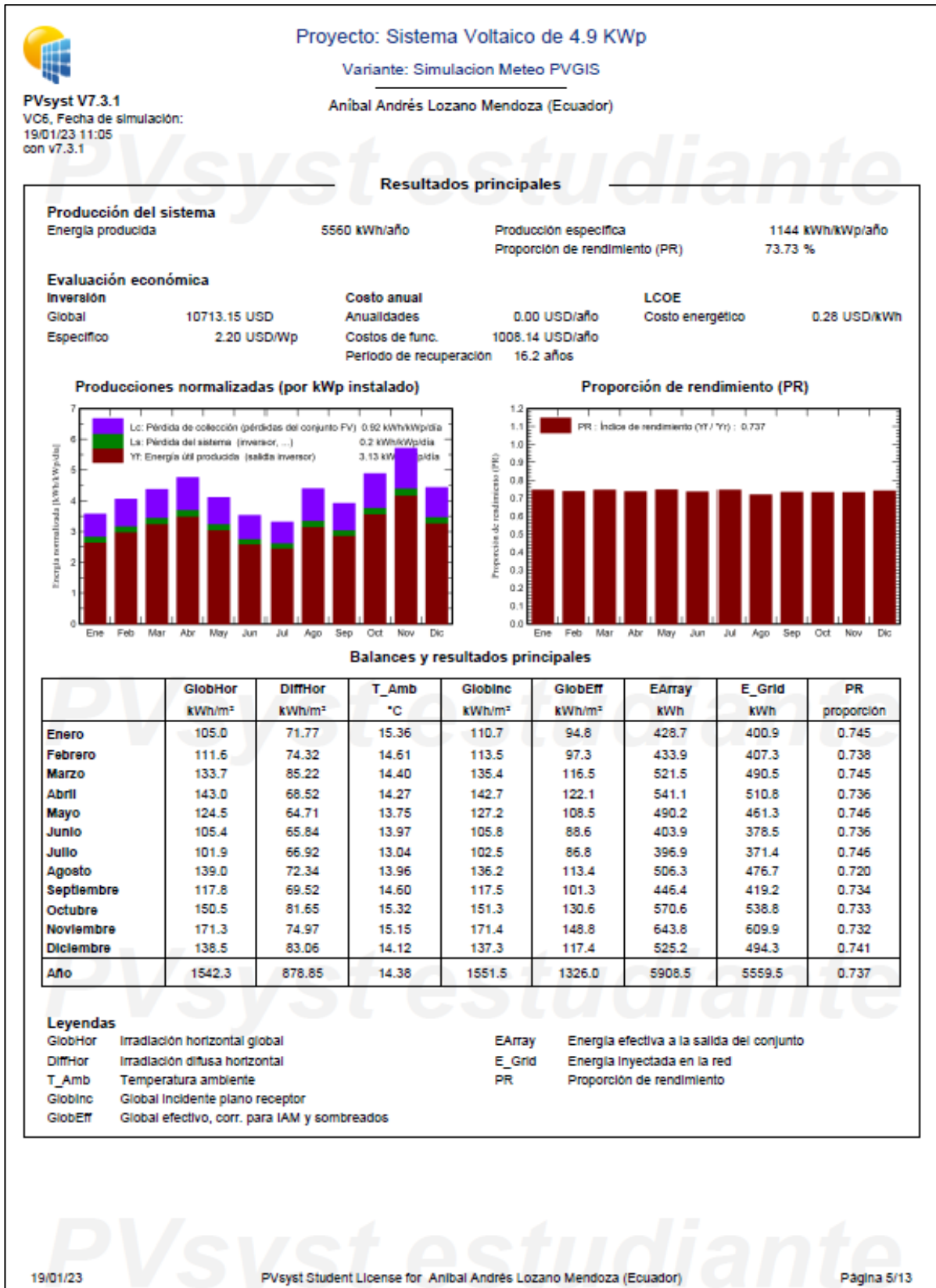
Anexo 7.

Resultados de producción simulados con datos de NASA-SSE



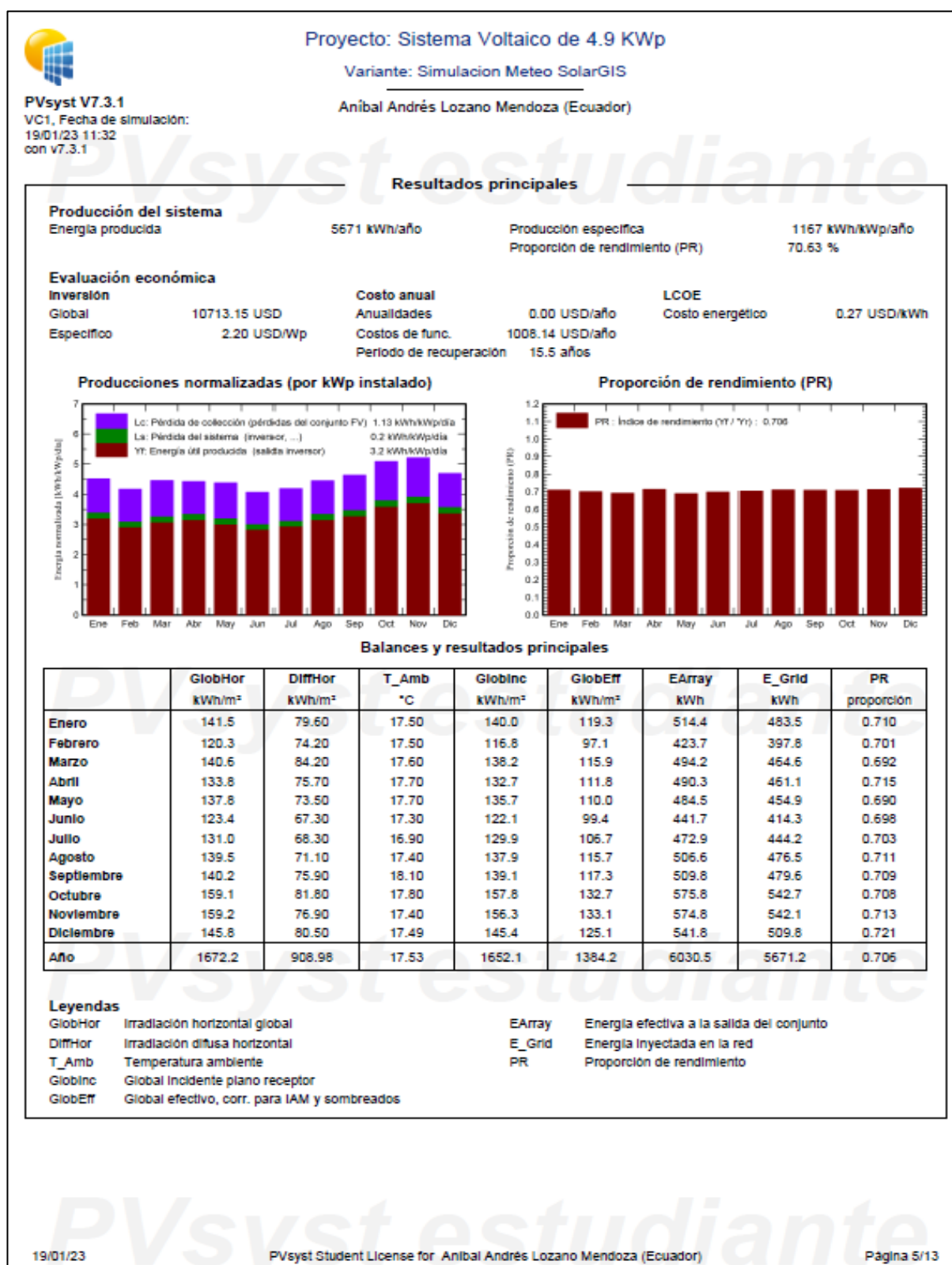
Anexo 8.

