

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red de
distribución en el Centro de Salud de Ñaupe**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Sandy Rashel Fernandez Morocho

ASESOR

Hugo Walter Mundaca Guerra

<https://orcid.org/0000-0002-8210-9581>

Chiclayo, 2025

**Diseño de un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red
de distribución en el Centro de Salud en Ñaupe**

PRESENTADA POR

Sandy Rashel Fernandez Morocho

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzáles Bazán

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Hugo Walter Mundaca Guerra

VOCAL

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres, personas de inmensa perseverancia y determinación, cuyo esfuerzo incansable les ha permitido alcanzar sus objetivos. Les agradezco por brindarme la oportunidad de crecer y formarme, confiando en mis habilidades y apoyándome en cada paso de mi desarrollo académico. A mi familia, por su unión y respaldo constantes en mi formación, siempre dispuestos a ofrecerme su apoyo y los mejores consejos.

Agradecimiento

Primero, agradezco a Dios por permitirme alcanzar este logro. A mi madre, por su amor incondicional y perseverancia, y a mi padre, por sus consejos y confianza. A mi familia, en especial a mis tías y a mi tío, por su apoyo constante; a mi hermana y mi prima, cuya alegría me inspira; y a mi abuela, por su experiencia y sabiduría. A mis docentes y a mi asesor universitario, por su dedicación y conocimiento que fortalecieron mi formación. Finalmente, a quienes, de manera indirecta, contribuyeron a mi desarrollo académico.

Diseño de un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red de distribución en el centro de salud de Ñaupe.

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	15%	6%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	es.everexceed.com Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
11	revistas.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen.....	11
Abstract.....	12
I. Introducción.....	13
1.1. Situación problemática.....	13
1.2. Planteamiento del problema.....	13
1.2.1. Justificación.....	14
1.2.2. Justificación tecnológica.....	14
1.2.3. Justificación económica.....	14
1.2.4. Justificación ambiental.....	14
1.2.5. Justificación social.....	14
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos.....	15
II. Marco teórico.....	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2.1. Energía solar.....	19
2.2.2. Energía solar en Perú.....	19
2.2.3. Radiación solar.....	19
2.2.4. Sistemas fotovoltaicos.....	19
2.2.5. Paneles fotovoltaicos.....	20
2.2.6. Componentes.....	21
2.2.6.1. Paneles solares.....	21
2.2.7. Inversor DC/AC.....	21
2.2.8. Regulador.....	22
2.2.9. Baterías.....	23
III. Metodología.....	24
3.1. Diseño de investigación.....	24
3.1.1. Tipo del diseño.....	24
3.1.2. Población y muestra.....	24
3.1.2.1. Población.....	24
3.1.2.2. Muestra.....	24
3.2. Métodos y técnicas de recolección de datos.....	24

3.3.	Diagrama de flujo.....	25
3.4.	Operacionalización de las variables	26
3.5.	Formulación de hipótesis	28
3.6.	Matriz de consistencia	29
IV.	Resultados y discusiones.....	31
4.1.	Definir el requerimiento de energía para abastecer el centro de salud y el concentrador de oxígeno	31
4.2.	Analizar la potencia solar en el distrito Olmos del centro poblado Ñaupe	42
4.2.1.	Ubicación del sistema fotovoltaico	42
4.2.2.	Potencial solar en Olmos Ñaupe	44
4.2.2.1.	Nasa Power	44
4.2.3.	Datos meteorológicos	44
4.2.4.	Datos meteorológicos del 2015-2022.....	45
4.3.	Diseñar el sistema fotovoltaico y conexión eléctrica al sistema eléctrico del centro de salud	48
4.3.1.	Paneles solares	48
4.3.1.1.	Hora solar pico	48
4.3.1.2.	Inclinación solar	48
4.3.1.3.	Altura solar.....	48
4.3.1.4.	Condiciones estándar de medida (STC)	49
4.3.1.5.	Tensión de circuito abierto del panel.....	50
4.3.1.6.	Corriente de cortocircuito del panel	51
4.3.1.7.	Número de paneles en serie	51
4.3.1.8.	Número mínimo de paneles en serie.....	51
4.3.1.9.	Energía generada por el panel.....	52
4.3.1.10.	Dimensionamientos de los paneles solares	52
4.3.1.10.1.	Cantidad de paneles solares	52
4.3.1.10.2.	Cantidad de paneles solares en paralelo	52
4.3.1.10.3.	Cantidad de paneles solares en serie	52
4.3.1.10.4.	Máxima tensión de entrada.....	52
4.3.1.11.	Protección contra sobretensiones (SPD).....	53
4.3.2.	Inversores.....	54
4.3.2.1.	Corriente de entrada máxima	55
4.3.2.2.	Comprobación de funcionamiento	55
4.3.2.3.	Potencia nominal del inversor.....	55
4.3.2.4.	Potencia de entrada del inversor.....	55

4.3.3.	Eficiencia del sistema fotovoltaico	56
4.3.4.	Simulación PV Syst.....	57
4.4.	Modelamiento del sistema de producción interconectado a la red	64
4.4.1.	Tablero de transferencia	65
4.4.2.	Corriente del sistema	66
4.4.3.	Calibre de los fusibles	66
4.4.3.1.	Protección sobre corriente.....	67
4.4.4.	Corriente total del sistema	67
4.4.4.1.	Protección AC	67
4.4.4.2.	Disyuntor del sistema	67
4.4.5.	Diagrama unifilar	68
4.4.6.	Calibre de conductores	72
4.4.6.1.	TRAMO 01: Módulo fotovoltaico con el inversor.....	72
4.4.6.1.1.	Corriente que circula.....	73
4.4.6.1.2.	Tensión máxima de la rama.....	73
4.4.6.1.3.	Sección del tramo 01	73
4.4.6.2.	TRAMO 02: El inversor hasta el medidor.....	73
4.4.6.2.1.	Corriente de salida del inversor	73
4.4.6.2.2.	Sección del tramo 02.....	74
4.4.7.	Caída de tensión	74
4.4.7.1.	Tramo 01.....	74
4.4.7.2.	Tramo 02.....	75
4.4.8.	Caída de tensión conectado a la red	76
4.5.	Evaluar el costo y beneficio del sistema fotovoltaico en el centro de salud José Elver Mío Taboada, ubicado en Ñaupe.....	83
4.5.1.	Presupuesto de la instalación eléctrica	83
4.5.2.	Análisis de costo beneficio	86
4.5.3.	Costo Nivelado de Energía (LCOE).....	91
V.	Conclusiones.....	93
VI.	Recomendaciones	94
	Referencia bibliográfica.....	95
	Anexos	100

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas fotovoltaicos.	20
Figura 2. Servicios autorizados.	31
Figura 3. Centro de salud José Elver Mío Taboada-Ñaupe	32
Figura 4. Vista de mapa satélite del centro de salud.	32
Figura 5. CNE REGLA 050-206.....	33
Figura 6. Datos del suministro del centro de Salud.....	34
Figura 7. Plano de ubicación de la instalación eléctrica.	41
Figura 8. Mapas de ubicación de Ñaupe-Olmos	44
Figura 9. Gráfico de temperaturas en el centro de salud desde el 2015-2022.	47
Figura 10. Dimensiones del panel solar.....	49
Figura 11. Diagrama de pérdidas.	62
Figura 12. Producción normalizada y factores de pérdida.....	63
Figura 13. Mapa energético minero del centro poblado Ñaupe.	64
Figura 14. Transformadores en C.P. Ñaupe.....	64
Figura 15. Interruptor de transferencia 63A.	66
Figura 16. Diagrama de conexión eléctrica.	68
Figura 17. Ubicación de los 10 paneles solares.	70
Figura 18. Diagrama unifilar.....	71
Figura 19. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2025.....	77
Figura 20. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2030.....	78
Figura 21. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2035.....	79
Figura 22. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2040.....	80
Figura 23. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2045.....	81

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Área del centro de salud.....	33
Tabla 2. Máxima demanda.....	35
Tabla 3. Resultados de máxima demanda.....	36
Tabla 4. Potencia instalada.	37
Tabla 5. Energía máx. diaria.	39
Tabla 6. Condiciones de referencia.....	42
Tabla 7. Medidas de la zona de instalación.	43
Tabla 8. Datos meteorológicos.....	44
Tabla 9. Resumen de los datos meteorológicos del 2015-2022.....	45
Tabla 10. Características térmicas del panel solar.	49
Tabla 11. Rendimiento eléctrico del panel solar.	50
Tabla 12. Dimensionamiento de paneles solares.	52
Tabla 13. Características del SPD.	53
Tabla 14. Datos de entrada DC del inversor.	54
Tabla 15. Datos de la ficha técnica del inversor.	56
Tabla 16. Comparación de cálculo teórico y simulación PV Syst.	61
Tabla 17. Características de tablero de transferencia.	65
Tabla 18. Distribución de cargas eléctricas.	69
Tabla 19. Características del cable conductor.....	72
Tabla 20. Datos de salida del inversor.....	74
Tabla 21. Datos de tramo 01.	75
Tabla 22. Datos tramo 02.....	75
Tabla 23. Resultados de DigSilent.	82
Tabla 24. Mantenimiento preventivo.	85
Tabla 25. Ahorro anual.	86
Tabla 26. Consumo mensual de energía.	87
Tabla 27. Datos para el beneficio/costo.....	88
Tabla 28. Flujo neto.....	89
Tabla 29. Fórmulas para el beneficio/costo.	90
Tabla 30. Resultado de beneficio/ costo.	90
Tabla 31. Fórmulas para el LCOE.....	91
Tabla 32. Cálculo para el costo Nivelado de Energía (LCOE).....	92

LISTADO DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Ubicación del centro poblado José Elmer Mío Taboada.....	42
Ilustración 2. Medida de la zona de instalación del sistema fotovoltaico.	43
Ilustración 3. DC SPD TIPO2.....	53
Ilustración 4. EverExceed EGH10K-10E.....	54
Ilustración 5. Pantalla principal de PvSyst	57
Ilustración 6. Base de datos de módulos fotovoltaicos.....	58
Ilustración 7. Base de datos del inversor.	58
Ilustración 8. Ubicación del centro de salud en PVsyst.....	59
Ilustración 9. Diagrama de recorridos solares.....	59
Ilustración 10. Parámetros del sitio geográfico.....	60
Ilustración 11. Configuración del sistema FV.	61

Resumen

La provisión constante y segura de oxígeno medicinal en centros de salud resulta esencial para garantizar el cuidado adecuado y la recuperación efectiva de pacientes en cualquier etapa de su vida [1]. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica que proporcione un suministro ininterrumpido de energía para cubrir toda la capacidad eléctrica del centro de salud José Elver Mio Taboada, priorizando el funcionamiento de los equipos vinculados a la provisión de oxígeno medicinal, incluso ante interrupciones del servicio convencional. Se realizó un análisis del recurso solar en Ñaupe, obteniendo una irradiancia normal directa de 1 419,4 kWh/m² y una altitud de 165 msnm, lo que respalda la viabilidad de emplear energía solar como fuente limpia y sostenible. La metodología incluyó la identificación de componentes del sistema, el desarrollo de un diseño eléctrico en CAD, y un análisis costo-beneficio para evaluar la factibilidad de su implementación. El centro de salud presenta una carga instalada de 10 045 W, y se propone la instalación de 10 paneles solares distribuidos en el techo del centro de salud. Asimismo, se validaron los resultados mediante simulaciones en el software PV Syst, comparándolos con datos teóricos. Se consideraron aspectos técnicos como el dimensionamiento del cableado para la conexión de los módulos al inversor y de este a la red eléctrica, así como los costos asociados a materiales, instalación y mano de obra, obteniendo así una evaluación integral de la propuesta.

Palabras claves: energía, paneles solares, generación híbrida, suministro de continuo de energía y sistema fotovoltaico.

Abstract

The consistent and safe provision of medical oxygen in healthcare centers is essential to ensure adequate care and effective recovery for patients at any stage of life [1]. This project aims to develop a grid-connected photovoltaic system that provides an uninterrupted power supply to cover the entire electrical capacity of the José Elver Mio Taboada Health Center, prioritizing the operation of the equipment linked to the provision of medical oxygen, even in the event of interruptions in conventional service. A solar resource analysis was conducted in Ñaupe, obtaining a direct normal irradiance of 1 419,4 kWh/m² and an altitude of 165 meters above sea level, which supports the viability of using solar energy as a clean and sustainable source. The methodology included the identification of system components, the development of an electrical design in CAD, and a cost-benefit analysis to evaluate the feasibility of its implementation. The health center has an installed load of 10 045 W, and the installation of 10 solar panels distributed on the health center's roof is proposed. The results were also validated through simulations using PV Syst software, comparing them with theoretical data. Technical aspects such as the sizing of the wiring for connecting the modules to the inverter and the inverter to the grid, as well as the costs associated with materials, installation, and labor, were considered, thus obtaining a comprehensive evaluation of the proposal.

Keywords: energy, solar panels, hybrid generation, continuous energy supply and photovoltaic system.

I. Introducción

1.1.Situación problemática

El Centro de Salud José Elver Mío Taboada, ubicado en Ñaupe, Olmos, Lambayeque, de categoría I-2, ofrece atención médica integral con servicios básicos y especializados. Brinda medicamentos, asistencia en partos, nutrición integral, prevención del cáncer, pruebas rápidas y servicios de rehabilitación. [2].

En 2020, se registró una alta tasa de ineficiencia del oxígeno debido a las complicaciones respiratorias causadas por el COVID-19 en varias regiones de Perú, como Arequipa, Lima, Madre de Dios, San Martín y Ucayali [3]. Por ello, es necesario producir oxígeno medicinal para pacientes en estado crítico, como los afectados por el COVID-19. Para la producción de oxígeno es crucial aprovechar fuentes de energía inagotables, como la luz solar, para satisfacer sus necesidades energéticas [4].

La zona rural de Olmos está equipada con más de 30 postes de media y baja tensión, junto con 21 establecimientos de salud distribuidos tanto en zonas urbanas como rurales. De estos, 2 están clasificados como centros de salud de categoría I-3, 8 como I-2 y el resto son de categoría I-1. Las intensas lluvias registradas recientemente provocaron el desbordamiento de ríos y quebradas, afectando el servicio eléctrico en el 80% de esta área. La empresa distribuidora de energía, Electronorte "ENSA", monitoreó aproximadamente 20 000 interrupciones de servicios debido a estos eventos [5].

El "Plan de Rehabilitación del Distrito de Olmos 2023-2025" aborda la ineficiencia del suministro eléctrico, afectando un 10,3% de viviendas y 21 centros de salud, agravado por lluvias que dañan infraestructura y empeoran condiciones sanitarias. Prioriza rehabilitar infraestructura sanitaria y asegurar servicios básicos. Se aprueba y notifica para su implementación y ejecución por las autoridades competentes [6].

1.2.Planteamiento del problema

Ante esto se plantea ¿Cómo se puede mejorar el suministro de energía en el centro de salud de manera ininterrumpida?

Esta tesis tiene como objetivo el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el Centro de Salud José Elver Mío Taboada, con el fin de producir oxígeno medicinal mediante concentradores a pesar de condiciones climáticas adversas como los fenómenos pluviales. Esto

implica definir el requerimiento de energía del centro de salud, incluyendo cargas especiales como dos concentradores de oxígeno de 15 l/m, considerando además el potencial energético del lugar a través de datos de irradiancia y características climatológicas obtenidos de NASA POWER entre 2015 y 2022, así como de atlas solares.

Adicionalmente, se diseñará el sistema fotovoltaico y la conexión eléctrica, seleccionando los datos técnicos de cada componente y realizando su cálculo teórico, además de simularlo en PV syst para una comparación. También se analizará el sistema de producción conectado a la red mediante generación distribuida, permitiendo inyectar energía en la red para su uso por otros usuarios en momentos de baja demanda. Por último, se llevará a cabo una evaluación del costo y beneficio asociado a la implementación de este sistema fotovoltaico.