Resultados de producción simulados con datos de PVGIS



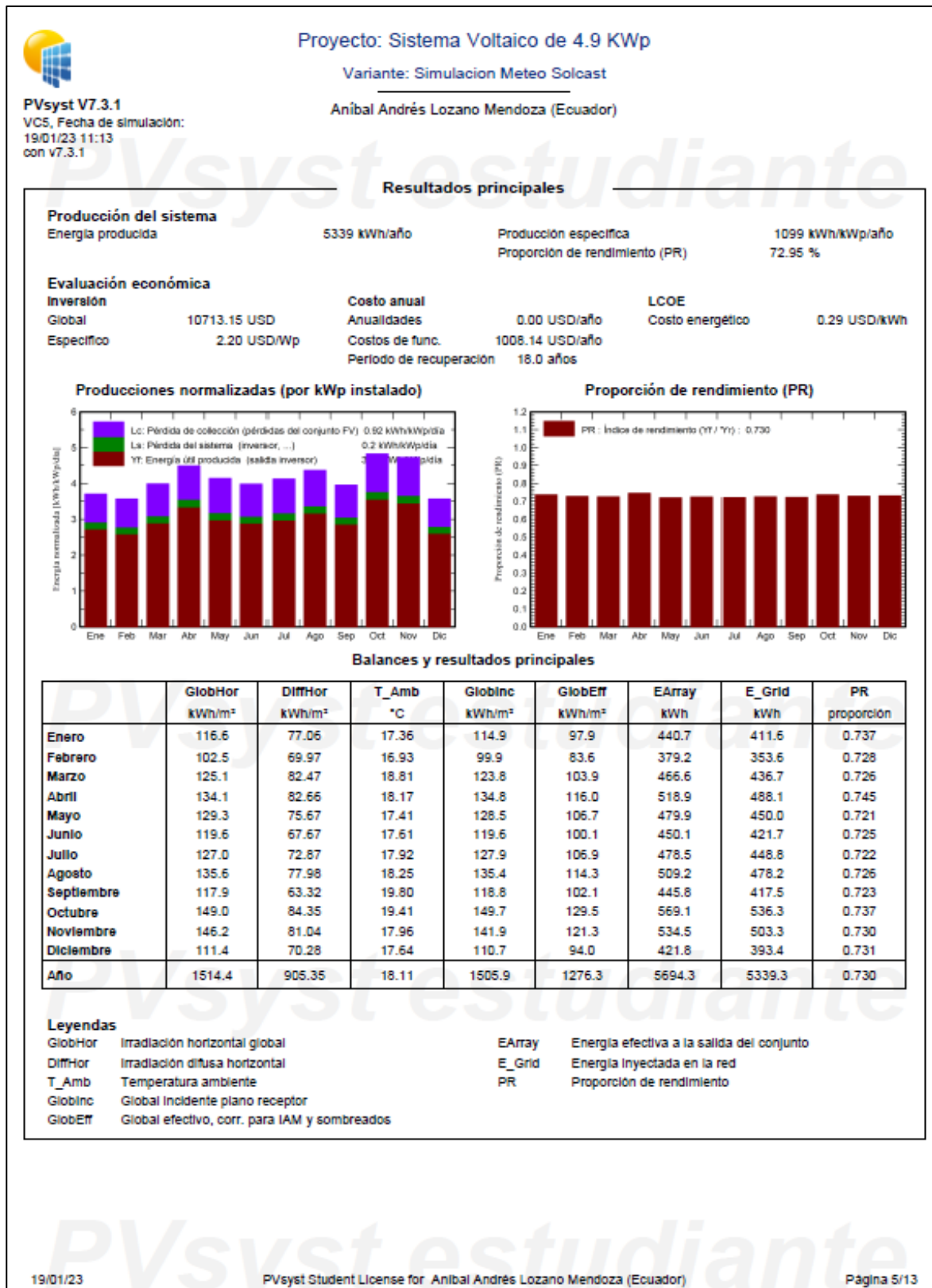
Anexo 9.

Resultados de producción simulados con datos de Solargis



Anexo 10.

Resultados de producción simulados con datos de Solcast



Anexo 11.

Hoja de datos del módulo solar JINKO SOLAR TIGER PRO 54HC

www.jinkosolar.com

Tiger Pro 54HC

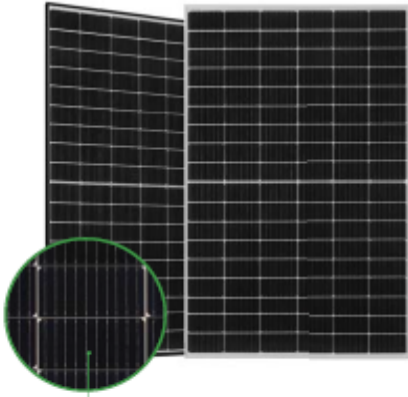
395-415 Watt

MONO-FACIAL MODULE

P-Type


Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)
 ISO9001:2015: Quality Management System
 ISO14001:2015: Environment Management System
 ISO45001:2018 Occupational health and safety management systems




→ MBB HC Technology

Key Features




Multi Busbar Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.




Reduced Hot Spot Loss

Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.




PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.








Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.

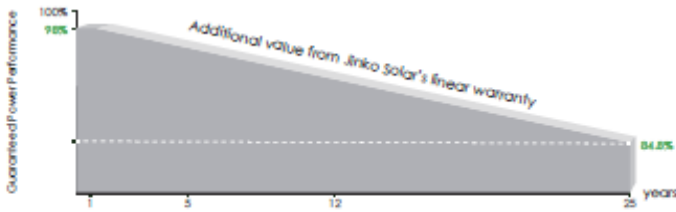


Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

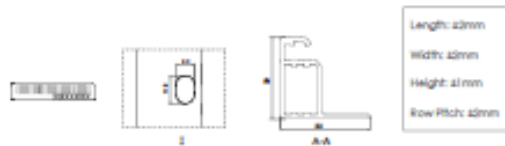
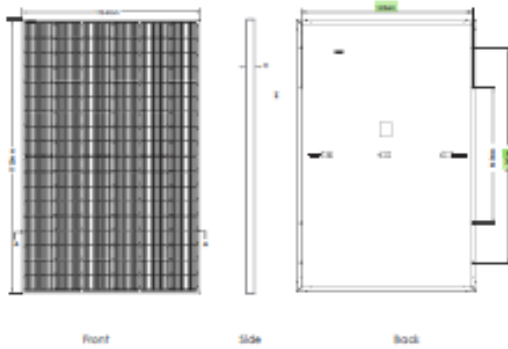


15 Year Product Warranty

25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

Engineering Drawings

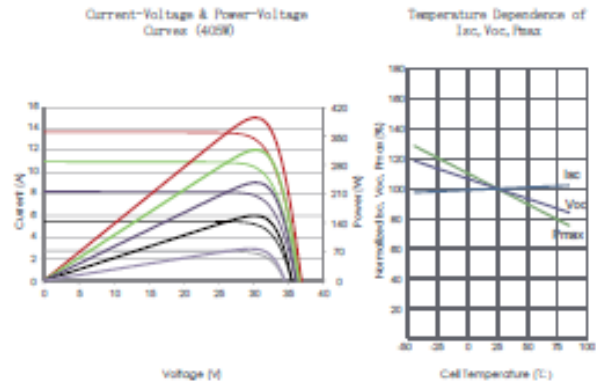


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

36pcs/pallets, 72pcs/stack, 936pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	108 (2x54)
Dimensions	1722×1134×30mm (67.80×44.65×1.18 inch)
Weight	22.0 kg (48.50 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM395M-54HL4		JKM400M-54HL4		JKM405M-54HL4		JKM410M-54HL4		JKM415M-54HL4		
	JKM395M-54HL4-V	JKM400M-54HL4-V	JKM405M-54HL4-V	JKM410M-54HL4-V	JKM415M-54HL4-V	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	395Wp	294Wp	400Wp	298Wp	405Wp	301Wp	410Wp	305Wp	415Wp	309Wp	309Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.32V	28.26V	30.42V	28.42V	30.52V	28.56V	30.62V	28.72V	30.79V	28.88V	28.88V
Maximum Power Current (Imp)	13.03A	10.40A	13.15A	10.47A	13.27A	10.55A	13.39A	10.62A	13.48A	10.69A	10.69A
Open-circuit Voltage (Voc)	36.90V	34.83V	36.98V	34.90V	37.06V	34.98V	37.14V	35.05V	37.31V	35.21V	35.21V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.78A	11.13A	13.85A	11.19A	13.92A	11.24A	14.01A	11.32A	11.32A
Module Efficiency STC (%)	20.23%		20.48%		20.74%		21.00%		21.25%		
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C										
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)										
Maximum series fuse rating	25A										
Power tolerance	0~+3%										
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C										
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C										
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C										
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C										

*STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

Anexo 12.