1.2.1. Justificación

1.2.2. Justificación tecnológica

La mejora de la infraestructura energética con sistemas solares fotovoltaicos facilitará la instalación y operación de equipos médicos de última generación, optimizando la funcionalidad y monitoreo de los servicios de salud, y permitiendo una mayor capacidad tecnológica en las postas médicas locales.

1.2.3. Justificación económica

Generar oxígeno medicinal localmente mediante energía solar reducirá los gastos asociados con la adquisición y transporte de este, proporcionando a los residentes de Olmos un acceso más económico a este recurso vital, lo cual aliviará su carga financiera.

1.2.4. Justificación ambiental

El uso de energía solar disminuirá considerablemente las emisiones de carbono y la dependencia de fuentes de energía contaminantes, promoviendo prácticas sostenibles y ayudando a mitigar el impacto ambiental. Esto se alinea con los esfuerzos globales para combatir el cambio climático.

1.2.5. Justificación social

La instalación de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de oxígeno medicinal potenciará la atención médica en Olmos, disminuyendo la necesidad de derivaciones a hospitales más grandes y proporcionando una mayor cobertura y calidad de servicios directamente en la comunidad, fortaleciendo así su autosuficiencia y bienestar.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- ✓ Diseñar un sistema fotovoltaico conectado a red para el centro de salud José Elver Mío Taboada-Ñaupe.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Definir el requerimiento de energía para abastecer el centro de salud y sus cargas especiales.
- ✓ Determinar el potencial energético fotovoltaico del centro poblado Ñaupe.
- ✓ Diseñar el sistema fotovoltaico y conexión eléctrica al sistema eléctrico del centro de salud.
- ✓ Modelamiento del sistema de producción interconectado a la red.
- ✓ Evaluar el costo y beneficio del sistema fotovoltaico en el centro de salud José Elver Mío Taboada, ubicado en Ñaupe.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes

Internacional

En china los autores Wenzhao Yuan, Wengfeng Wang, Jinsong Liu, de la Universidad de Ciencias y Tecnología Electrónica de China. Con el proyecto, “Application Analysis Based on Solar Grid-Connected Photovoltaic Power Generation and Intermittent Energy Storage System” [7]. Este artículo analiza la generación de energía solar fotovoltaica y su integración en la red eléctrica mediante sistemas de almacenamiento intermitente en la región de Sichuan, China. Se evalúan los principios operativos, características básicas y factores que influyen en la generación de energía fotovoltaica conectada a la red, así como el uso de tecnologías automáticas para optimizar la eficiencia del sistema. Los resultados indican que la generación de energía solar fotovoltaica conectada a la red con almacenamiento intermitente es eficiente y fiable. La eficiencia energética total alcanzó un 85%. La temperatura del tanque de almacenamiento térmico fluctúa entre 20°C y 30°C dependiendo del modo de operación. Las simulaciones TRNSYS mostraron que la integración de tecnología automática mejora la eficiencia y estabilidad del sistema, con una reducción del 40% en las fluctuaciones de energía. La combinación de generación de energía solar fotovoltaica y almacenamiento intermitente mejora significativamente la utilización de energía solar y la estabilidad de la red eléctrica. El uso de tecnología automática permite un control remoto eficiente y la detección de fallos, optimizando la operación del sistema y reduciendo las emisiones contaminantes. El sistema propuesto puede reducir las emisiones de CO₂ en un 30%, promoviendo una solución sostenible y eficiente para la generación de energía.

"Design and Analysis of a Sustainable Power System for Healthcare Centers Using Renewable Energy Sources" [8] realizado por Ayodeji Olalekan Salau, Sumit Kumar Maitra, Ashwini Kumar, Seema Nayak, Manoj Nayak, Jaishanker Prasad Keshari, de la Universidad Federal de Tecnología Akure, Nigeria. Este artículo examina la implementación de un sistema híbrido de energía solar fotovoltaica (PV) y otras fuentes renovables para mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico en centros de salud de la Zona Hadiya, Etiopía. Utilizando un enfoque de estudio de caso exploratorio, se recolectaron y analizaron datos cualitativos a través de mediciones, observación participativa, entrevistas y documentación. Los resultados del estudio revelan que un sistema de PV solar con respaldo conectado a la red eléctrica y un generador diésel es viable. El sistema PV/diésel/batería es el más económicamente factible, con un costo

neto presente de \$50 748 y un porcentaje de energía renovable del 60%. Este sistema puede suministrar 150 kW de energía diaria al Hospital Nigist Eleni Mohammed Memorial, cubriendo el 90% de sus necesidades energéticas. El estudio concluye que la combinación de sistemas de energía solar PV y otras fuentes renovables puede mejorar significativamente la fiabilidad del suministro eléctrico en centros de salud rurales. La optimización y el análisis de costos, realizados con el software HOMER, demuestran que estos sistemas híbridos son una solución económica y sostenible para abordar los desafíos energéticos en estos entornos, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero en un 25% y mejorando la estabilidad del suministro eléctrico.

El artículo titulado "Una apuesta sustentable en los centros de salud primaria: Una evaluación económica y social" [9] fue elaborada por Seguel Sandoval Marco, Améstica Rivas Luis y Radrigán Ewoldt Rudi. Este estudio fue publicado en la revista "Universidad, Ciencia y Tecnología" en el volumen 25, número 109, en junio de 2021. Este estudio investiga la viabilidad de un proyecto fotovoltaico en centros de salud primaria, evaluándolo desde una perspectiva económica y social. Se utilizaron herramientas como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para medir su rentabilidad, considerando también la reducción de emisiones de carbono (CO₂) y aplicando la tasa de descuento social del Ministerio de Desarrollo Social. La implementación del proyecto fotovoltaico en centro de salud primaria resulta en un Valor Actual Neto (VAN) de \$74 500 043 CLP y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 14%. Durante los meses de mayor irradiancia, el sistema fotovoltaico puede cubrir la demanda energética total, generando 211,96 MWh al año y reduciendo 78 toneladas de CO₂. La tesis concluye que la implementación de energía fotovoltaica en los centros de salud primaria es viable y beneficiosa tanto económica como socialmente. No obstante, destaca la necesidad de complementar la energía solar con otras fuentes tradicionales, especialmente en invierno, para asegurar un suministro energético constante y suficiente en los centros de salud.

Sudamericana

“Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica, Su Diseño e Implementación” [10]. Esta investigación fue realizada por José Antonio García Pérez para la Universidad Politécnica de Madrid en el año 2020. El autor desarrolla un proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, abordando aspectos técnicos y económicos. El objetivo principal de esta tesis es el diseño y la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica. Se analizan diferentes componentes y configuraciones del sistema para optimizar su eficiencia. El estudio incluye una evaluación económica, considerando costos iniciales, mantenimiento y el retorno de la inversión, con el fin de demostrar la viabilidad del proyecto. El proyecto muestra una reducción significativa en el consumo de energía no renovable y un retorno de inversión favorable. El sistema fotovoltaico instalado genera un promedio de 581 kWh diarios, 17,7 MWh mensuales y 211,96 MWh anuales. La inversión inicial fue de \$91 119 328 CLP con un VAN de \$74 500 043 CLP y una TIR del 14%. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red representan una solución eficiente y sostenible para la generación de energía eléctrica.

“Diseño de Microred Aislada Usando Energías Renovables Híbridas con Convertidor Electrónico Multidireccional y Multipuertos para Alimentar Centros de Salud Alejados” [11]. Autores: Juan Tisza-Contreras, David Ortega-Solozano. Publicado en la revista TECNIA, Vol.33 N°2, julio-diciembre 2023. DOI: 10.21754/tecnia.v33i2.1410. El documento expone el desarrollo de una microred híbrida independiente que combina energía fotovoltaica y eólica, empleando un Bus DC como nodo principal. La metodología contempla tanto el análisis como el diseño del sistema, destinado a abastecer de energía eléctrica a un centro de salud remoto ubicado en Huancavelica, Perú, utilizando el algoritmo MPPT "perturbar y observar" junto con un convertidor bidireccional. El estudio muestra tres ensayos bajo diferentes condiciones meteorológicas. El sistema demostró una capacidad de operación eficiente en diversas condiciones, asegurando un suministro energético confiable al centro de salud. Los datos indican que se emplearon 10 paneles solares LG320N1K-V5 de 320W y un aerogenerador ENAIR de 3KW, logrando satisfacer un consumo diario de 10 kWh. La propuesta validada por simulaciones en MATLAB Simulink confirma la viabilidad del diseño para centros de salud alejados. El sistema híbrido de energías renovables mejora la confiabilidad del suministro eléctrico, adaptándose a diferentes condiciones meteorológicas y garantizando una fuente de energía constante y eficiente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Energía solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que proviene de la radiación electromagnética del sol. Con una emisión de $3,8 \times 10^{23}$ kW, nuestro planeta recibe aproximadamente $1,8 \times 10^{14}$ kW. Dentro de sus aplicaciones, la energía solar fotovoltaica convierte esta radiación en electricidad mediante paneles solares, mientras que la energía solar pasiva aprovecha la arquitectura bioclimática para optimizar el uso de la luz natural y la regulación térmica en edificios residenciales [12].

2.2.2. Energía solar en Perú

El Ministerio de Energía y Minas (MINEM) ha mostrado un compromiso con el desarrollo de energías renovables, estableciendo la energía solar como una de sus principales prioridades. Este objetivo busca disminuir la dependencia de fuentes tradicionales como los combustibles fósiles y las centrales hidroeléctricas [13]. Además, se promueve la adopción de tecnologías sostenibles que minimicen el impacto ambiental y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a otras fuentes de energía. Antes de la implementación de proyectos solares, las comunidades dependían de generación termoeléctrica. Actualmente, en Perú se desarrollan múltiples iniciativas solares que favorecen la transición hacia una matriz energética más limpia y respetuosa con el medio ambiente.

En Perú, el uso de leña representa el 10% de la energía consumida por la población, mientras que el 22% de los hogares en áreas rurales carece de acceso a la electricidad. Los paneles solares tienen una producción diaria de 5,0 kWh en verano y 1,6 kWh en invierno. Además, la capacidad de energía eólica instalada en el Perú es de 232 MW, y contamos con cinco plantas solares ubicadas en Moquegua, Tacna y Arequipa [14].

2.2.3. Radiación solar

La radiación solar concentrada puede suministrar el calor necesario para generar vapor y producir electricidad, sustituyendo así la quema de combustibles fósiles o reactores nucleares. Se distinguen tres tecnologías principales: canal parabólico, torre central y disco parabólico [15].

2.2.4. Sistemas fotovoltaicos

La energía solar fotovoltaica constituye una forma renovable de generación eléctrica que se deriva directamente de la radiación solar mediante el empleo de células fotovoltaicas o células solares de película delgada. Estas células, elaboradas con materiales semiconductores, constituyen los elementos fundamentales de los sistemas fotovoltaicos, donde múltiples células

interconectadas conforman un módulo fotovoltaico. La combinación de varios módulos genera un arreglo que, dependiendo de la configuración en serie o paralelo, puede incrementar tanto la corriente como la potencia eléctrica generada. [16].

En las últimas décadas, estos sistemas se han vuelto eficaces en la generación eléctrica, especialmente en áreas con buena radiación solar, debido a su fácil instalación y bajo costo de mantenimiento, lo que promueve su uso frecuente. La electricidad generada puede ser aprovechada de inmediato o almacenada en baterías para su utilización en el futuro.

2.2.5. Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos diseñados para convertir la luz solar directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. La corriente generada inicialmente es continua y puede ser distribuida como corriente alterna o continua, según el diseño del ingeniero. Para transformar la corriente continua en alterna, se necesita un inversor. Una célula fotovoltaica típica genera alrededor de 36V y una corriente de 8A, adecuada para una vivienda pequeña de 250W. En instalaciones de mayor escala, los módulos se conectan en cadenas. Algunos sistemas fotovoltaicos incluyen baterías de respaldo para almacenar la energía generada [17].

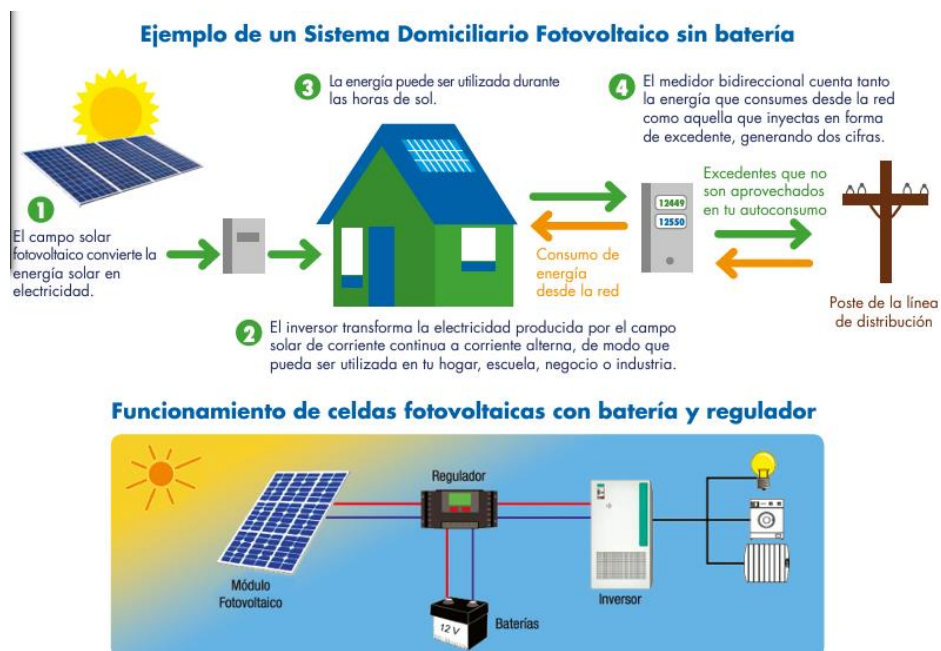


Figura 1. Sistemas fotovoltaicos.

Fuente: [17]

2.2.6. Componentes

2.2.6.1. Paneles solares

Los paneles solares son dispositivos formados por células solares que transforman la energía de la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Estas células, al recibir luz solar, producen corriente continua (DC). Este mecanismo se basa en la capacidad de los materiales semiconductores para convertir la energía lumínica en energía eléctrica, ofreciendo así una fuente de energía limpia y sostenible.

$$N_p = \frac{E_g}{E_p}$$

Considerando que:

N_p : Cantidad total de paneles

E_g : Energía diaria generada por el bloque generador

E_p : Energía diaria generada por un panel.

$$N_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{panel}}$$

Considerando que:

N_{serie} : Cantidad de paneles en serie

$V_{sistema}$: Tensión nominal del sistema.

V_{panel} : Tensión nominal de un panel.

$$N_{paralelo} = \frac{N_p}{N_{serie}}$$

Considerando que:

$N_{paralelo}$: Cantidad de paneles en paralelo

N_p : Número total de paneles.

N_{serie} : Número de paneles en serie.

2.2.7. Inversor DC/AC

Un inversor es un componente esencial que convierte la corriente continua (DC), proveniente de paneles solares o baterías, en corriente alterna (AC), que es el tipo de electricidad empleado por la mayoría de los aparatos y las redes eléctricos convencionales. Este proceso permite

maximizar el uso eficiente de la energía solar recolectada, ya sea en aplicaciones domésticas o industriales.

$$S_{inv_out} = 1,25 \times \frac{P_{car\ CA}}{Fp} \times Fs$$

S_{inv_out} : Potencia nominal del inversor

Fs : Factor de simultaneidad en AC.