Hoja de datos del inversor de red FRONIUS PRIMO 3.8

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging





SAVING THE ENERGY



FRONIUS PRIMO

EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR RESIDENCIAL ESTÁ AQUÍ



/ PC Board
Proceso de ensamblaje



/ SnapINverter
Sistema de instalación



/ Integrated Data
Comunicación



/ Superflex
Diseño



/ Smart Grid & NEC
Certificación 2014



/ AFCI
Integrado

Con rangos de potencia desde 3.8 kW a 15.0 kW, el Fronius Primo es el inversor compacto monofásico sin transformador ideal para aplicaciones residenciales. Su diseño está basado en el sistema de instalación SnapINverter, el cual permite instalaciones y reparaciones sencillas y seguras.

El Fronius Primo tiene características únicas como dos seguidores de máxima potencia, alto voltaje de sistema, un amplio rango de voltaje de entrada y puede instalarse en interior y exterior. Como funciones estándar incluye interfaces Wi-Fi®* y SunSpec Modbus para monitoreo y datalogging, interrupción de circuito por falla de arco (AFCI) probada en campo, certificación NEC 2014 y la plataforma en línea para monitoreo móvil Solar.web. Está diseñado para adaptarse a requerimientos futuros, por lo cual ofrece una solución completa a los cambios de normativas e innovaciones técnicas del mañana. También es compatible con la caja de apagado rápido Fronius Rapid Shutdown Box.

DATOS TÉCNICOS

DATOS GENERALES	FRONIUS PRIMO 3.8 - 8.2	FRONIUS PRIMO 10.0 - 15.0
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	50.5 x 63 x 20.6 centímetros	51.05 x 72.39 x 22.60 centímetros
Peso (kg)	21.45	37.42
Grado de protección	NEMA 4X	
Consumo durante la noche	< 1 W	
Tipología de inversor	Sin transformador	
Enfriamiento	Velocidad de ventilador variable	
Instalación	Interior y exterior	
Rango de operación a temperatura ambiente	-40°F - 131°F (-40 - 55°C)	-40 - 140°F (-40 - 60°C)
Humedad permitida	0 - 100 % (sin condensación)	
Terminales de conexión CD	4x CD+ y 4x CD- terminales de tornillo para cobre (sólido / trenzado / trenzado fino) o aluminio (sólido / trenzado)	4x CD+1, 2x CD+2 y 6x CD- terminales de tornillo para cobre (sólido / trenzado / trenzado fino) o aluminio (sólido / trenzado)
Terminales de conexión CA	Terminales de tornillo 12-6 AWG	
Certificaciones y cumplimiento de estándares	UL 1741-2010, UL1998 (para funciones: AFCI monitoreo de aislamiento), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B, NEC Artículo 690, C22.2 No. 107.1-01 (septiembre 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013	UL 1741-2015, UL1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitoreo de aislamiento), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B, NEC Artículo 690, C22.2 No. 107.1-01 (septiembre 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS PRIMO
AFCI y NBC 2014	SI
Desconexión de CD	SI
Protección contra polaridad inversa de CD	SI
Protección contra fallas de tierra con interruptor de asessor de aislamiento	SI

INTERFACES	ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS PRIMO
Wi-Fi/Ethernet/Serial	Estándar inalámbrico 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU
6 entradas y 4 E/S digitales	Administración de carga, señales, E/S multiusos
USB (Socket)	Actualización de software y datalogging vía USB
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, protocolo de interface
Datalogger y servidor web	Incluidos

* El término Wi-Fi es una marca registrada de la Alianza Wi-Fi

DATOS TÉCNICOS

DATOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Potencia PV recomendada (kWp)	3.0 - 6.0 kW	4.0 - 7.8 kW	4.8 - 9.3 kW	6.1 - 11.7 kW	6.6 - 12.7 kW
Corriente máxima de entrada utilizable (MPPT 1 / MPPT 2)			18 A / 18 A		
CD total máxima			36 A		
Arreglo máximo de corriente de corto circuito (1.25 Imax) (MPPT 1/MPPT 2)			22.5 A / 22.5 A		
Rango de voltaje operacional			80 V* - 600 V		
Voltaje de entrada máximo			600 V		
Voltaje nominal de entrada	410 V		420 V		
Tamaño admisible de conductor de CD			AAWG 14 - AWG 6		
Rango de voltaje MPP	200 - 480 V	240 - 480 V		250 - 480 V	270 - 480 V
Número de MPPT			2		

* Comenzando con el número de serie 26170960, anterior: 150 V

DATOS DE SALIDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Potencia máxima de salida	208	3800 W	5000 W	6000 W	7900 W
	240	3800 W	5000 W	6000 W	8200 W
Corriente continua máxima de salida	208	18.3 A	24.0 A	28.8 A	36.5 A
	240	15.8 A	20.8 A	25.0 A	31.7 A
Capacidad de interruptor de CA	208	23 A	30 A	40 A	50 A
	240	20 A	30 A	35 A	45 A
Eficiencia máxima		96.7 %		98.9 %	97.0 %
Eficiencia CEC		95.0 %	95.5 %		96.0 %
Tamaño admisible de conductor de CA				AWG 14 - AWG 6	
Conexión a red (U _m)				208 / 240	
Frecuencia (f)				60 Hz	
Distorsión armónica total				< 5.0 %	
Factor de potencia (cos φ _m) predeterminado				1 (ajustable en menú oculto 0.85 - 1 ind./cap.)	

DATOS DE ENTRADA	PRIMO 10.0-1	PRIMO 11.4-1	PRIMO 12.5-1	PRIMO 15.0-1
Potencia PV recomendada (kWp)	8.0 - 12.0 kW	9.1 - 13.7 kW	10.0 - 15.0 kW	12.0 - 18.0 kW
Corriente máxima de entrada utilizable (MPPT 1 / MPPT 2)			33.0 A / 18.0 A	
CD total máxima			51 A	
Arreglo máximo de corriente de corto circuito (1.25 Imax) (MPPT 1/MPPT 2)			41.3 A / 22.5 A	
Rango de voltaje operacional			80 V - 600 V	
Voltaje de entrada máximo			600 V	
Voltaje nominal de entrada	415 V	420 V	425 V	440 V
Tamaño admisible de conductor de CD	AWG 14 - AWG 6 cobre directo, AWG 6 aluminio directo (AWG 10 cobre o AWG 8 aluminio para dispositivos protectores de sobrecorriente de hasta 60 A, de 61 a 100 A mínimo AWG 8 para cobre o AWG 6 aluminio debe ser usado), AWG 4 - AWG 2 cobre o aluminio con combinator de entradas opcional			
Rango de voltaje MPP	220 - 480 V	240 - 480 V	260 - 480 V	320 - 480 V
Número de MPPT			2	

DATOS DE SALIDA	PRIMO 10.0-1	PRIMO 11.4-1	PRIMO 12.5-1	PRIMO 15.0-1
Potencia máxima de salida	208	9995 W	11400 W	12500 W
	240	9995 W	11400 W	15000 W
Corriente continua máxima de salida	208	48.1 A	47.5 A	60.1 A
	240	41.6 A	54.8 A	52.1 A
Capacidad de interruptor de CA	208	70 A		70 A
	240	60 A		35 A
Eficiencia máxima			96.7 %	
Eficiencia CEC		96.0 %		96.5 %
Tamaño admisible de conductor de CA	AWG 10 - AWG 2 cobre (sólido / trenzado / trenzado fijo) (AWG 10 cobre o AWG 8 aluminio para dispositivos protectores de sobrecorriente de hasta 60 A, de 61 a 100 A mínimo AWG 8 para cobre o AWG 6 aluminio debe ser usado), AWG 6 - AWG 2 cobre (sólido / trenzado) Cableado multi contacto es posible con AWG 12			
Conexión a red (U _m)			208 / 240	
Frecuencia (f)			60 Hz	
Distorsión armónica total			< 2.5 %	
Factor de potencia (cos φ _m) predeterminado			1 (ajustable en menú oculto 0.85 - 1 ind./cap.)	

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES DIVISIONES CON UNA MISMA PASIÓN: SUPERAR LÍMITES.

/ No importa si se trata de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica o tecnología de carga de baterías, nuestra exigencia está claramente definida: ser líder en innovación. Con nuestros más de 3,000 empleados en todo el mundo superamos los límites y nuestras más de 1,000 patentes concebidas son la mejor prueba. Otros se desarrollan paso a paso. Nosotros siempre damos saltos de gigante. Siempre ha sido así. El uso responsable de nuestros recursos constituye la base de nuestra actitud empresarial.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo, visite www.fronius.com

Fronius México S.A. de C.V.
Fronius Monterrey
Carretera Monterrey Saltillo 3279E
66367 Santa Catarina, N.L.
México
Teléfono +52 81 8882 8200
ventas.mexico@fronius.com
www.fronius.mx

Fronius Puebla
Calle 4 Pte. 2904, Col. Amor
72140 Puebla, Puebla
México
Teléfono +52 222 268 7664
ventas.mexico@fronius.com

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
Teléfono +43 7242 241-0
Fax +43 7242 241-3940
sales@fronius.com
www.fronius.com

Anexo 13.

Hoja de datos del FRONIUS DATAMANAGER 2.0

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging


FRONIUS DATAMANAGER 2.0

/ The integrated wireless datalogger for all applications




/ The Fronius Datamanager is the communications networking centre of Fronius inverters. When the card is connected to the Internet through a LAN or wireless connection, the Fronius Datamanager sends PV system data directly to the Fronius Solar.web monitoring portal. This gives you an overview of how your system is operating at all times. Both the PV system and the Datamanager configuration are monitored by the dedicated web server built into the Fronius Datamanager. Several integrated interfaces, including Modbus RTU SunSpec, Modbus TCP SunSpec and Fronius Solar API (JSON, for actual values), allow Fronius inverters to be seamlessly incorporated into third-party systems and monitored in parallel with Fronius Solar.web.

FRONIUS DATAMANAGER 2.0 AND FRONIUS DATAMANAGER BOX 2.0

TECHNICAL DATA	DATAMANAGER 2.0	DATAMANAGER BOX 2.0
Storage capacity	max. 4096 days	
Supply voltage	12 V DC Power supplied by inverter	12 V DC Power is supplied by the Fronius Solar.Net ring or an external plug-in power supply (not included in the scope of supply)
Energy consumption	< 2.0 W	
Protection class	N/A	IP 20
Dimensions	132 x 103 x 22 mm	190 x 114 x 53 mm
Operating temperature range	-20 to 65°C	

INTERFACES	DATAMANAGER 2.0	DATAMANAGER BOX 2.0
Ethernet (RJ45 socket)	LAN, 10/100 MBit / Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar.Net IN	
RS422 (RJ45 socket)	N/A	Fronius Solar.Net OUT
WLAN	Wireless standard 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
6 digital inputs	Interface to ripple control receiver	
4 digital inputs/outputs	Interface to ripple control receiver, load management	
RS485 ¹⁾	Modbus RTU SunSpec or meter connection	

¹⁾ This applies to all Fronius inverters (except the Fronius Symo Hybrid).

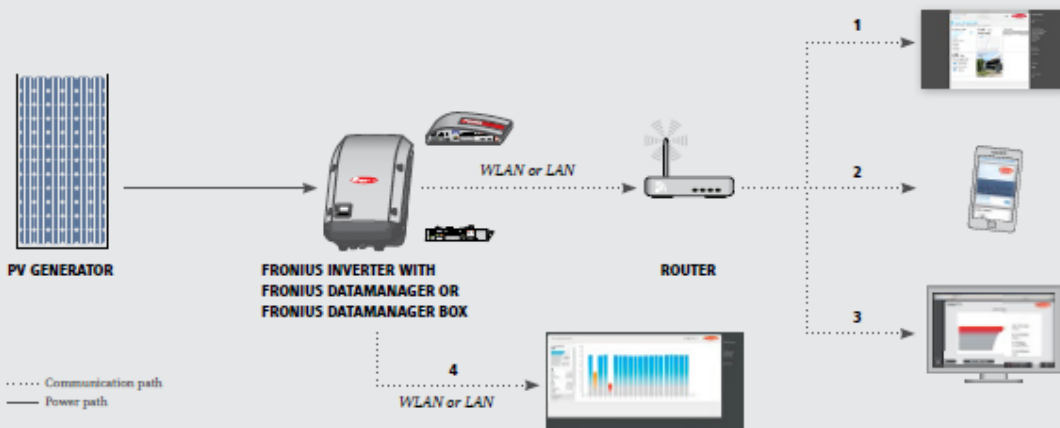
THE ADVANTAGES AT A GLANCE

- / Professional monitoring and data presentation with the cloud-based platform, Fronius Solar.web.
- / Easy installation with the commissioning wizard, installers can wirelessly connect to the Fronius Datamanager using their laptop/ smart device to easily configure monitoring and register the PV system on Fronius Solar.web.
- / Straightforward support as the Fronius Datamanager directly connects the inverter to Fronius Solar.web.



/ Fronius Datamanager Box 2.0

SIMPLE VISUALISATION



1. FRONIUS SOLAR.WEB

If required, all data can be sent automatically to the Fronius Solar.web internet platform. Both real-time and archived data can be viewed and evaluated at any time via the internet.

2. FRONIUS SOLAR.WEB APP

The mobile version of Fronius Solar.web enables you to keep track of the energy yield of your PV system at all times – even when you're on the road.

3. FRONIUS SOLAR.TV

The free Fronius Solar.TV online tool enables various PV system values to be transmitted and displayed attractively and in a concise way in public spaces.

4. FRONIUS DATAMANAGER WEBSITE: VIA LAN OR WLAN

The Fronius Datamanager has a dedicated website to allow users on a local network to access information quickly and easily.

More information about technical requirements can be found in the respective datasheet.

- / Only one Fronius Datamanager is required for photovoltaic systems consisting of multiple inverters. A Com Card function (integrated or with a Fronius Com Card) is required in each of the other inverters. A Com Card function is not required in photovoltaic systems that have only a single inverter.
- / Fronius Datamanager 2.0 is compatible with all Fronius inverters. The Fronius Datamanager is integrated into the Fronius Symo, Fronius Primo and Fronius Galvo inverters (Advanced models) as standard. Fronius Datamanager can be retrofitted into existing inverters whenever required. Different versions of the Fronius Datamanager are compatible with different types of inverters. Ensure that you are using the appropriate version for your inverters.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,700 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 800 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

v06 Apr 2016 EN

Fronius Canada Ltd.
2875 Argentea Road, Units 4, 5 & 6
Mississauga, ON L5N 8G6
Canada
pv-sales-canada@fronius.com
www.fronius.ca
905-288-2100

Anexo 14.

Hoja de datos del Fronius sensor card/box

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SENSOR CARD / BOX

/ Measuring additional values



/ With the Fronius Sensor Card / Box, up to six sensors for measuring insolation, ambient temperature, module temperature, wind speed, etc. can be integrated into the Fronius DATCOM system. Using the insolation and module temperature data, you are able to check your PV system and quickly identify anomalies in the system output to keep performance at a consistently high level. You can choose between a box and a card.

OVERVIEW OF THE MEASURING SIGNAL INPUTS



..... Communication path
—— Power path

The Fronius Sensor Card / Box offers inputs for up to six measuring signals.