$P_{car\ CA}$: Potencia de AC.

$$P_{inv_in} = 1,25 * \frac{P_{car\ CA}}{\eta_{inv}} * FS$$

P_{inv_in} : Potencia de entrada del inversor

η_{inv} : rendimiento del inversor

El sistema de almacenamiento de energía con inversor híbrido todo en uno integra en una sola unidad un inversor, un controlador de carga y un gestor de baterías. Este dispositivo convierte la corriente continua de fuentes renovables en alterna, optimizando el flujo energético entre la red, las fuentes renovables y las baterías. Su diseño integrado prioriza el autoconsumo, reduce la dependencia de la red y proporciona respaldo durante cortes eléctricos, lo que mejora la eficiencia, simplifica la instalación y disminuye costos operativos. Aplicable en diversos entornos, es clave para lograr sistemas energéticos más sostenibles y autónomos.

2.2.8. Regulador

El regulador es un componente clave en los sistemas de energía solar, diseñado para gestionar de manera eficiente la carga y descarga de las baterías. Este dispositivo protege las baterías contra posibles daños por sobrecargas, evitando que se acumulen niveles excesivos de energía, y también contra descargas profundas, que podrían reducir significativamente la vida útil de las baterías. Adicionalmente, el regulador optimiza el flujo de energía hacia las baterías y hacia los dispositivos que la utilizan, asegurando un equilibrio adecuado entre el consumo y el almacenamiento de energía. Algunos reguladores más avanzados incluyen tecnología MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia), que maximiza la captación de energía proveniente de los paneles solares.

2.2.9. Baterías

Las baterías son esenciales en los sistemas de energía solar, ya que actúan como reservas de energía al almacenar la electricidad generada por los paneles solares para su uso posterior. Esto es especialmente importante en condiciones de baja irradiación solar, como en días nublados o durante la noche. Existen diferentes tipos de baterías utilizadas en sistemas solares, como las de plomo-ácido, las de gel, las AGM y las de ion-litio, cada una con ventajas específicas en términos de capacidad, eficiencia, mantenimiento y vida útil. Además de almacenar energía, las baterías permiten estabilizar el sistema, proporcionando un flujo constante de electricidad incluso cuando la generación solar es intermitente. Este almacenamiento confiable es fundamental tanto para aplicaciones domésticas como industriales, garantizando el suministro continuo y la reducción de la dependencia de fuentes externas de energía.

III. Metodología

3.1. Diseño de investigación

3.1.1. Tipo del diseño

La investigación corresponde al tipo aplicada y cuantitativa, centrada en el desarrollo de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica para optimizar el suministro de energía en el centro de salud José Elver Mio Taboada, ubicado en Ñaupe. Este estudio emplea herramientas como los softwares PV Syst y AutoCAD para la planificación del sistema, utilizando datos meteorológicos específicos de la zona, como la irradiación solar y la temperatura, con el fin de adaptar el diseño del sistema fotovoltaico a las condiciones propias de Ñaupe.

3.1.2. Población y muestra

3.1.2.1. Población

La población objeto de estudio incluye la infraestructura asociada al sistema fotovoltaico que se instalará en el centro de salud de Ñaupe. Para ello, se toman en cuenta tanto los datos históricos como la información en tiempo real del potencial energético disponible en la región.

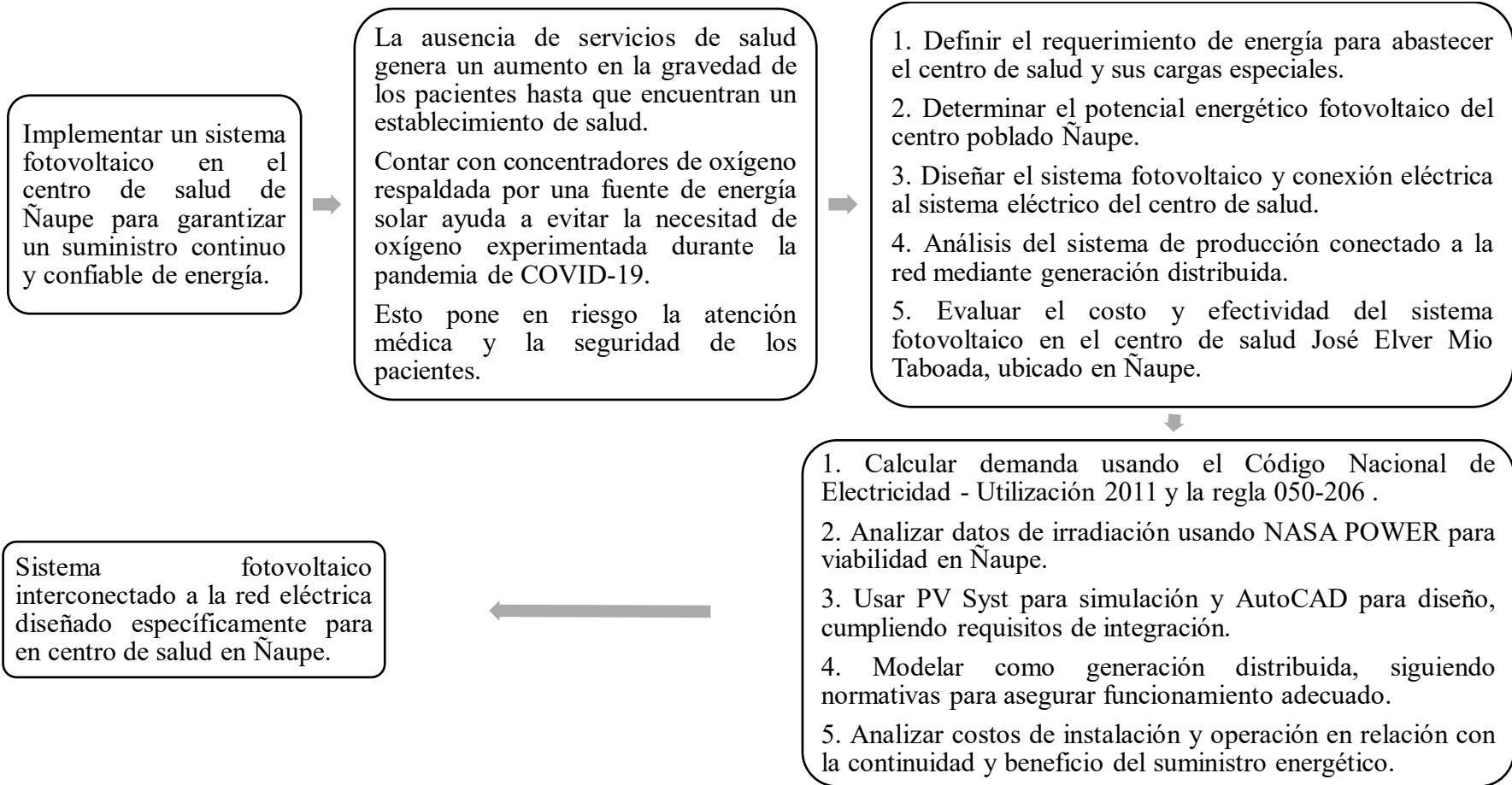
3.1.2.2. Muestra

La muestra se selecciona sobre la base de los requisitos energéticos específicos del centro de salud, como la carga total instalada y los equipos médicos de mayor consumo, especialmente los concentradores de oxígeno, los cuales son críticos para los objetivos del proyecto.

3.2. Métodos y técnicos de recolección de datos

En esta investigación, se empleará un método observacional y analítico mediante datos secundarios proporcionados por fuentes como el Atlas Solar y NASA POWER. Esto permitirá obtener datos históricos y actuales sobre la irradiación, la temperatura, la humedad y otros factores climáticos críticos para el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

3.3.Diagrama de flujo



3.4.Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO.	El sistema solar convierte la radiación solar en electricidad a través de paneles solares fabricados con materiales semiconductores dopados. Posteriormente, un inversor se encarga de transformar la corriente directa en corriente alterna, la cual alimenta un concentrador de oxígeno, un componente esencial en el proceso de generación eléctrica. [18].	La variable será medida a través de software PV Syst asegurando la fuente de alimentación necesaria para alimentar al centro de salud.	Paneles solares	Análisis de sombras	Irradiación afectada
				Estimación de pérdidas	% de pérdidas
				Rendimiento en condiciones diferentes	Temperatura
					Irradiancia
				Optimización del Diseño	Grados de inclinación.
				Potencia eléctrica generada	kW

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Conexión a la red en el centro de salud de Ñaupe.	La energía se describe como una magnitud física que representa la capacidad de un objeto para efectuar trabajo mecánico. En el caso de la energía eléctrica , esta surge debido a una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que genera el flujo de corriente eléctrica. Dicha corriente puede posteriormente convertirse en distintas formas de energía, como luz, calor o movimiento, dependiendo de los dispositivos y aplicaciones en los que se emplee. [19].	La variable será medida en relación con la energía eléctrica de demanda del centro de salud.	Energía eléctrica	Eficiencia energética	%
				Potencia distribuida	W

3.5. Formulación de hipótesis

OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL
<p>Diseñar un sistema fotovoltaico conectado a red para el centro de salud José Elver Mio Taboada-Ñaupe.</p>	<p>Un sistema fotovoltaico conectado a la red brindará energía al centro de salud de Ñaupe, asegurando la energía eléctrica.</p>
OBJETIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS ESPECIFICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Definir el requerimiento de energía para abastecer el centro de salud y sus cargas especiales. • Determinar el potencial energético fotovoltaico del centro poblado Ñaupe. • Diseñar el sistema fotovoltaico y conexión eléctrica al sistema eléctrico del centro de salud. • Análisis del sistema de producción conectado a la red mediante generación distribuida. • Evaluar el costo y efectividad del sistema fotovoltaico en el centro de salud José Elver Mio Taboada, ubicado en Ñaupe. 	<ul style="list-style-type: none"> • El dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico cubrirá la demanda energética total del centro de salud, asegurando su operación continua. • El potencial solar disponible en Ñaupe permitirá un diseño óptimo que asegure la generación de energía suficiente para el centro de salud. • La conexión adecuada garantizará que el sistema fotovoltaico actúe como la fuente principal de energía, manteniendo la operación de equipos críticos. • La implementación del sistema fotovoltaico reducirá los riesgos de fallos en el suministro de energía, evitando así la pérdida de pacientes en situaciones críticas.

3.6. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo asegurar el suministro continuo de energía para cubrir las necesidades del centro de salud en Ñaupe?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
	Diseñar un sistema fotovoltaico conectado a red para el centro de salud José Elver Mio Taboada-Ñaupe.	Este sistema permitirá que la población de zonas rurales acceda a energía eléctrica en dicho centro, especialmente en situaciones de emergencia. Además, la energía generada podrá ser destinada a otros servicios cuando no esté en uso.	Diseño de un sistema de generación fotovoltaico.	Enfoque aplicado-cuantitativa con el uso del software PVSyst, para realizar análisis numéricos detallados, de radiación solar y temperatura en la zona a instalar.
	ESPECIFICAS	ESPECIFICAS	INDICADORES	TÉCNICA: RECOLECCIÓN DE DATOS
	<ul style="list-style-type: none"> Definir el requerimiento de energía para abastecer el centro de salud y sus cargas especiales. 	<ul style="list-style-type: none"> Definiendo los requerimientos, se podrá conocer la demanda necesaria para el centro de salud. Determinando el potencial energético fotovoltaico, se 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de sombras. Estimación de pérdidas Rendimiento en condiciones diferentes. 	Se emplearán simulaciones con PVSyst y análisis de datos climáticos específicos, así como datos experimentales obtenidos a partir de investigaciones previas

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el potencial energético fotovoltaico del centro poblado Ñaupe. • Diseñar el sistema fotovoltaico y conexión eléctrica al sistema eléctrico del centro de salud. • Análisis del sistema de producción conectado a la red mediante generación distribuida. • Evaluar el costo y efectividad del sistema fotovoltaico en el centro de salud José Elver Mio Taboada, ubicado en Ñaupe. 	<p>podrá conocer la irradiación solar y la eficiencia del diseño.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Describiendo la conexión y sus componentes, se podrá entender su funcionamiento y requisitos. • La generación distribuida conectada a la red mejorará la eficiencia y confiabilidad del sistema de producción. • Evaluando el costo-efectividad del sistema mostrará su valor en términos de asegurar la continuidad del servicio médico, fundamental para la atención de pacientes en condiciones críticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del diseño • Potencia eléctrica generada. <p style="text-align: center;">VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Conexión a la red en el centro de salud de Ñaupe.</p> <p style="text-align: center;">INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia energética • Potencia distribuida 	<p>validadas, para ajustar el diseño del sistema solar fotovoltaico en un concentrador de oxígeno</p> <p style="text-align: center;">POBLACIÓN Y MUESTRA</p> <p>La unidad de estudio es la energía generada y distribuida para el sistema fotovoltaico diseñado para el concentrador de oxígeno en el Centro de Salud.</p> <p>La población será el Centro de Salud.</p>

IV. Resultados y discusiones

4.1. Definir el requerimiento de energía para abastecer el centro de salud y el concentrador de oxígeno

El centro poblado de Ñaupe, ubicado en la región de Lambayeque, Perú, cuenta con un centro de salud de categoría I-2, oficialmente registrado el 12 de diciembre de 2008. Este establecimiento comenzó sus actividades el 11 de septiembre de 1979 y ha brindado servicios médicos de manera continua desde entonces, convirtiéndose en un recurso esencial para la comunidad.

Actualmente, la red eléctrica presenta fluctuaciones y existe un riesgo elevado de que se produzcan cortes de energía en momentos críticos, lo que podría poner en peligro la atención a los pacientes. Para mitigar este riesgo, es crucial implementar un sistema de energía renovable que garantice un suministro constante y estable, permitiendo al centro de salud operar de manera ininterrumpida y cubrir sus necesidades energéticas en cualquier circunstancia.

Este proyecto se orienta a diseñar un sistema de energía fotovoltaica que proporcione una solución autosuficiente y sostenible, asegurando la disponibilidad de energía en todo momento sin depender de la red eléctrica local.

Servicios Autorizados

UPSS

15 registros por página

Buscar

Código	Nombre	Estado
220000	UPSS - CONSULTA EXTERNA	ACTIVO
010000	UPSS - DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD (SERVICIOS ADMINISTRATIVOS)	ACTIVO
1	ACTIVIDAD - ATENCIÓN DE URGENCIAS Y EMERGENCIAS	ACTIVO
2	ACTIVIDAD - REFERENCIAS Y CONTRARREFERENCIAS	ACTIVO
3	ACTIVIDAD - DESINFECCIÓN Y ESTERILIZACIÓN	ACTIVO
4	ACTIVIDAD - VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA	ACTIVO
5	ACTIVIDAD - REGISTROS DE ATENCIÓN DE SALUD E INFORMACIÓN	ACTIVO
6	ACTIVIDAD - SALUD AMBIENTAL	ACTIVO
11	ACTIVIDAD - SALUD FAMILIAR Y COMUNITARIA	ACTIVO
12	ACTIVIDAD - ATENCIÓN CON MEDICAMENTOS	ACTIVO
13	ACTIVIDAD - PRUEBAS RÁPIDAS Y TOMA DE MUESTRAS	ACTIVO
14	ACTIVIDAD - PREVENCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL CÁNCER	ACTIVO
15	ACTIVIDAD - INTERVENCIONES DE CIRUGÍA DE CONSULTORIO EXTERNO	ACTIVO
16	ACTIVIDAD - ATENCIÓN DE PARTO INMINENTE	ACTIVO
22	ACTIVIDAD - LABORATORIO DENTAL	ACTIVO

Registros: 1 - 15 de 15 registros

Figura 2. Servicios autorizados.

Fuente: [20]

El centro de salud I-2 de Ñaupe brinda servicios médicos esenciales a la comunidad, incluyendo consultas generales, atención de emergencias básicas, programas de vacunación y servicios de salud preventiva. Además, desempeña un papel crucial en la promoción de la salud pública y la educación sanitaria en la región.