- / Two analogue inputs for two temperature sensors
- / One analogue input for evaluating a voltage signal (e.g. an insolation sensor)
- / Two digital inputs, e.g. for an energy meter and a wind speed sensor
- / One analogue input for evaluating a current signal (0 to 20 mA, 4 to 20 mA)

In addition to the Fronius Sensor Card / Box, a Fronius Datamanager is required for evaluating the data. This is either fitted as standard in the inverter or can be easily retrofitted.

FRONIUS SENSOR CARD / BOX TECHNICAL DATA

TECHNICAL DATA				
Supply voltage	12 V DC	Degree of protection (Box)	IP 20	
Energy consumption		Interfaces (Fronius Sensor Box only)	Socket:	Designation:
- Fronius Sensor Card	1.1 W	- RS422 (Fronius Solar Net)	RJ45	+IN+
- Fronius Sensor Box	1.3 W	- RS422 (Fronius Solar Net)	RJ45	+OUT+
T1, T2 channels		D1, D2 channels		
- Sensors	PT1000	- Max. voltage level	5.5 V	
- Measuring range	-25 - +75°C	- Max. frequency	2,500 Hz	
- Accuracy	0.5°C	- Min. pulse duration	250 µs	
- Resolution	1°C	- Operating point +OFF+ (+LOW+)	0 - 0.5 V	
		- Operating point +ON+ (+HIGH+)	3 - 5.5 V	
Insolation channel		Current input channel		
- Measuring ranges	0 - 100 mV 0 - 200 mV 0 - 1 V	- Measuring ranges	0 - 20 mA 4 - 20 mA	
- Accuracy	3% from meter reading	- Accuracy	5% from meter reading	
Dimensions (length x width x height)		Dimensions (length x width x height)		
- Fronius Sensor Card	140 x 100 x 26 mm	- Fronius Sensor Box	197 x 110 x 57 mm	

FRONIUS SENSORS

Fronius provides ready-made sensors for measuring insolation, ambient temperature, module temperature and wind speed. These, combined with the Fronius Sensor Card / Box and Fronius Solar.web, allow for a target/actual comparison of the system output. Up to six sensors can be connected to each Fronius Sensor Card / Box and integrated into the Fronius DATCOM system.



FRONIUS INSOLATION SENSOR

/ For measuring the radiated energy.



FRONIUS MODULE TEMPERATURE SENSOR

/ For measuring the module temperature.



FRONIUS AMBIENT TEMPERATURE SENSOR

/ For measuring the ambient temperature.



FRONIUS WIND SPEED SENSOR

/ For measuring the wind speed.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology - our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,000 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 1,000 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

v03 Jul 2014 EN

Fronius India Private Limited
GAT no 312, Nanekarwadi
Chakan, Taluka - Khed District
Pune 410501
India
pv-sales-india@fronius.com
www.fronius.in

Fronius Australia Pty Ltd.
90-92 Lambeck Drive
Tullamarine VIC 3043
Australia
pv-sales-australia@fronius.com
www.fronius.com.au


Fronius UK Limited
Midstone Road, Kingston
Milton Keynes, MK10 0BD
United Kingdom
pv-sales-uk@fronius.com
www.fronius.co.uk

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Anexo 15.

Hoja de datos del FRONIUS Smart Meter US-240V

FRONIUS SMART METER OVERVIEW




	FRONIUS SMART METER TS 100A-1	FRONIUS SMART METER TS 65A-3	FRONIUS SMART METER UL 240 V-3	FRONIUS SMART METER UL 480 V-3	FRONIUS SMART METER TS 5KA-3	FRONIUS SMART METER 50KA-3
Article No	43,0001,0045	43,0001,0044	43,0001,3529	43,0001,3530	43,0001,0046	43,0001,1478
Phases	Single Phase	Three Phase	Single Phase	Three Phase	Single, Two & Three Phase	Single, Two & Three Phase
CT's Required*	N/A	N/A	1 x 0.333V	3 x 0.333V	1/2/3 x 5A	1/2/3 x 5A
100A			42,0449,0097	42,0449,0097	42,0449,0046	42,0449,0046
150A			42,0449,0098	42,0449,0098		
250A			42,0449,0099	42,0449,0099	42,0449,0085	42,0449,0085
400A			42,0449,0100	42,0449,0100	42,0449,0073	42,0449,0073
Export Limitation	-	-	-	-	-	-
Energy Management Relay	-	-	-	-	-	-
Gen24 Plus / Hybrid	-	-	-	-	-	-
SnapInverter	-	-	-	-	-	-
Ohmpilot	-	-	-	-	-	-
AC Connection	Direct Connection	Direct Connection	6A Single Phase MCB	6A Three Phase MCB	6A Three Phase MCB	6A Three Phase MCB
Datamanager Firmware	3.15.X	3.15.X		3.12.X	3.15.X	3.07.X
Dimensions (W x H x D)	36 x 92 x 60 mm	54 x 92 x 60 mm	143 x 85 x 38 mm	143 x 85 x 38 mm	54 x 92 x 60 mm	89 x 71 x 66 mm
Mounting	Din Rail	Din Rail	Threaded Fastener	Threaded Fastener	Din Rail	Din Rail


*Other CT sizes available upon request. - = compatible for

GAIN EXPERT KNOWLEDGE DIRECTLY FROM THE MANUFACTURER

The complexity and professionalism of our industry is constantly growing. To be successful it is becoming increasingly important to stand apart from the competition with your PV and energy system expertise. That is why we have a range of courses to guide you through the energy revolution.

Our trainers are all experienced employees with a technical background and know our products and the market inside and out. We regularly run our structured, hands-on training courses, but we can also offer bespoke training courses to suit your requirements - on-site or at our training facility in Milton Keynes.





CONTACT US



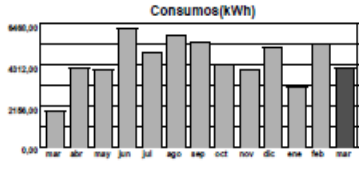
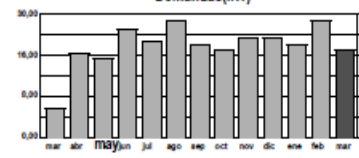

pv-training-uk@fronius.com

For more information, visit www.froniustraining.co.uk, call us on +44(0)1908 512 300 or email pv-training-uk@fronius.com.

You can also find all our upcoming webinars on our website to further boost your knowledge.

Anexo 16.