Figura 3. Centro de salud José Elver Mio Taboada-Ñaupe

Fuente: [21]

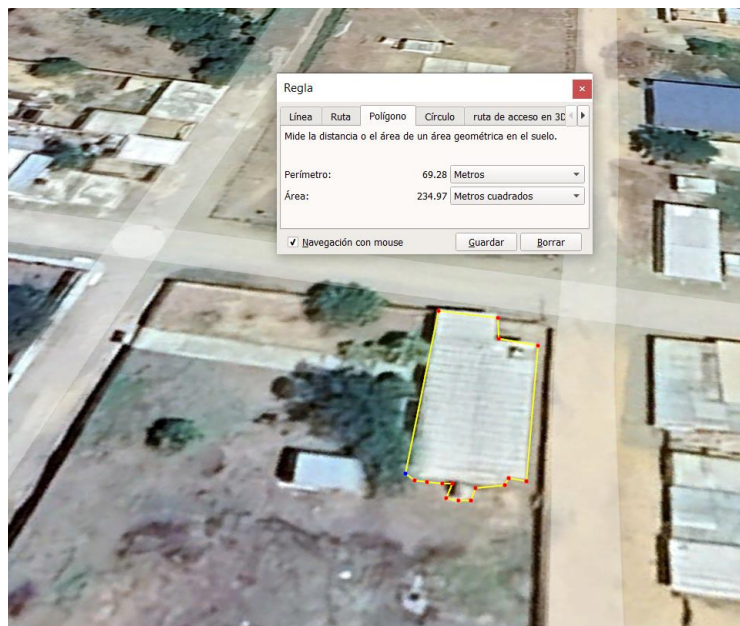


Figura 4. Vista de mapa satélite del centro de salud.

Fuente: Google Earth pro.

Se investigó el equipamiento eléctrico del Centro de Salud José Elver Mio Taboada con el propósito de calcular la potencia requerida para el centro poblado y, de esta manera, determinar la demanda eléctrica en esta zona con las siguientes áreas.

Tabla 1. Área del centro de salud.

ÁREA	
CENTRO DE SALUD	235,00 m ²
LIBRE	2 232,29 m ²
TOTAL	2 467,29 m ²

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad (CNE) - Utilización 2011, las instalaciones eléctricas en centros de salud deben garantizar un suministro continuo y confiable, protegiendo así los servicios críticos y la seguridad de los pacientes.

En el código nacional de electricidad, en la regla 050-206 se enfoca en hospitales, según ello. Se considero el siguiente fragmento del CNE:

050-206 Hospitales

- (1) La capacidad mínima de los conductores de acometidas y alimentadores debe basarse en lo siguiente:
 - (a) Una carga básica de 20 W/m² del área del edificio calculada con las dimensiones exteriores; más
 - (b) 100 W/m² para áreas de alta intensidad de carga como salas de operación; más
 - (c) Cargas de calefacción, aire acondicionado y de potencia, según la potencia del equipo.
- (2) Se permitirá la aplicación de factores de demanda de acuerdo con lo siguiente:
 - (a) Para edificaciones de hasta 900 m², calculados con las dimensiones exteriores:
 - (i) De acuerdo con la Sección 270 para cualquier carga de calefacción; y
 - (ii) 80% de la carga restante.
 - (b) Para edificaciones cuya superficie exceda los 900 m², calculada con las dimensiones exteriores;
 - (i) De acuerdo con la Sección 270 para cualquier carga de calefacción; y
 - (ii) El resto de la carga debe ser dividida entre los metros cuadrados de la superficie, y la carga de la demanda puede ser considerada como la suma de:
 - (A) 80% de la carga por metro cuadrado multiplicada por 900; y
 - (B) 65% de la carga por metro cuadrado multiplicada por la superficie del edificio que exceda los 900 m².

Figura 5. CNE REGLA 050-206

Fuente: [22]

Se consideró un área construida de 235 m², y de acuerdo con el primer punto de la norma 050-206, se estableció una carga básica de 20 W/m². Al tratarse de una edificación de categoría I-2 sin centro quirúrgico, no se aplicó la carga de 100 W/m². El área incluye 23 artefactos eléctricos y 12 equipos biomédicos, según el informe patrimonial del centro de salud, además de otras cargas asociadas a la iluminación. Conforme a la norma 050-206 del Código Nacional Eléctrico

para hospitales, se elaboró una tabla detallada con algunos equipos biomédicos, dada su potencia e importancia. Para edificaciones de hasta 900 m², la sección 270 establece un factor de demanda del 80% sobre la carga por metro cuadrado.

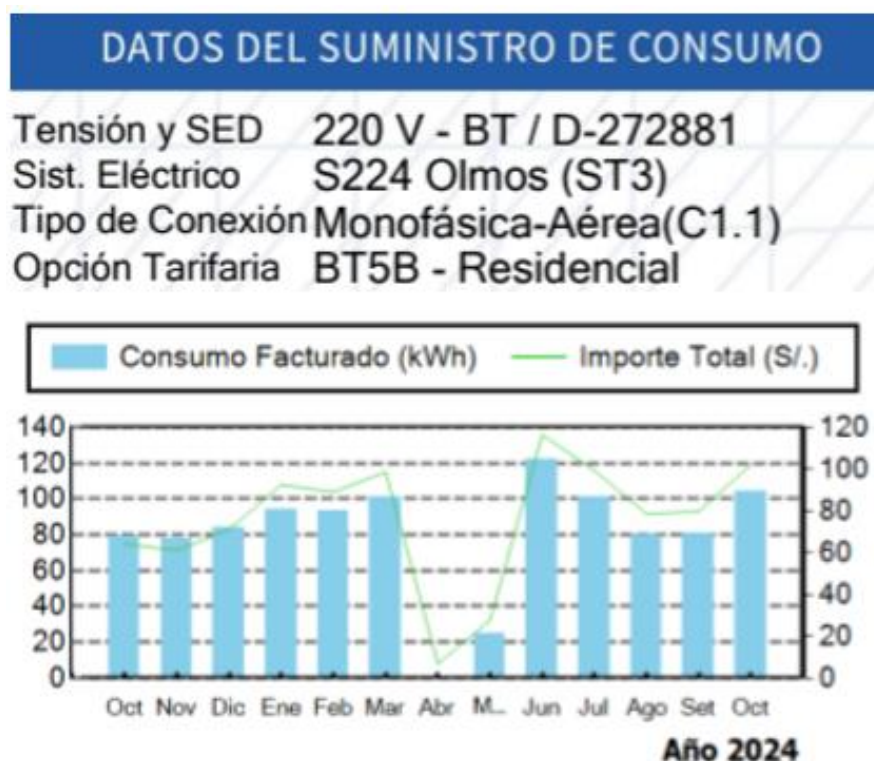


Figura 6. Datos del suministro del centro de Salud.

Fuente: Recibo de ENSA

El análisis del gráfico evidencia fluctuaciones en el consumo y el importe total, lo que sugiere posibles pérdidas de energía asociadas a la transmisión o interrupciones en la red eléctrica, especialmente en meses como abril y mayo. Estas pérdidas, junto con los costos elevados en meses de alta demanda, justifican la implementación de un sistema fotovoltaico. Este sistema permitiría generar energía directamente en el sitio, reduciendo la dependencia de la red, minimizando las pérdidas de transmisión y estabilizando el suministro eléctrico, especialmente en periodos de baja calidad del servicio o incrementos tarifarios

Tabla 2. Máxima demanda.

	Descripción	Área m²	Densidad W/m²	Cantidad U	Carga W	Potencia instalada W	Factor %	Máx. demanda W
1(a)	Carga básica por área techada (Regla 050-206-1 (a) CNE-U-2006)							
1.00	CALCULO CARGA							
1.10	Área total de la edificación	235						
(1)(a)	Carga básica del área	235	20			4 700		
(1)(b)	Carga de área de alta intensidad	-	100			-		
1(c)	Carga según potencia del equipo (Regla 050-206 CNE-U-2006) 1 (c)							
1.00	EQUIPAMIENTO BIOMEDICO							
1.10	Autoclave en acero de 18 litros-GREETMED			1	1 000	1 000		
1.20	Baño maría 12 litros GEEMMY			1	800	800		
1.30	Concentrador de oxígeno 15l			2	1 200	2 400		
1.40	Centrifuga de 8 tubos de 5000 rpm GREETMED 119-100t			1	500	500		
2.00	SANITARIAS							
2.10	Electrobomba			1	373	373		
						9 773		
	CARGA/m ² Nominal		42					
2.00	Factores de Demanda (Regla 050-206 (2) CNE-U 2006)							
2(b)(ii)(A)	Carga de los primeros 900 m2	235	42			9 870	80%	7 896
	TOTAL					9 870		7 896

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Resultados de máxima demanda.

Factor de simultaneidad =	0,8
Potencia instalada	9,87 kW
Demanda del diseño	6,32 kW

Fuente: Elaboración propia

El factor de simultaneidad del 0,8 indica que no todos los equipos estarán en funcionamiento al mismo tiempo, lo cual reduce la carga total que el sistema debe soportar en un momento dado. Esto permite dimensionar la infraestructura eléctrica de manera más eficiente, sin sobredimensionarla para picos poco frecuentes. La potencia instalada se calcula como la suma de la carga total de todos los equipos y áreas (9,87 kW), representando la capacidad máxima si todos los equipos operaran simultáneamente. Sin embargo, al aplicar el factor de simultaneidad y el factor de demanda, obtenemos la máxima demanda de 6,32 kW, que es la carga que realmente debe cubrir el sistema, permitiendo optimizar los recursos y garantizar un suministro confiable sin exceder la capacidad necesaria.

POTENCIA INSTALADA

Tabla 4. Potencia instalada.

Ítem	Descripción	Potencia	Unidad	Cantidad
1.00	ADMISIÓN			
1.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
1.02	Tomacorrientes	-	UNID	1
1.03	Computadora	50 W	UNID	1
1.04	Impresora BROTHER MFC-J4335DW	21 W	UNID	1
2.00	SALA DE ESPERA			
2.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
2.02	Tomacorrientes	-	UNID	1
2.03	Congelador 2711 VESTFROST MK341	200 W	UNID	1
2.04	Congelador 981 VESTFROST MF114	100 W	UNID	1
2.05	Refrigeradora 481 VESTFROST MK144PQS	96 W	UNID	1
3.00	ALMACEN			
3.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
3.02	Tomacorrientes	-	UNID	1
3.03	Congelador 2711 VESTFROST MK341	200 W	UNID	1
3.04	Esterilizador de 8 lt OVENS	300 W	UNID	1
3.05	Microscopio binocular GREETMED	20 W	UNID	1
3.06	autoclave en acero de 18 litros-GREETMED	1 000 W	UNID	1
3.07	Baño maría 12 litros GEEMMY	800 W	UNID	1
3.08	Equipo de radio transistor YAESU	100 W	UNID	1
4.00	MEDICINA			
4.10	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
4.20	Tomacorrientes	-	UNID	2
4.30	Lámpara rodable tipo cuello de ganso	15 W	UNID	1
4.40	Ventilador	160 W	UNID	1
4.50	Refrigeradora eléctrica domestica	100 W	UNID	1
5.00	ENFERMERÍA			
5.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
5.02	Refrigeradora para VACUNASICE LINED 881	110 W	UNID	1
5.03	Congelador 1051 VESTFROST MF114	139 W	UNID	1
5.04	Ventilador	160 W	UNID	1
6.00	FARMACIA			
6.10	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
6.20	Tomacorrientes	-	UNID	1
6.30	Computadora personal porttil	50 W	UNID	1
6.40	Monitor led	20 W	UNID	2
6.50	CPU	100 W	UNID	2

Ítem	Descripción	Potencia	Unidad	Cantidad
6.60	Ventilador	160 W	UNID	2
6.70	Impresora BROTHER MFC-J4335DW	21 W	UNID	1
7.00	OBSTETRICIA			
7.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
7.02	Tomacorrientes	-	UNID	1
7.03	Lampara	20 W	UNID	1
7.04	Detector de latidos fetales DOPPLER	2 W	UNID	1
7.05	Ecógrafo ultrasonido CONTEC EMP 830	100 W	UNID	1
7.06	Ventilador	160 W	UNID	1
8.00	TOPICO			
8.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
8.02	Tomacorrientes	-	UNID	1
8.03	Concentrador de oxígeno 15l	1 200 W	UNID	1
8.04	Concentrador de oxígeno 15l	1 200 W	UNID	1
8.05	Aspirador de secreciones	100 W	UNID	1
8.06	Esterilizadora para ebullición	300 W	UNID	1
8.07	Centrifuga de 8 tubos de 5000 rpm GREETMED 119-100T	500 W	UNID	1
9.00	BAÑO 01			
9.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
10.00	BAÑO 02			
10.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	1
11.00	EXTERIOR			
11.01	Iluminación tipo led	24 W	UNID	2
11.02	Electrobomba	373 W	UNID	1

Fuente: Elaboración propia

En resumen, el centro de salud cuenta con 12 iluminaciones, 8 tomacorrientes, 23 artículos eléctricos y 12 artículos biomédicos. Con un total de 10 045 W de potencia instalada por cada equipo, se considerará la energía máxima diaria consumida estimada según el uso de cada equipo. De esta manera con la energía máxima diaria poder saber características de los paneles solares a instalar y del inversor.

Tabla 5. Energía máx. diaria.

Cargas de equipamientos					
Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Iluminación tipo led	24 W	12	288 W	6 h	1,73 kWh
Computadora	50 W	1	50 W	6 h	0,30 kWh
Impresora brother mfc-j4335dw	21 W	2	42 W	2 h	0,08 kWh
Congelador 271l vestfrost mk341	200 W	2	400 W	12 h	4,80 kWh
Congelador 98l vestfrost mf114	100 W	1	100 W	12 h	1,20 kWh
Refrigeradora 48l vestfrost mk144pqs	96 W	1	96 W	12 h	1,15 kWh
Esterilizador de 8 lt ovens	300 W	1	300 W	2 h	0,60 kWh
Microscopio binocular greetmed	20 W	1	20 W	3 h	0,06 kWh
Autoclave en acero de 18 litros-greetmed	1 000 W	1	1 000 W	2 h	2,00 kWh
Baño maría 12 litros GEEMMY	800 W	1	800 W	2 h	1,60 kWh
Equipo de radio transistor yaesu	100 W	1	100 W	4 h	0,40 kWh
Lámpara rodable tipo cuello de ganso	15 W	1	15 W	2 h	0,03 kWh
Ventilador	160 W	5	800 W	2 h	1,60 kWh
Refrigeradora eléctrica domestica	100 W	1	100 W	12 h	1,20 kWh
Refrigeradora para vacunasice lined 88l	110 W	1	110 W	12 h	1,32 kWh
Congelador 105l vestfrost mf114	139 W	1	139 W	12 h	1,67 kWh

Cargas de equipamientos					
Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Computadora personal porttil	50 W	1	50 W	3 h	0,15 kWh
Monitor led	20 W	2	40 W	3 h	0,12 kWh
Cpu	100 W	2	200 W	3 h	0,60 kWh
Ecografo ultrasonido contec emp 830	100 W	1	100 W	2 h	0,20 kWh
Concentrador de oxígeno 15l	1 200 W	2	2 400 W	2 h	4,80 kWh
Aspirador de secreciones	100 W	1	100 W	2 h	0,20 kWh
Esterilizadora para ebullición	300 W	1	300 W	2 h	0,60 kWh
Centrifuga de 8 tubos de 5000 rpm greetmed 119-100t	500 W	1	500 W	2 h	1,00 kWh
Electrobomba	373 W	1	373 W	1 h	0,37 kWh
	Potencia máx		8 423 W	Energía máx diaria	27,780 kWh

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Plano de ubicación de la instalación eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Analizar la potencia solar en el distrito Olmos del centro poblado Ñaupe

4.2.1. Ubicación del sistema fotovoltaico

El Centro de Salud José Elver Mio Taboada cuenta con un terreno de 2 467,29 m², de los cuales solo el 10 % se encuentra ocupado. El sistema fotovoltaico se instalará en el techo del área construida, aprovechando la inclinación existente para prescindir del uso de estructuras metálicas de soporte. Esta decisión también permite mantener libre el resto del terreno para futuras construcciones u otros fines. Utilizando Google Earth Pro, se han obtenido los datos de ubicación necesarios para la implementación del sistema.