Factura de consumo eléctrico del lugar de estudio

 <p>EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A. Ha energía somos todos!</p>	Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. Matriz: Rocafuerte 162-26 y Olmedo Ruc: 1190005646001 Contribuyente especial, resolución No. 209 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD	Nro. factura: 001-003-004081438 Nro. doc. interno: 3131307490 Fecha de emisión: 01-03-2023 Fecha de vencimiento: 31-03-2023 Número de autorización: 0103202301119000564600120010030040814380199981311																																																		
	 K200026208161																																																			
Información del Consumidor		VALOR TOTAL: 379,71																																																		
CUENTA CONTRATO 200026208161																																																				
Razón social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA (DE LOJA UNIVERSIDAD NACIONAL) RUC: 1160001720001 Celular: 0996967612 Correo Electrónico: subdireccion.tesoreria@unl.edu.ec Dirección del servicio: PIO JARAMILLO ALVARADO REINALDO ESPINOZA / SAN SEBASTIÁN - LOJA	Código Único Eléctrico: 1800100347 Tipo de tarifa: ARCERNNR Geocódigo: 1801E001000011	BTGCGD05 - BT Beneficio Público con Demanda Unidad de Lectura: 1801E001																																																		
1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público																																																				
Número de medidor: 32500 Tipo de consumo: leído Fecha desde: 02-02-2023	Dias facturados: 28 Fecha hasta: 01-03-2023	Factor de potencia (FP): 0,9927 Penalización bajo FP: 0,0000																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Fecha Hasta</th> <th>Lectura Actual</th> <th>Lectura Anterior</th> <th>Diferencia Consumo</th> <th>Consumo Subtotal</th> <th>Consumo Interno Transformador</th> <th>Consumo Total</th> <th>Unidad Medida</th> <th>Monto (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energía activa total</td> <td>01-03-2023</td> <td>902755,00</td> <td>899642,00</td> <td>0,00</td> <td>4113,00</td> <td>0,00</td> <td>4113,00</td> <td>kWh</td> <td>267,35</td> </tr> <tr> <td>Energía reactiva total</td> <td>01-03-2023</td> <td>226889,00</td> <td>226388,00</td> <td>0,00</td> <td>501,00</td> <td>0,00</td> <td>501,00</td> <td>kVarh</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda máx. total</td> <td>01-03-2023</td> <td>21,00</td> <td></td> <td>0,00</td> <td>21,00</td> <td>0,00</td> <td>21,00</td> <td>kW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demanda facturable</td> <td>01-03-2023</td> <td>21,00</td> <td></td> <td>0,00</td> <td>21,00</td> <td>0,00</td> <td>21,00</td> <td>kW</td> <td>63,00</td> </tr> </tbody> </table>			Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)	Energía activa total	01-03-2023	902755,00	899642,00	0,00	4113,00	0,00	4113,00	kWh	267,35	Energía reactiva total	01-03-2023	226889,00	226388,00	0,00	501,00	0,00	501,00	kVarh		Demanda máx. total	01-03-2023	21,00		0,00	21,00	0,00	21,00	kW		Demanda facturable	01-03-2023	21,00		0,00	21,00	0,00	21,00	kW	63,00
Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)																																											
Energía activa total	01-03-2023	902755,00	899642,00	0,00	4113,00	0,00	4113,00	kWh	267,35																																											
Energía reactiva total	01-03-2023	226889,00	226388,00	0,00	501,00	0,00	501,00	kVarh																																												
Demanda máx. total	01-03-2023	21,00		0,00	21,00	0,00	21,00	kW																																												
Demanda facturable	01-03-2023	21,00		0,00	21,00	0,00	21,00	kW	63,00																																											
2. Valores Pendientes VALORES PENDIENTES (2) 0,00																																																				
		Servicio Eléctrico y Alumbrado Público Valor Consumo: 267,35 Comercialización: 1,41 Valor Demanda: 63,00 Subtotal Servicio Eléctrico (SE): 331,76 Servicio Alumbrado Público General: 47,95 Subtotal Alumbrado Público (APG): 47,95 Base I.V.A. 0%: 379,71 I.V.A. 0%: 0,00 TOTAL SE Y APG (1): 379,71																																																		
3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor PLANES DE FINANCIAMIENTO (3) 0,00																																																				
																																																				
																																																				
Formas de Pago																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>FORMA DE PAGO</th> <th>VALOR</th> <th>PLAZO</th> <th>TIEMPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO</td> <td>379,71</td> <td>30</td> <td>días</td> </tr> </tbody> </table>	FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO	SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	379,71	30	días	Subsidios del Gobierno Subsidio Tarifa Eléctrica: 442,55- TOTAL: 442,55-	TOTAL (A) Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1): 379,71 Valores Pendientes (2): 0,00 Planes de Financiamiento (3): 0,00 TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (1+2+3): 379,71																																										
FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO																																																	
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	379,71	30	días																																																	
Mensajes																																																				
Recaudación Terceros																																																				
ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA																																																				

Anexo 17.

Vista aérea de los doce módulos instalados



Anexo 18.

Bitácora del registro de instalación del sistema fotovoltaico

REGISTRO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

A continuación, se presenta un registro minucioso de cada etapa del proceso de instalación del Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico, donde cada paso ha sido meticulosamente documentado para ofrecer una visión completa de este procedimiento.

UBICACIÓN

El bloque #3 de la FEIRNNR de la UNL ha sido designado como el sitio donde se realizará la implementación del Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico.



ADECUACIÓN

Se seleccionó cuidadosamente el área para la instalación del SAFV, y antes de proceder, se llevó a cabo la limpieza y la impermeabilización de la loza para prevenir la acumulación de agua.



SOPORTES

Durante la instalación de las bases y la estructura de soporte para los paneles solares, se garantiza que cada base mantenga una distancia adecuada para soportar el peso de los paneles. Además, se considera cuidadosamente la altura para asegurar que los paneles solares adquieran una inclinación óptima de 10 grados. Este enfoque se implementa para maximizar la captación de luz solar y optimizar la eficiencia del sistema fotovoltaico.



MONTAJE

El montaje de los paneles solares se lleva a cabo con meticuloso cuidado, especialmente debido al delicado material de vidrio que los recubre, por ello se implementan medidas de precaución adicionales para garantizar que no se produzcan daños durante este proceso.



CONEXIÓN

Tras la instalación de los paneles solares, se procede a conectar los conectores de tipo MC4 de cada panel en serie. Este método de conexión en serie implica que el terminal positivo de un panel se conecta al terminal negativo del panel adyacente, y así sucesivamente, formando una cadena continua de paneles.



CABLEADO

Para esta etapa se empleó Tubería Conduit Metálica (EMT) de media pulgada para cubrir el cableado y garantizar conexiones seguras. Esta tubería se utilizó como conducto para el tendido de cables, proporcionando protección contra daños mecánicos y ambientales.



INVERSOR

Para proceder con la instalación y aseguramiento adecuado del inversor de red Fronius 3.8, se debe desarmar siguiendo las instrucciones proporcionadas en la documentación oficial. Este proceso de desmontaje es fundamental para garantizar una instalación correcta y segura del inversor, asegurando que cada componente se ubique correctamente y que se realicen las conexiones eléctricas de manera adecuada.

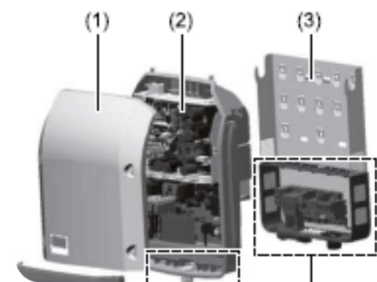


INVERSOR

Construcción del equipo:

- (1) Tapa de la caja
- (2) Inversor
- (3) Soporte de fijación

El proceso de desmontaje del inversor de red implica separarlo hasta obtener únicamente el soporte de fijación (3) necesario para su instalación.



INVERSOR

El proceso de desmontaje no es complicado, sin embargo, es importante seguir los pasos detallados por el fabricante para obtener el soporte de fijación requerido.



INVERSOR

Durante la instalación del soporte de fijación del inversor de red, se debe asegurar que esté firmemente sujeto a la estructura de montaje previamente preparada, es importante verificar que el soporte esté nivelado y correctamente alineado para garantizar su funcionamiento óptimo.



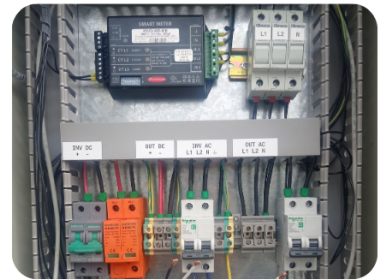
CAJA DE BREAKERS

Después de haber instalado el soporte de fijación, se continúa con la instalación de una caja adicional, la cual nos permitirá la instalación de los breakers de seguridad y otros componentes eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.



CAJA DE BREAKERS

Dentro de esta caja, además de los breakers, se realiza la instalación del medidor inteligente Fronius, el cual cumple la función de registrar y monitorear el flujo de energía generada por el sistema fotovoltaico y la distribución de energía eléctrica dentro del edificio.



MEDIDOR INTELIGENTE

Para el medidor inteligente, la conexión es sencilla del medidor inteligente: distribución de energía eléctrica a la derecha, incluyendo tierra, neutro y 2 fases para sistemas bifásicos, y conexión del sistema fotovoltaico a la izquierda.



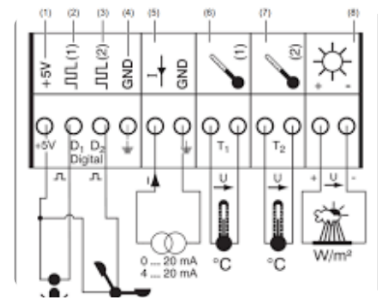
CAJA DE SENSORES

Se realiza el montaje de la caja de sensores, la cual requiere alimentación de 12 V. Esta caja tiene la función de recolectar información de los sensores y transmitir estos datos al inversor de red.