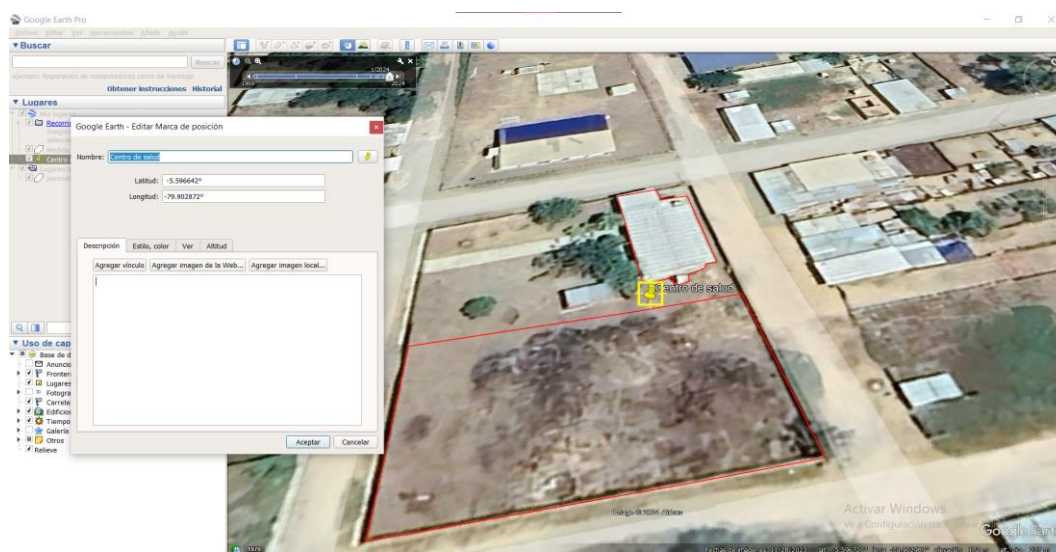


Ilustración 1. Ubicación del centro poblado José Elmer Mio Taboada.

Fuente: Google Earth pro.

Tabla 6. Condiciones de referencia

	Ubicación de datos meteorológicos	Unidad
Latitud	-5,5967	
Longitud	-79,9029	
Zona Climática	2B –Caliente – Seca	
Elevación	172	m

Fuente: RETScreen Expert – NASA

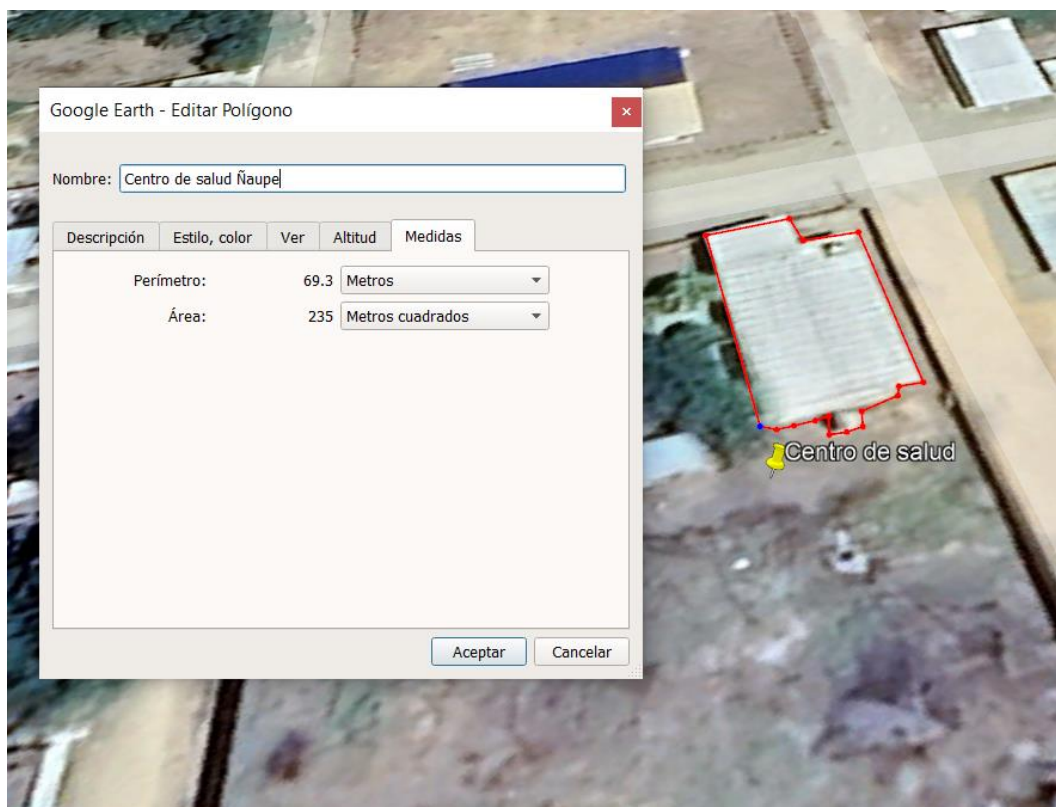


Ilustración 2. Medida de la zona de instalación del sistema fotovoltaico.

Fuente: Google Earth pro.

El centro de salud cuenta con las siguientes medidas, se consideró el polígono rojo “Centro de salud Ñaupe”, observado en la imagen, de manera que el sistema fotovoltaico fuera accesible al tablero y la instalación eléctrica.

Tabla 7. Medidas de la zona de instalación.

	Medición	Unidad
Perímetro	69,3	m
Área	235	m ²

Fuente: Google Earth pro.

4.2.2. Potencial solar en Olmos Ñaupe

4.2.2.1. Nasa Power

Prediction of Worldwide Energy Resources, es una plataforma desarrollada por la NASA que proporciona datos climáticos esenciales para el diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos. Ofrece información como radiación solar diaria, temperaturas, velocidad del viento e índice de claridad, datos fundamentales para analizar la viabilidad y el rendimiento de los paneles solares. Los datos generados, basados en observaciones satelitales y modelos atmosféricos, se caracterizan por su alta precisión y confiabilidad. Asimismo, su compatibilidad con herramientas como RETScreen facilita el análisis detallado de generación energética, promoviendo el desarrollo de proyectos renovables sostenibles y optimizados en cualquier región del mundo.

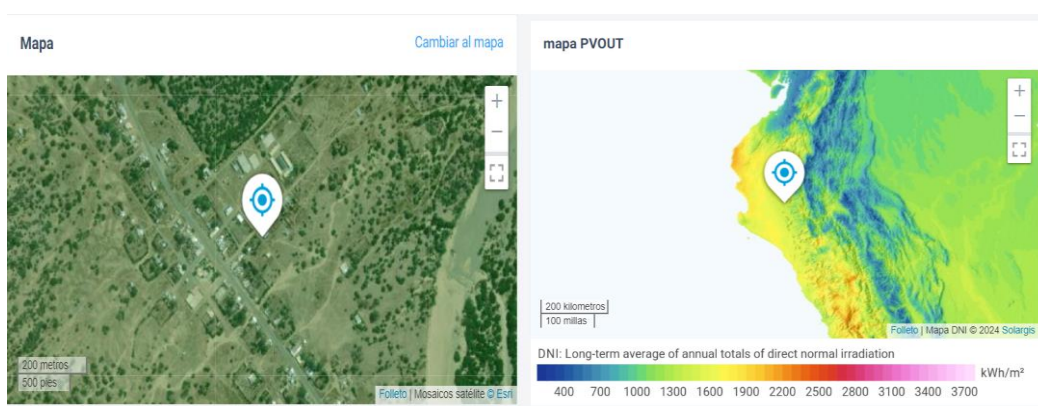


Figura 8. Mapas de ubicación de Ñaupe-Olmos

Fuente: [23]

4.2.3. Datos meteorológicos

Tabla 8. Datos meteorológicos.

Mes	Radiación horizontal diaria (kWh/m ² /d)	Presión atmosférica (kPa)	Temperatura del aire (°C)	Temperatura del Suelo (°C)	Velocidad del viento (m/s)
Enero	5,27	91,2	22,6	25,1	2,6
Febrero	5,00	91,2	23,2	25,4	2,4
Marzo	5,45	91,2	23,5	25,5	2,2
Abril	5,14	91,2	23,0	24,9	2,2
Mayo	4,98	91,3	22,4	24,1	2,3

Mes	Radiación horizontal diaria (kWh/m ² /d)	Presión atmosférica (kPa)	Temperatura del aire (°C)	Temperatura del Suelo (°C)	Velocidad del viento (m/s)
Junio	4,89	91,3	21,8	23,4	2,4
Julio	5,02	91,3	21,5	23,2	2,4
Agosto	5,54	91,3	21,7	23,7	2,4
Setiembre	6,15	91,3	21,7	24,1	2,5
Octubre	6,08	91,3	21,4	23,9	2,7
Noviembre	6,10	91,2	21,4	23,9	2,8
Diciembre	5,67	91,2	22,0	23,9	2,7
Anual	5,44	91,3	22,2	24,5	2,5

Fuente: RETScreen Expert - NASA

La radiación horizontal diaria en Ñaupe tiene un promedio anual de 5,44 kWh/m², siendo los meses de mayor irradiación septiembre, octubre y noviembre, con valores que alcanzan entre 6,08 y 6,15 kWh/m²/día. Esto representa condiciones óptimas para la generación de energía solar. La temperatura promedio mensual varía entre 21,4 °C y 23,5 °C, con un promedio anual de 22,2 °C, lo cual favorece la eficiencia de los paneles solares, que tienden a funcionar mejor en climas moderados. Además, la velocidad promedio del viento es de 2,5 m/s durante todo el año, lo que proporciona una refrigeración natural a los paneles, contribuyendo a su rendimiento estable.

4.2.4. Datos meteorológicos del 2015-2022

Tabla 9. Resumen de los datos meteorológicos del 2015-2022

Parámetro(s):			Promedio
TS	MERRA-2	Temperatura de la piel de la tierra (°C)	26,83
T2M	MERRA-2	Temperatura a 2 metros (°C)	24,51
T2MDEW	MERRA-2	Punto de rocío/escarcha a 2 metros (°C)	15,55
T2MWET	MERRA-2	Temperatura de bulbo húmedo a 2 metros (°C)	20,01
T2M_MAX	MERRA-2	Temperatura a 2 metros máximo (°C)	38,53
T2M_MIN	MERRA-2	Temperatura a 2 metros mínimo (°C)	15,37

Parámetro(s):			Promedio
ALLSKY_KT	CERES	Índice de claridad de insolación de cielo despejado (adimensional)	0,46
CLOUD_AMT	CERES	Cantidad de nubes (%)	68,76
CLRSKY_KT	CERES	Índice de claridad de insolación de cielo despejado (adimensional)	0,70
T2M_RANGE	MERRA-2	Temperatura a un rango de 2 metros (°C)	23,16
TOA_SW_DWN	CERES	Irradiancia descendente de onda corta en la parte superior de la atmósfera (kW-hr/m ² /día)	9,93
ALLSKY_SFC_UVA	CERES	Irradiancia UVA de toda la superficie del cielo (W/m ²)	11,76
ALLSKY_SFC_UVB	CERES	Irradiancia UVB de superficie para todo el cielo (W/m ²)	0,38
ALLSKY_SRF_ALB	CERES	All Sky Surface Albedo (adimensional)	0,15
ALLSKY_SFC_LW_DWN	CERES	Irradiancia descendente de onda larga de toda la superficie del cielo (W/m ²)	362,10
ALLSKY_SFC_SW_DNI	CERES	todo el cielo Superficie Onda corta Descendente Irradiación normal directa (kW-hr/m ² /día)	3,34
ALLSKY_SFC_SW_DWN	CERES	Irradiancia descendente de onda corta de toda la superficie del cielo (kW-hr/m ² /día)	4,56
CLRSKY_SFC_SW_DWN	CERES	Irradiación descendente de onda corta en superficie de cielo despejado (kW-hr/m ² /día)	6,96
ALLSKY_SFC_PAR_TOT	CERES	PAR total de superficie de todo el cielo (W/m ²)	86,72
ALLSKY_SFC_SW_DIFF	CERES	Irradiancia difusa de onda corta de toda la superficie del cielo (kW-hr/m ² /día)	2,25
CLRSKY_SFC_PAR_TOT	CERES	Superficie de cielo despejado PAR Total (W/m ²)	130,31
ALLSKY_SFC_UV_INDEX	CERES	Índice UV de superficie de todo el cielo (adimensional)	NAN

Fuente: RETScreen Expert - NASA

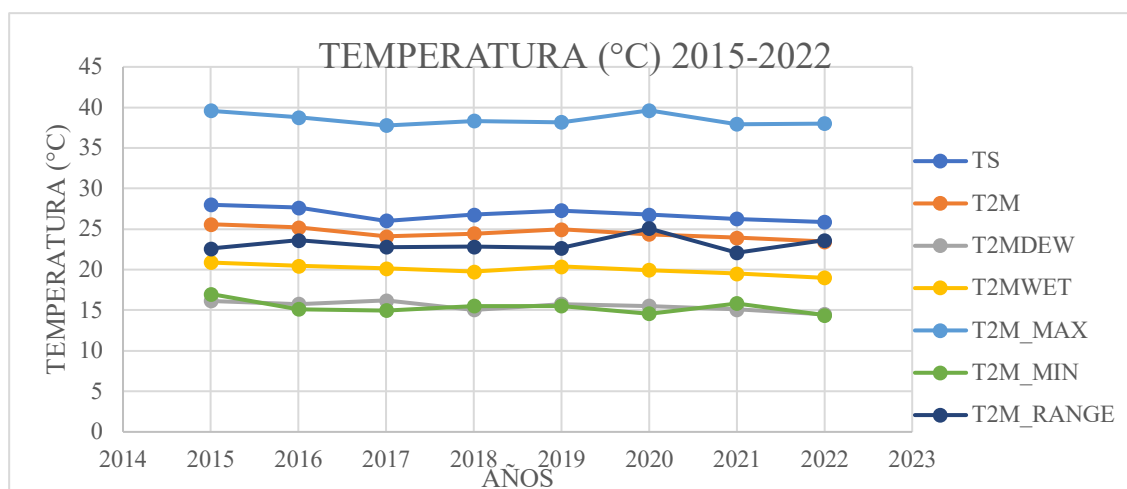


Figura 9. Gráfico de temperaturas en el centro de salud desde el 2015-2022.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 11 resume los datos meteorológicos de 2015 a 2022 en Ñaupe, mostrando condiciones favorables para el aprovechamiento de la irradiación solar. La temperatura promedio de la superficie terrestre es de 26,83 °C, adecuada para evitar el sobrecalentamiento de los paneles solares ubicados en el centro de salud. El índice de claridad para cielos despejados es de 0,70, lo que indica una buena incidencia de radiación solar directa, mientras que la cobertura nubosa promedio, aunque alta (68,76%), no limita significativamente la captación de energía solar.

En el gráfico de temperaturas se observan diversas métricas. La temperatura de la superficie terrestre (TS) es la más elevada, con picos cercanos a los 40 °C, reflejando el calentamiento del suelo. La temperatura a 2 metros (T2M) y el punto de rocío (T2MDEW) son más estables, con promedios entre 22 y 26 °C, ideales para mantener la eficiencia del sistema solar. La temperatura máxima anual supera los 35 °C, y la mínima ronda los 15 °C, evidenciando una variación térmica que los equipos deben soportar.

Estos datos indican un ambiente estable y adecuado para la operación continua y eficiente del sistema fotovoltaico, asegurando un suministro de energía confiable.

4.3. Diseñar el sistema fotovoltaico y conexión eléctrica al sistema eléctrico del centro de salud

Para el dimensionamiento de los paneles solar se consideró condiciones para poder saber cuántos paneles se utilizará además de la disposición física de los equipos.

4.3.1. Paneles solares

4.3.1.1. Hora solar pico

Representa las horas equivalentes de máxima intensidad solar diaria, crucial para estimar la producción de energía solar. Ayuda a dimensionar sistemas fotovoltaicos para maximizar la eficiencia y la generación de energía eléctrica.

$$\text{HSP} = \frac{\text{Irradiación global horizontal (GHI)/365 días}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$\text{HSP} = \frac{\frac{1 \text{ 937,9kW}}{\text{m}^2} / 365}{1 \text{ kW/m}^2} = 5,31 \text{ h}$$

Con la hora solar pico, se puede estimar el costo diario de la energía en corriente alterna para cargas adicionales. En corriente continua, se aplica el área de normativa multiplicada por 20 W/m² en la demanda según el CNE

4.3.1.2. Inclinación solar

La inclinación de los paneles solares en un sistema fotovoltaico es fundamental para optimizar la captación de radiación solar. Esta inclinación óptima ayuda a maximizar la producción de electricidad, adaptándose a las variaciones estacionales y asegurando un rendimiento energético óptimo en diversas condiciones climáticas y geográficas.

$$\beta = 3,7 + 0,69 \times \text{latitud}$$

$$\beta = 3,7 + 0,69 \times 5,5967$$

$$\beta = 7,06^\circ$$

Se considero 7,06° de inclinación solar, es por ello por lo que no necesitará de equipo para la inclinación y se podrá instalar en el techo del centro de salud.

4.3.1.3. Altura solar

La altura solar se refiere al ángulo vertical que forma el sol con respecto al horizonte en un lugar y momento específicos. Al medir este ángulo, se puede estimar la cantidad de energía solar disponible para la captación por los paneles fotovoltaicos, influenciando directamente en su rendimiento y eficiencia energética.

$$\theta = 90 - \text{latitud} - 23,45$$

$$\theta=90-5,5967-23,45$$

$$\theta=60,95^\circ$$

Luego se halla el MA, masa de aire. índice numérico que indica la trayectoria que recorre la atmosfera de la tierra, por la luz solar, para alcanzar un punto en la superficie.

$$MA = \frac{1}{\cos \theta} = 2,0596$$

Luego de tener la energía máxima diaria del centro de salud, se consideró que utilizara paneles sola de 650 W denominado Panel solar HiKu7 Mono PERC, con las siguientes dimensiones.

ENGINEERING DRAWING (mm)

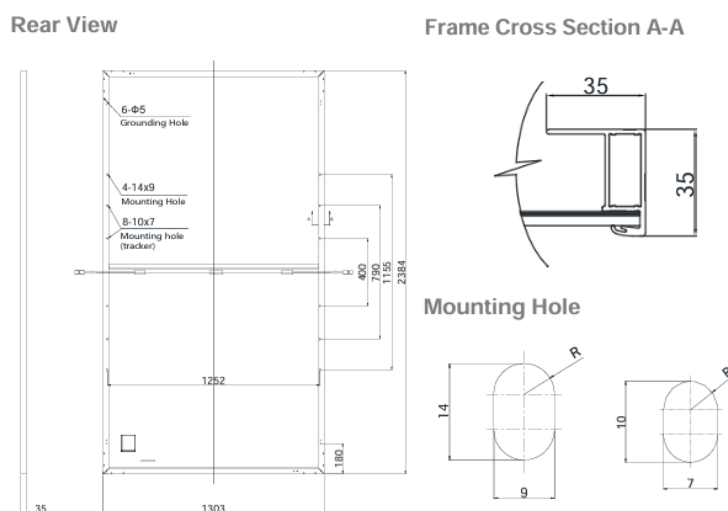


Figura 10. Dimensiones del panel solar.

Fuente: [24]

4.3.1.4. Condiciones estándar de medida (STC)

Tabla 10. Características térmicas del panel solar.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS			
Temperatura nominal de funcionamiento de la celda	NOCT	°C	45
Temperature Coefficient of Pmax	Y	%rc	-0,34
Temperature Coefficient of Voc	β_{voc}	%rc	-0,26
Temperature Coefficient of Isc	α_{isc}	%rc	0,005

Fuente: [24]

$$T_{\text{panel}} = T_{\text{ambiente}} + \frac{(\text{NOCT}-20)}{800} + E$$

T°	MIN	MAX	EN LA CELDA
Ta	15 °C	39 °C	45 °C

En invierno:

$$T_{\text{panel}} = 15^{\circ}\text{C} + \frac{(45^{\circ}\text{C}-20)}{800} + 100 \text{ W/m}^2$$

$$T_{\text{panel}} = 18^{\circ}\text{C}$$

En verano:

$$T_{\text{panel}} = 39^{\circ}\text{C} + \frac{(45^{\circ}\text{C}-20)}{800} + 100 \text{ W/m}^2$$

$$T_{\text{panel}} = 42^{\circ}\text{C}$$

En la celda:

$$T_{\text{panel}} = 45^{\circ}\text{C} + \frac{(45^{\circ}\text{C}-20)}{800} + 1000 \text{ W/m}^2$$

$$T_{\text{panel}} = 76^{\circ}\text{C}$$

4.3.1.5. Tensión de circuito abierto del panel

Tabla 11. Rendimiento eléctrico del panel solar.

Parámetros eléctricos condiciones de prueba estándar			
Tipo de módulo			CS7N 650W
Salida de potencia	Pmax	w	650
Tolerancia de potencia	ΔPmax	w	
Eficiencia del módulo	ηm	%	20,9
Tensión en Pmax	Vm	v	37,9
Corriente en Pmax	Im	A	17,16
Tensión de circuito abierto	Voc	V	45,2
Corriente de cortocircuito	Isc	A	18,43

Fuente: [24]

$$V_{\text{co}} = V_{\text{co}}(25^{\circ}\text{C}) + \beta x (T_{\text{panel}} - 25^{\circ}\text{C})$$

En invierno

$$V_{co}=45,2-0,26x(18^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{co}=46,89\text{V}$$

En verano

$$V_{co}=45,2-0,26x(42^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{co}=40,87\text{V}$$

En la celda

$$V_{co}=45,2-0,26x(76^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{co}=31,88\text{V}$$

4.3.1.6. Corriente de cortocircuito del panel

$$I_{sc}=I_{sc}(25^{\circ}\text{C})+\alpha x(T_{\text{panel}}-25^{\circ}\text{C})$$

En invierno

$$I_{sc}=18,43+0,05x(18^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{sc}=11,21\text{A}$$

En verano

$$I_{sc}=18,43+0,05x(42^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{sc}=12,35\text{A}$$

En la celda

$$I_{sc}=18,43+0,05x(76^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{sc}=14,04\text{A}$$

4.3.1.7. Número de paneles en serie

$$N_{\text{máx paneles en serie}} = \frac{U_{\text{máx MPP}}}{V_{\text{co a la } t^{\circ} \text{ min}}}$$

$$N_{\text{máx paneles en serie}} = \frac{500\text{V}}{43,65\text{V}}$$

$$N_{\text{máx paneles en serie}} = 10,66$$

4.3.1.8. Número mínimo de paneles en serie

$$N_{\text{min paneles en serie}} = \frac{U_{\text{min MPP}}}{V_{\text{co a la } t^{\circ} \text{ max}}}$$

$$N_{\text{min paneles en serie}} = \frac{120}{36\text{V}}$$

$$N_{\text{min paneles en serie}}=2,93618$$

4.3.1.9. Energía generada por el panel

$$E_{\text{panel}}=W_{p(T)} \times HSP \times \frac{V_{np}}{V_p}$$

$$E_{\text{panel}}=650W \times 5,31h \times \frac{37,9V}{45,2V}$$

$$=2\ 893,69\ W$$

Se considero una tensión nominal de la instalación de 48 V debido a que la potencia es mayor a 5 kW.

4.3.1.10. Dimensionamientos de los paneles solares

4.3.1.10.1. Cantidad de paneles solares

$$N_{TP}=\frac{E_{\text{gen}}}{E_{\text{panel}}}=\frac{27\ 780\ \text{Wh/día}}{2\ 894\ \text{Wh/día}}=10\ \text{paneles}$$

Se considero la energía máxima diaria generada por el centro de salud y además la energía generada por los paneles. De esta manera se sabe la cantidad de paneles que se va a necesitar.

4.3.1.10.2. Cantidad de paneles solares en paralelo

$$N_{PP}=\frac{I_{inv}}{I_{fv}}=\frac{27A}{18,43A}=2\ \text{paneles}$$

4.3.1.10.3. Cantidad de paneles solares en serie

$$N_{PS}=\frac{N_{TP}}{N_{PP}}=\frac{10}{2}=5\ \text{paneles}$$

4.3.1.10.4. Máxima tensión de entrada

$$V_{in}=1,25N_{PS}V_{oc}=1,25*2*45V=283\ V$$

Considerando los valores técnicos de los paneles solares y los cálculos realizados, se pueden resumir los siguientes resultados con respecto a la instalación de los paneles para cubrir la máxima demanda del centro de salud.

Tabla 12. Dimensionamiento de paneles solares.

N_S	5
N_P	2
N_{paneles}	10
V_{in}	283V

Fuente: Elaboración propia

El sistema fotovoltaico está compuesto por 10 paneles solares organizados en 5 ramas en paralelo, cada una formada por 2 paneles conectados en serie. Esta configuración permite alcanzar un voltaje total de 113 V. Los paneles en serie elevan el voltaje de cada rama, mientras que las 5 ramas en paralelo incrementan la corriente total del sistema. Esta combinación optimiza la generación de energía, adaptándose de manera eficiente a los requerimientos específicos del proyecto solar en Olmos-Ñaupe. Además, al distribuir los paneles en ramas paralelas, cualquier fallo en un panel afecta únicamente a su propia rama, minimizando el impacto en la producción general del sistema y manteniendo un voltaje más seguro y estable.

4.3.1.11. Protección contra sobretensiones (SPD)

Está diseñado para proteger equipos y sistemas eléctricos frente a picos transitorios de voltaje ocasionados por descargas atmosféricas o maniobras en la red. Su funcionamiento consiste en desviar o limitar el exceso de energía hacia el sistema de puesta a tierra, evitando daños en los equipos conectados. Por esta razón, es fundamental instalar uno en cada rama, considerando las características específicas de los paneles solares.

Tabla 13. Características del SPD.

Parámetro	DC (Paneles)	AC (Cargas)
Voltaje Nominal (U_n)	≥ 600 V DC	230-400 V AC
Corriente Nominal (I_n)	10 kA	5-10 kA
Corriente Máxima ($I_{m\acute{a}x.}$)	20-40 kA	20-40 kA
Nivel De Protección (U_p)	$\leq 2,5$ kV	$\leq 1,5$ -2,5 kV

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 3. DC SPD TIPO2

Fuente: [25]

4.3.2. Inversores

Se considera un sistema de almacenamiento de energía con inversor híbrido todo en uno EverExceed EGH10K-10E para los 10 paneles. Este sistema es monofásico y completamente puro. Además, tener incluido un controlador, pantalla LCD y dos baterías. Con las siguientes características:



Ilustración 4. EverExceed EGH10K-10E

Fuente: [26].

Tabla 14. Datos de entrada DC del inversor.

DATOS DE ENTRADA		
Máxima corriente de entrada		27,0 A
Máxima corriente de entrada total utilizada		54,0 A
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV		33,0 A
Mínima tensión de entrada	U _{dc,min}	120 V
Tensión CC mínima de puesta en servicio	U _{dc,arranque}	150 V
Tensión de entrada nominal	U _{dc,x}	360 V
Máxima tensión de entrada	U _{dc,máx}	500 V

Fuente: [26].

4.3.2.1. Corriente de entrada máxima

$$N_{\text{ramales}} * I_{\text{sc máxima}} \leq I_{\text{entrada máxima del inversor}}$$

$$2 * 19,26 \text{ A} \leq 54 \text{ A}$$

$$39 \text{ A} \leq 54 \text{ A} \quad \text{ok}$$

4.3.2.2. Comprobación de funcionamiento

$$N_{\text{paneles serie}} * V_{\text{co (23°C)}} < \text{Tensión máx.}$$

$$10 \text{ paneles} * 46,89 \text{ V} < 500 \text{ V}$$

$$469 \text{ V} < 500 \text{ V} \quad \text{ok}$$

$$N_{\text{paneles serie}} * V_{\text{co (76°C)}} > \text{Tensión min.}$$

$$10 \text{ paneles} * 31,88 \text{ V} > 120 \text{ V}$$

$$319 \text{ V} > 120 \text{ V} \quad \text{ok}$$

4.3.2.3. Potencia nominal del inversor

$$S_{\text{inv_out}} = 1,25 \times \frac{P_{\text{carCA}}}{F_p} \times \text{FS}$$

$$S_{\text{inv_out}} = 1,25 \times \frac{8\,423}{0,8} \times 1 = 13\,160 \text{ VA}$$

4.3.2.4. Potencia de entrada del inversor

$$P_{\text{inv_in}} = 1,25 \times \frac{P_{\text{carCA}}}{\eta_{\text{inv}}} \times \text{FS}$$

$$P_{\text{inv_in}} = 1,25 \times \frac{8\,423}{0,85} \times 1 = 12\,386 \text{ W}$$

El inversor EverExceed EGH10K-10E se adapta perfectamente a las necesidades energéticas del centro de salud en Ñaupe, ya que combina capacidad híbrida, alta eficiencia y robustez en un solo equipo. Este inversor permite gestionar de manera integral la energía proveniente de los paneles solares, la red y las baterías, proporcionando un suministro confiable incluso durante cortes de electricidad. Al incorporar el controlador de carga y las baterías en una misma unidad, simplifica la instalación y optimiza el espacio disponible. Además, su sistema de gestión de baterías (BMS) protege el equipo ante sobrecargas y posibles fallos en las baterías, garantizando una operación segura y continua. Con funciones avanzadas de monitoreo en tiempo real, este inversor asegura un rendimiento eficiente y cumple con los requisitos de confiabilidad esenciales para el centro de salud.

Tabla 15. Datos de la ficha técnica del inversor.

BATERÍA	
Capacidad normal	200 Ah
Voltaje de batería	51 V
Cantidad de batería	2
Capacidad energética	10,24 kWh
Ciclo de vida	6 000 ciclos
PROTECCIÓN	
Protección contra cortocircuitos	Sí
Protección de sobrecarga	Sí
protección contra sobrecalentamiento	Sí
Protección alta/baja del voltaje de la batería	Sí
Protección alta/baja del voltaje de entrada de CA	Sí

Fuente: [26].