CAJA DE SENSORES

El diagrama de conexiones de sensores incluye 8 entradas, uno destinado para la alimentación de +5V, dos para tierra y los demás para la conexión de canales digitales para la entrada de los sensores.



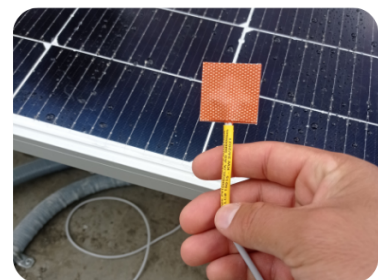
SENSOR DE IRRADIACIÓN

Este sensor se asegura en uno de los módulos solares y se conecta en la entrada 8 de la caja de sensores, teniendo en cuenta las entradas positiva (+) y negativa (-) del sensor.



SENSOR DE TEMPERATURA DE MÓDULO

Este sensor viene con una goma adhesiva y se coloca en la parte posterior de cualquier módulo solar. Luego, se conecta en cualquiera de las entradas 6 o 7 de la caja de sensores, sin necesidad de preocuparse por la polaridad.



SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE

Este sensor se ha ubicado fuera de la caja de sensores, al igual que el sensor de temperatura del módulo, y se conecta en cualquiera de las entradas 6 o 7 de la caja de sensores, sin necesidad de preocuparse por la polaridad.



SENSOR DE VELOCIDAD DE VIENTO

Este sensor es un anemómetro diseñado para medir la velocidad del viento. Se ha instalado a una altura aproximada de 8 metros para obtener lecturas más precisas. Se conecta en el pin 3 junto con la alimentación del pin 1.

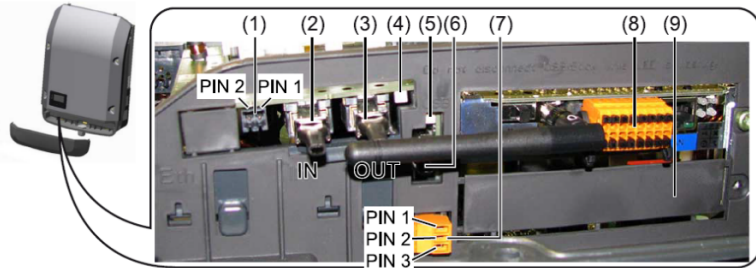


SENSOR DE CORRIENTE ALTERNA

El sensor de corriente alterna, cuya función es medir la corriente eléctrica que fluye a través del conductor, en este caso de la L1 y L2 al tratarse de un sistema bifásico, se conecta en la entrada 5 de la caja de sensores, sin necesidad de considerar sus polaridades.



ZONA DE COMUNICACIÓN DE DATOS



- (1) Interfaz de corriente multifuncional conmutable.
 - Pin 1 = Entrada de medición: máx. 20 mA, 100 ohmios de resistencia de medición (carga aparente)
 - Pin 2 = Máx. corriente de cortocircuito 15 mA, máx. tensión de marcha sin carga 16 V CC o GND
- (2) Conexión Fronius Solar Net / Protocolo de interfaz IN
- (3) Conexión Fronius Solar Net / Protocolo de interfaz OUT
 - "Fronius Solar Net" / Protocolo de interfaz de entrada y salida para la conexión con otros componentes DATCOM (p. ej. inversor, Fronius Sensor Box, etc.)
- (4) LED "Fronius Solar Net"
 - Indica si la alimentación principal de Fronius Solar Net se encuentra disponible.
- (5) LED "Transmisión de datos"
 - Parpadea durante el acceso a la memoria USB. En este tiempo no debe quitarse la memoria USB.
- (6) Puerto USB A
 - La memoria USB se puede utilizar como Datalogger para el inversor al cual ha sido conectada. La memoria USB no forma parte del volumen de suministro del inversor.
- (7) Contacto de conmutación libre de potencial (relé) con conector opuesto
 - Pin 1 = Contacto de cierre (Normally Open)
 - Pin 2 = Posición de la raíz (Common)
 - Pin 3 = Contacto de apertura (Normally Closed)
- (8) Fronius Datamanager 2.0
 - Integrada antena WLAN o cubierta para el compartimento de tarjetas opcionales.
- (9) Cubierta para el compartimento de tarjetas opcionales

Fuente: (Fronius International GmbH, 2022)

MONTAJE DE INVERSOR

Una vez que los sensores están instalados, se lleva a cabo la colocación y ensamblaje del inversor en la ubicación previamente preparada, donde se instaló el soporte.



CONEXIÓN CON RED ELECTRICA

La conexión del inversor a la red eléctrica es un paso importante y se realiza siguiendo las normativas y estándares establecidos. Generalmente, este proceso implica la supervisión de un profesional cualificado para garantizar su correcta realización.



CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO

La conexión del inversor a la red eléctrica es un paso importante y se realiza siguiendo las normativas y estándares establecidos. Generalmente, este proceso implica la supervisión de un profesional cualificado para garantizar su correcta realización.

Conmutar el equipo al modo de servicio

- Activar el punto de acceso inalámbrico a través del menú de configuración del inversor

- El inversor establece el punto de acceso inalámbrico. El punto de acceso inalámbrico permanece abierto durante 1 hora. El interruptor IP en el Fronius Datamanager 2.0 puede permanecer en la posición de interruptor B gracias a la activación del punto de acceso inalámbrico.

- Instalación mediante navegador web

Conectar el dispositivo final al WLAN Access Point

SSID = FRONIUS_240.xxxxx (5-8dígitos)

- Buscar una red con el nombre "FRONIUS_240.xxxxx"

- Establecer la conexión con esta red

- Introducir la contraseña desde la pantalla del inversor (o conectar el dispositivo final y el inversor mediante un cable de Ethernet)

Introducir en el navegador:

<http://datamanager> o 192.168.250.181 (dirección IP para la conexión inalámbrica) o 169.254.0.180 (dirección IP para la conexión LAN)



CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO



Se muestra la página de inicio del asistente de puesta en marcha

El asistente técnico está previsto para el instalador e incluye ajustes específicos según las normas. La ejecución del asistente técnico es opcional.

Si se ejecuta el asistente técnico, es imprescindible apuntar la contraseña de servicio asignada. Esta contraseña de servicio se requiere para el ajuste del punto de menú "Editor de la empresa suministradora de energía".

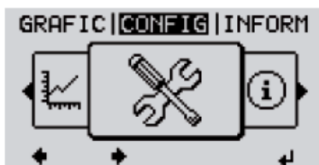
Si no se ejecuta el asistente técnico, no hay ninguna especificación ajustada para la reducción de potencia.

¡Es obligatorio ejecutar el asistente de Fronius Solar.web!

-Ejecutar el asistente de Fronius Solar.web y seguir las instrucciones

Se muestra la página de inicio de Fronius Solar.web. o se muestra la página web del Fronius Datamanager 2.0.

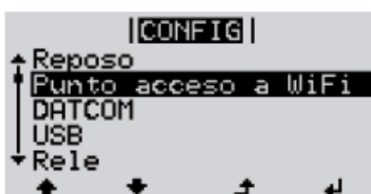
-Cuando sea necesario debe ponerse en marcha el asistente técnico y seguir las instrucciones



-Seleccionar con las teclas "Izquierda" o "Derecha" ← → el punto de menú "CONFIGURACIÓN" en el nivel del menú

-Pulsar la tecla ↵ "Enter"

-Se muestra el primer registro del punto de menú CONFIGURACIÓN: "Reposo"

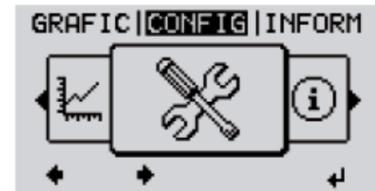


-Hojea con las teclas "Arriba" o "Abajo" ↑ ↓ entre los registros disponibles

CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO

-Pulsar la tecla "Volver" ↵ para salir de un registro
Se muestra el nivel del menú

Si durante 2 minutos no se pulsa ninguna tecla,
- el inversor cambia desde cualquier posición dentro del nivel del menú al punto de menú "AHORA" (excepción: el registro de menú de configuración "Reposo"),
- se apaga la iluminación de la pantalla.
- Se muestra la potencia de alimentación actualmente suministrada.