4.3.3. Eficiencia del sistema fotovoltaico

La eficacia de un sistema fotovoltaico depende de la calidad de sus componentes, las condiciones ambientales, un diseño adecuado y la gestión de pérdidas. Factores como la irradiancia solar, temperatura, sombra, orientación de los paneles y conexión del sistema influyen en el rendimiento energético. Además, pérdidas por envejecimiento, consumo en reposo y errores de instalación pueden reducir la energía útil aprovechada.

$$n_T = n_B \times n_{inv} \times n_R \times n_x = n_B \times n_{inv} \times n_R \times n_x$$

n_B : eficiencia, rendimiento de batería (75-90%)

n_{inv} : eficiencia del inversor

n_R : eficiencia del rendimiento del regulador.

n_x : eficiencia de pérdidas adicionales

$$n_T = 0,85 \times 0,95 \times 0,90 \times 0,98 = 0,71 = 71\%$$

La eficiencia total del sistema se calculó considerando las principales pérdidas asociadas a los componentes del sistema. La eficiencia de la batería se estableció en **85%**, un valor común para baterías de plomo-ácido que tienen un rendimiento moderado en el proceso de carga y descarga. Para el inversor, se asumió una eficiencia del **95%**, de acuerdo con las características técnicas del modelo **EverExceed EGH10K-10E**, lo cual es consistente con el rendimiento esperado de los inversores actuales. La eficiencia del regulador se consideró en **90%**, un nivel estándar que

podría mejorarse si se confirma el uso de un regulador tipo MPPT. Finalmente, las pérdidas no contempladas, como las asociadas al cableado o al consumo en reposo, se estimaron en **98%**, reflejando un sistema bien diseñado con pérdidas mínimas. Al combinar todos estos factores, la eficiencia total del sistema se calculó en **71%**, indicando que aproximadamente el 71% de la energía generada por el sistema se entrega a las cargas, teniendo en cuenta las pérdidas inherentes a cada componente.

4.3.4. Simulación PV Syst

Photovoltaic System, diseñado para el análisis y diseño de sistemas fotovoltaicos, se utiliza para planificar, simular y optimizar proyectos solares. En este caso, se realizó la simulación de los paneles calculados para evaluar su rendimiento bajo distintas condiciones, comparando los resultados obtenidos con los valores teóricos esperados.

Esto permitirá analizar de manera más detallada la eficiencia del sistema fotovoltaico, identificando posibles pérdidas energéticas y puntos de mejora en el diseño. Además, se buscará validar los datos obtenidos en la simulación con el fin de optimizar el sistema y garantizar un desempeño adecuado en su implementación real.

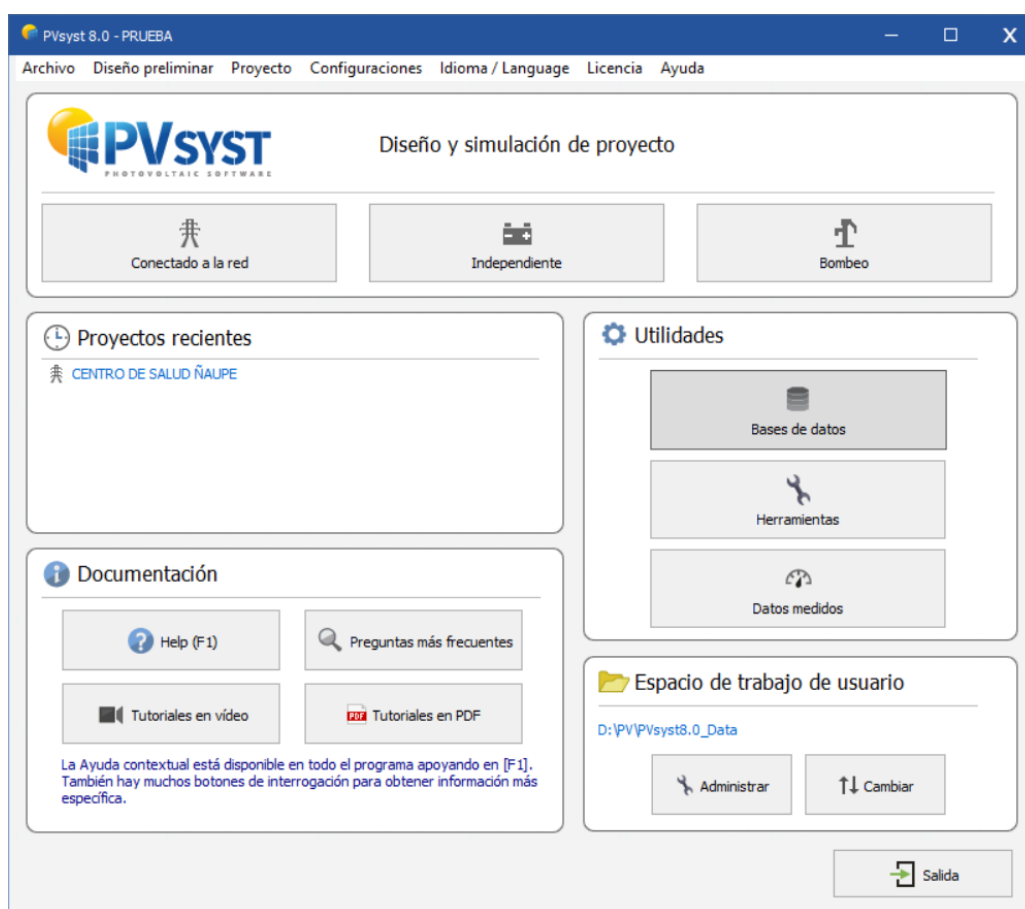


Ilustración 5. Pantalla principal de PvSyst

Fuente: Elaboración propia

Primero se agregó a la base de datos el inversor y los paneles fotovoltaicos que se utilizarán, con el objetivo de realizar una simulación más precisa y optimizar su implementación en el sistema.

Ilustración 6. Base de datos de módulos fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7. Base de datos del inversor.

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se creó el primer archivo, en el cual se ubicó inicialmente el Centro de Salud en Ñaupe para incorporarlo en la base de datos. Esto permitió generar información meteorológica específica para la zona, necesaria para las simulaciones del sistema fotovoltaico.

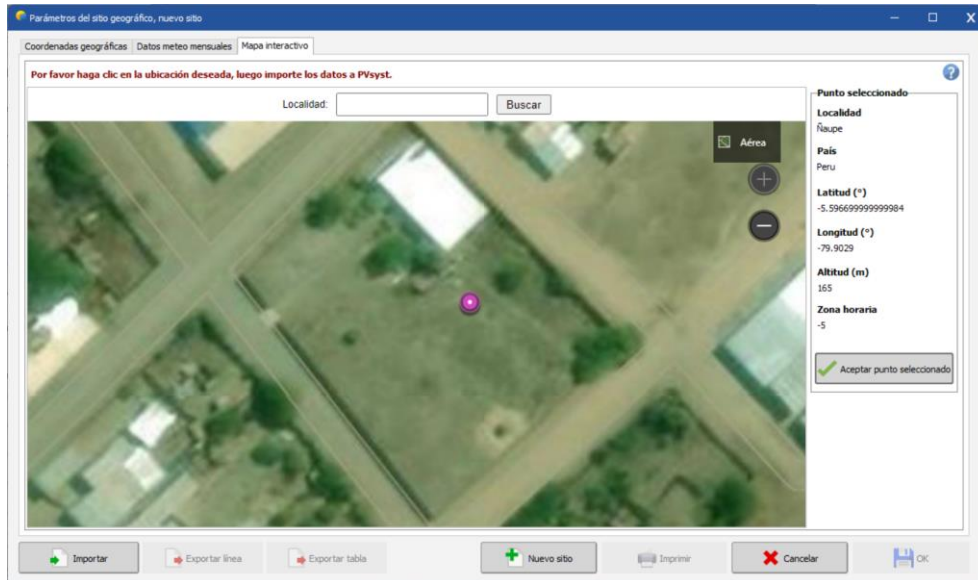


Ilustración 8. Ubicación del centro de salud en PVsyst.

Fuente: Elaboración propia

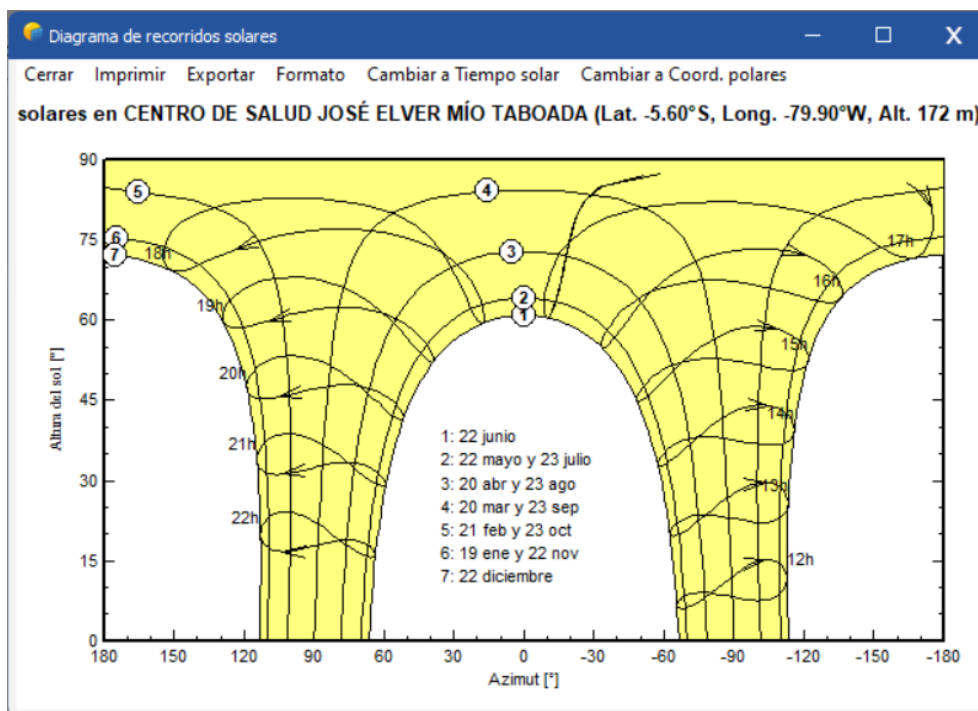


Ilustración 9. Diagrama de recorridos solares.

Fuente: Elaboración propia

El diagrama refleja las trayectorias solares en fechas clave, como solsticios y equinoccios, mostrando cómo varía la posición del sol según la hora del día. Las líneas horarias permiten identificar el recorrido solar en momentos específicos, como el mediodía solar. Este análisis es crucial para optimizar la orientación e inclinación de los paneles solares, asegurando una captación de energía más eficiente. Además, permite prever posibles pérdidas por sombras y ajustar el diseño del sistema fotovoltaico para maximizar su rendimiento a lo largo del año, considerando las condiciones específicas de ubicación y cambios estacionales en la radiación solar.

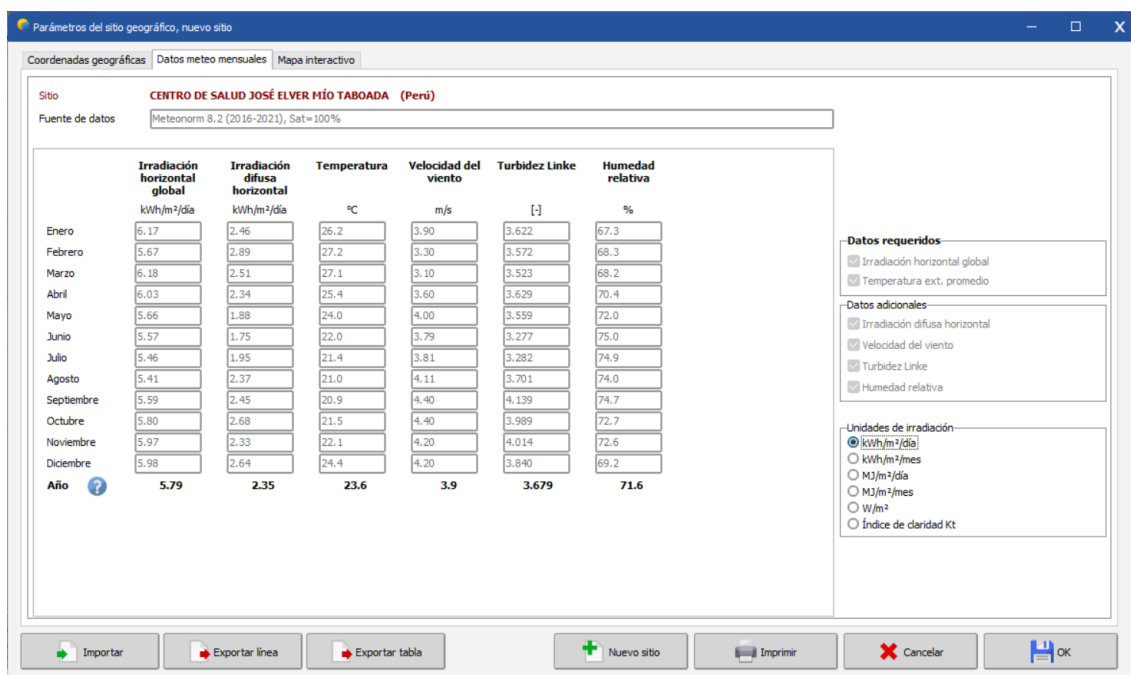


Ilustración 10. Parámetros del sitio geográfico.

Fuente: Elaboración propia

El inversor del sistema fotovoltaico está equipado con dos MPPT, lo que permitió dividir el sistema en dos subconjuntos para distribuir la potencia de manera equitativa. Esta configuración no solo optimiza el rendimiento del sistema al aprovechar mejor la energía disponible, sino que también garantiza un funcionamiento seguro y confiable.

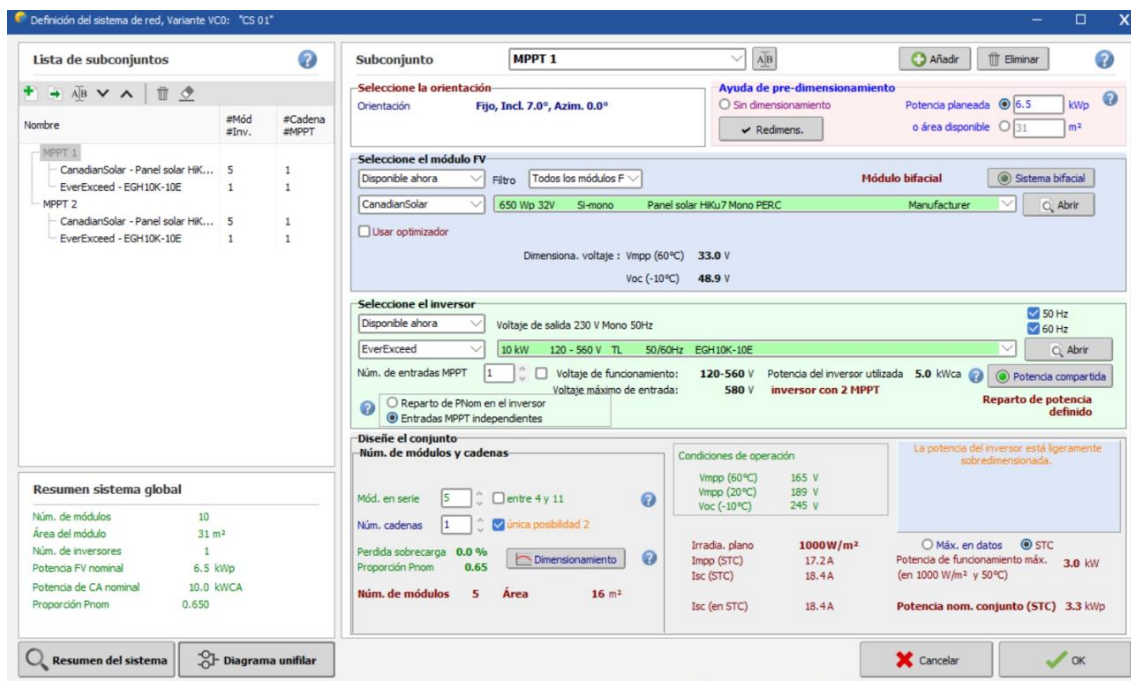


Ilustración 11. Configuración del sistema FV.