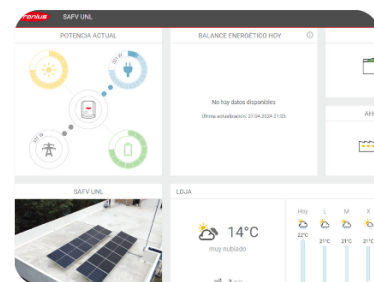
FUNCIONAMIENTO

Una vez que el sistema está configurado y puesto en marcha, comenzará a captar energía solar y a convertirla en energía alterna. Podrás observar la cantidad de energía generada en la pequeña pantalla del inversor.



MONITOREO

En la página web de SolarWeb, el elemento principal es el sistema de monitoreo que permite verificar el funcionamiento del sistema. Aquí se pueden ver mensajes de error o fallos que puedan surgir, además de visualizar en tiempo real la producción fotovoltaica y los datos de los sensores.



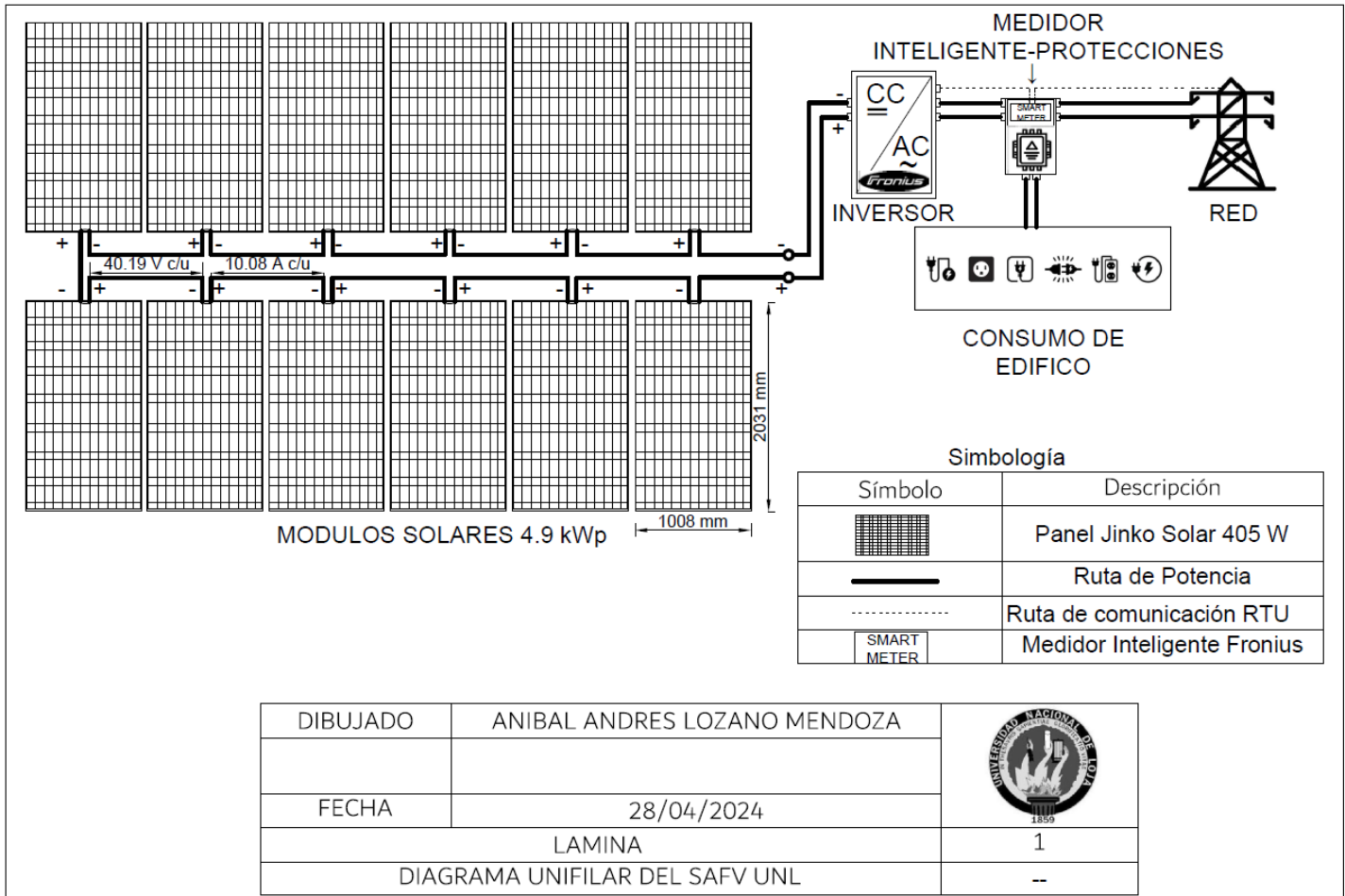
MANTENIMIENTO

Es esencial el mantenimiento del sistema de forma continua para poder corregir los desperfectos a tiempo. Una labor importante consiste en limpiar los paneles, ya que con el tiempo se acumula polvo y suciedad, lo cual puede impactar el funcionamiento del sistema y acortar su durabilidad.



Anexo 19.

Diagrama unifilar del sistema de autoconsumo fotovoltaico instalado



Anexo 20.

Cotización con los costos de cada uno de los productos instalados

Cotización

Fecha: 23/06/2022 11:06:40

RENOVAENERGIA S.A.

RUC: 1792187567001

Pasaje S. Melo OE1-37 y Av. Galo Plaza Lazo

Quito - Ecuador

Tlf: (593 2) 2403643 Ext. 101 y 102

Celulares: 0987000710, 0987593688

Email: info@renova-energia.com

www.renova-energia.com

Proforma: RNV-OF-UIO-16557-05052022

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Ruc: 1160001720001

Dirección: Av. Pío Jaramillo Alvarado S/N

Email:

Teléfono: 072547252

Celular:

Oferta Económica

Equipo	Código y Modelo	Cantidad	P.Unitario	P. Con Iva	Subtotal	Total (+IVA)	
Paneles	MD157 - JINKO SOLAR Tiger Pro JKM405M-54HL4-V (Incluye estructura metálica)	12.00	\$382.47	\$382.47	\$4589.64	\$4589.64	
Inversores Red	IR015 - Fronius Primo 3.8-1 208-240 WLAN/LAN/Webserver 4,210,064,800	1.00	\$2714.89	\$3040.68	\$2714.89	\$3040.68	
Insumos Extras	MO082 - Fronius Irradiation sensor 43,0001,1189	1.00	\$688.00	\$770.56	\$688.00	\$770.56	
Insumos Extras	Fronius Sensor Box FRONIUS IG	1.00	\$818.00	\$916.16	\$818.00	\$916.16	
Insumos Extras	Fronius Smart Meter US-240V	1.00	\$876.00	\$981.12	\$876.00	\$981.12	
Insumos Extras	Split-Core AC Current Sensor SCT-	3.00	\$123.51	\$138.33	\$370.53	\$414.99	
Son: DIEZ MIL SETECIENTOS TRECE DOLARES 15/100					Totales	\$10057.06	\$10713.15

Anexo 21.

Certificación de traducción de Abstract

Loja, 29 de enero de 2024

Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS

CERTIFICO:

Yo, Karina Yajaira Martínez Luzuriaga con cédula de identidad Nro. 1104902679, **Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés** por la Universidad Técnica Particular de Loja, con número de registro 1031-2022-2574017 en la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, señalo que el presente documento es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación denominado **"ANÁLISIS Y REGISTRO DEL DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO DE 4.9 KWP PARA LA FEIRNNR DE LA UNL"** elaborado por el Sr. Aníbal Andrés Lozano Mendoza, con cédula de identidad Nro. 1105119034, estudiante egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja.



El código QR vincula al documento firmado por:
**KARINA YAJAIRA
MARTINEZ LUZURIAGA**

Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

C.I. 1104902679

REGISTRO SENESCYT N°: 1031-2022-2574017