Fuente: Elaboración propia

El inversor del sistema fotovoltaico ha sido ligeramente sobredimensionado, lo cual garantiza que, aunque no se utilice su capacidad máxima en la configuración actual, se dispone de margen suficiente para futuras ampliaciones o mejoras del sistema. Esta sobredimensión asegura una operación estable y eficiente, evitando sobrecargas y prolongando la vida útil del equipo. Además, esta decisión se alinea con la normativa 110 del MINSA, que establece requisitos para la ampliación y optimización de instalaciones energéticas en centros de salud. De esta manera, el sistema no solo cumple con las necesidades actuales, sino que también está preparado para adaptarse a mayores demandas energéticas en el futuro.

Tabla 16. Comparación de cálculo teórico y simulación PV Syst.

Aspecto	Cálculo Teórico	Simulación PVsyst
Producción Energética	10 325,12 kWh/año	11 103 kWh/año
Configuración de Paneles	5 ramas paralelas con 2 paneles en serie.	5 ramas paralelas con 2 paneles en serie, distribuidas en 2 MPPTs.
Voltaje Total	113 V	113 V

Fuente: Elaboración propia

La comparación entre los resultados teóricos y la simulación en PVsyst demuestra coherencia en aspectos clave, como la configuración del sistema y la selección del modelo de inversor. Sin embargo, PVsyst proporciona un análisis más detallado al incluir factores que no se consideran en el cálculo teórico, como pérdidas térmicas, desajustes entre módulos y la calidad de los materiales, reflejados en un Proporción de Rendimiento (PR) del 80,09%.

$$\% \text{ error} = \left| \frac{X_e - X_t}{X_t} \right|$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{11\ 103 - 10\ 325,12}{10\ 325,12} \right| = 7\%$$

Esta diferencia resalta la importancia de utilizar herramientas de simulación para optimizar el diseño, anticipar posibles ineficiencias y garantizar un rendimiento confiable en condiciones reales. La simulación asegura que el sistema sea capaz de satisfacer la demanda energética del Centro de Salud Ñaupe de manera eficiente y sostenible.

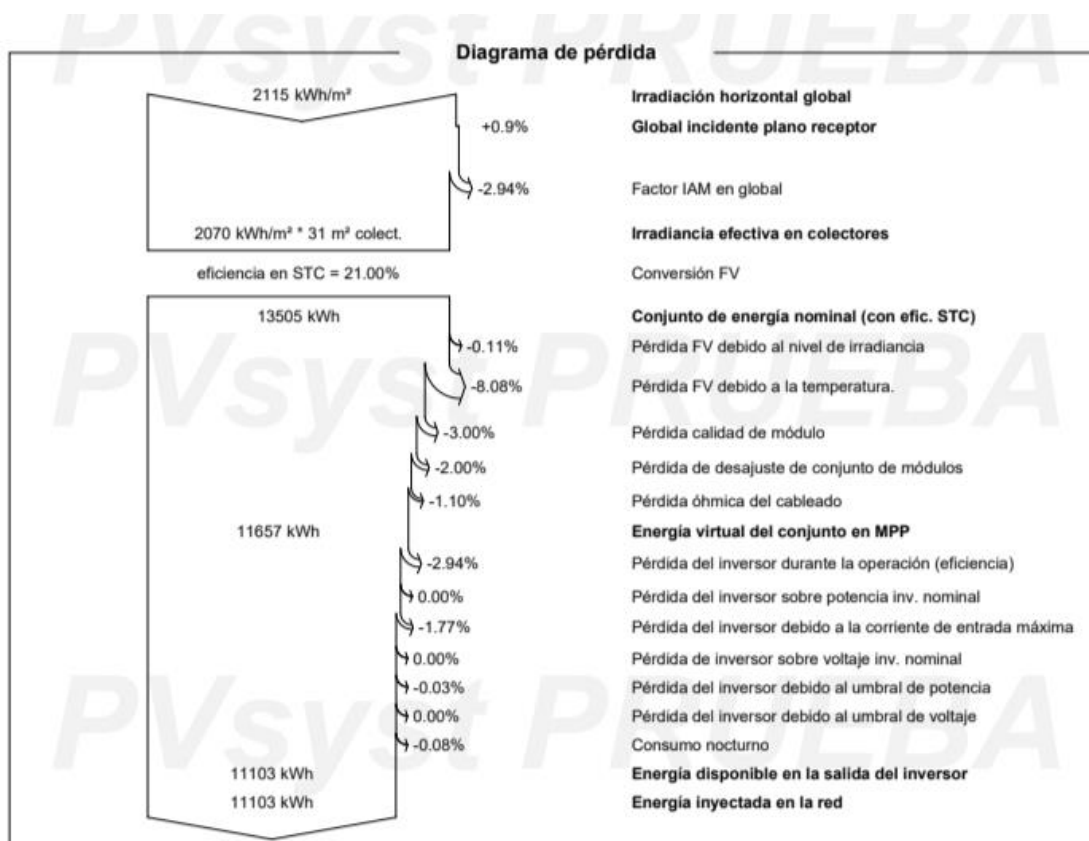


Figura 11. Diagrama de pérdidas.

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de pérdidas desglosa las reducciones de energía desde la irradiación solar incidente hasta la energía útil final inyectada a la red. Las pérdidas más significativas corresponden a las térmicas (-8,08%), debidas al calentamiento de los paneles, lo que disminuye su eficiencia en días calurosos. Las pérdidas por desajuste entre módulos (-2,00%) y la calidad de los módulos (-3,00%) también contribuyen al rendimiento subóptimo. Además, las pérdidas asociadas al inversor, incluyendo conversión de CC a CA y consumo nocturno, representan un impacto menor (-2,94%), destacando un diseño adecuado de los componentes del sistema.

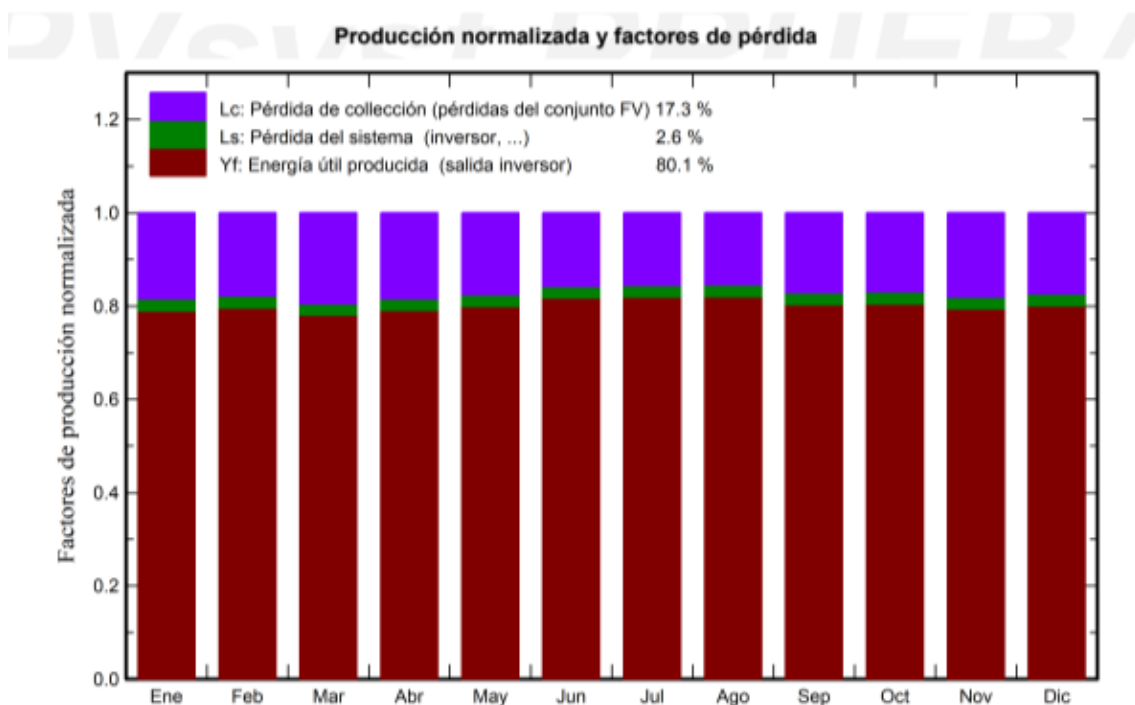


Figura 12. Producción normalizada y factores de pérdida.

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de producción normalizada y factores de pérdida revela que el sistema opera de manera eficiente, con un 80,1% de la energía potencial convertida en energía útil inyectada en la red. Las pérdidas del sistema relacionadas con el inversor son bajas (2,6%), mientras que las pérdidas de colección en el conjunto fotovoltaico, como las térmicas y desajustes, representan la mayor proporción (17,3%). Esta distribución de pérdidas sugiere que el diseño está bien optimizado para las condiciones locales, aunque reducir las pérdidas térmicas podría mejorar aún más el rendimiento general del sistema.

4.4. Modelamiento del sistema de producción interconectado a la red

El centro poblado de Ñaupe cuenta con el operador eléctrico ELECTRONORTE, conocido como ENSA, responsable de gestionar las infraestructuras de media y baja tensión en la zona. Este centro poblado está estratégicamente posicionado cerca del centro de salud según el mapa energético minero de Osinergmin. Esta ubicación facilita una supervisión directa del transformador de distribución y permite monitorear de cerca las operaciones de la empresa distribuidora de energía en la región.

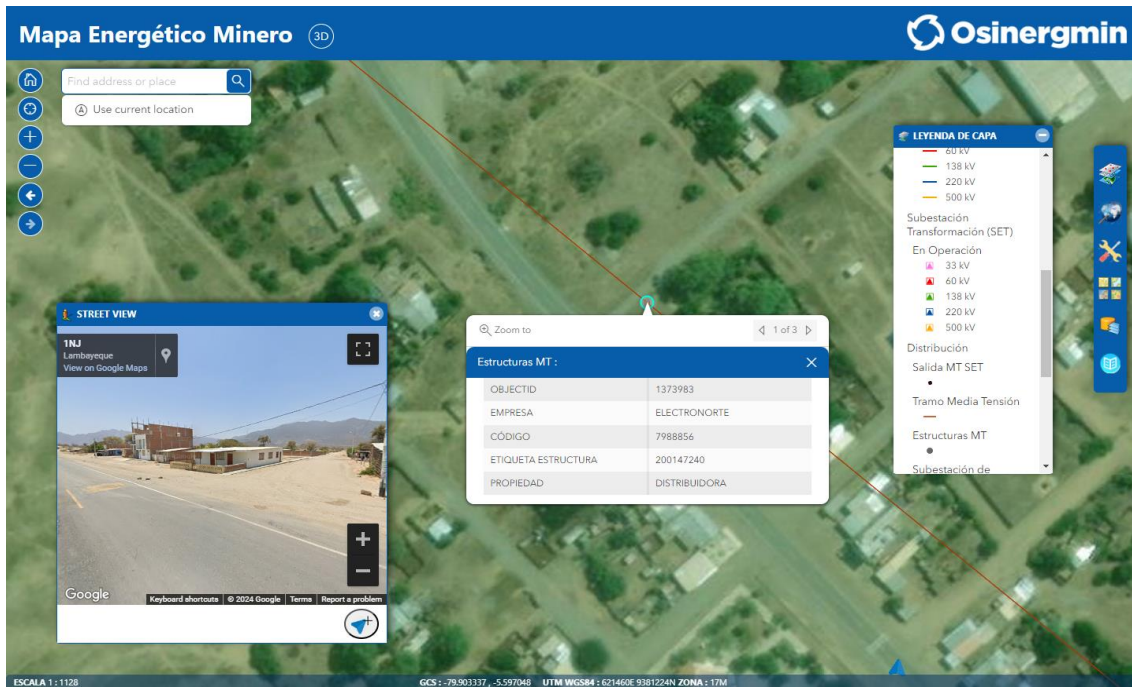


Figura 13. Mapa energético minero del centro poblado Ñaupe.

Fuente: Osinergmin



Figura 14. Transformadores en C.P. Ñaupe.

Fuente: Osinergmin

4.4.1. Tablero de transferencia

Gestionan el cambio del suministro eléctrico entre una fuente principal y una fuente de respaldo o emergencia, ya sea de forma automática o manual, garantizando la continuidad del servicio ante fallos en la fuente principal. Los interruptores más convencionales son:

4.4.1.1. Automatic Transfer Switch (ATS)

Interruptor de transferencia automática, está regulado por normativas específicas que varían según el nivel de tensión y la capacidad para manejar cortocircuitos.

4.4.1.2. Static Transfer Switch (STS)

Interruptor de Transferencia Estática, utiliza tecnología de conmutación rápida basada en semiconductores.

4.4.1.3. Manual Transfer Switche (MTS)

Interruptor de Transferencia Manual, depende de la acción de un operador, más simple, lento y económico.

Existen dos tipos de transferencia de energía: abierta y cerrada. La abierta corta momentáneamente el suministro al pasar de una fuente a otra, mientras que la cerrada mantiene ambas fuentes sincronizadas para evitar cortes, aunque requiere una mayor protección por posibles corrientes de falla. Los esquemas de transferencia pueden ser simples o más complejos, con múltiples fuentes y barras de transferencia para garantizar un suministro continuo [27].

Tabla 17. Características de tablero de transferencia.

Capacidad	30,00 A
Tensión nominal	120/240
Número de posiciones	2
Tipo de instalación	Montaje en panel

Fuente: Elaboración propia

La instalación de un interruptor de transferencia manual (MTS) para un centro de salud rural con un sistema solar de 6,5 kW es una opción económica y eficiente. Su operación sencilla y bajo coste lo hacen ideal en áreas rurales donde los recursos son limitados y el respaldo eléctrico es ocasional. Al no depender de componentes electrónicos complejos, ofrece una mayor fiabilidad y control manual sobre la conmutación, lo que es adecuado para un sistema pequeño que funciona 6 horas diarias. Además, permite que el personal gestione directamente el cambio a la red eléctrica en caso de necesidad, garantizando la continuidad del servicio sin la necesidad de automatización costosa.

4.4.2. Corriente del sistema

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

$$I = \frac{6\,500\text{W}}{240\text{V}(0,9)} = 30\text{A}$$

Se considera un margen de seguridad de 1,25

$$I = 30\text{A} \times 1,25 = 37,62 \text{ A} \approx 40\text{A}$$

Se considera 40 A para poder elegir un interruptor de transferencia adecuado respetando el límite en máxima carga, debido a que podría provocar fallos y disminuir la vida útil del interruptor. Al elegir interruptores de 63 A permite flexibilidad para añadir nuevos equipos o aumente la demanda del centro de salud.



Figura 15. Interruptor de transferencia 63A.

Fuente: [28].

4.4.3. Calibre de los fusibles

La protección dentro del sistema fotovoltaico es primordial para salvaguardar equipos garantizando un suministro continuo y seguro de energía. Protege a las personas que interactúan con el sistema.

4.4.3.1. Protección sobre corriente

Este cálculo se basa en la corriente de cortocircuito del panel multiplicada por un factor de seguridad (1,25) para obtener la corriente de protección adecuada para cada rama de paneles.

$$I_1 = I_{sc} \times 1,25$$

$$I_1 = 18,43A \times 1,25 = 23,0375A \approx 25A$$

4.4.4. Corriente total del sistema

Este cálculo considera la suma de la corriente de todas las ramas de paneles solares conectadas en paralelo. Aplicando un factor de seguridad adicional.

$$I_2 = (2 \text{ paneles} \times 18,43A) \times 1,25$$

$$I_1 = 37A \times 1,25 = 46A \approx 50A$$

4.4.4.1. Protección AC

$$\frac{P_{salida}}{V} = \frac{1\ 000}{230} = 43A \approx 50A$$

4.4.4.2. Disyuntor del sistema

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

$$I = \frac{6\ 500}{240 \times 0,9} = 30,09A \times 1,25 = 37,61A \approx 40A$$

4.4.5. Diagrama unifilar

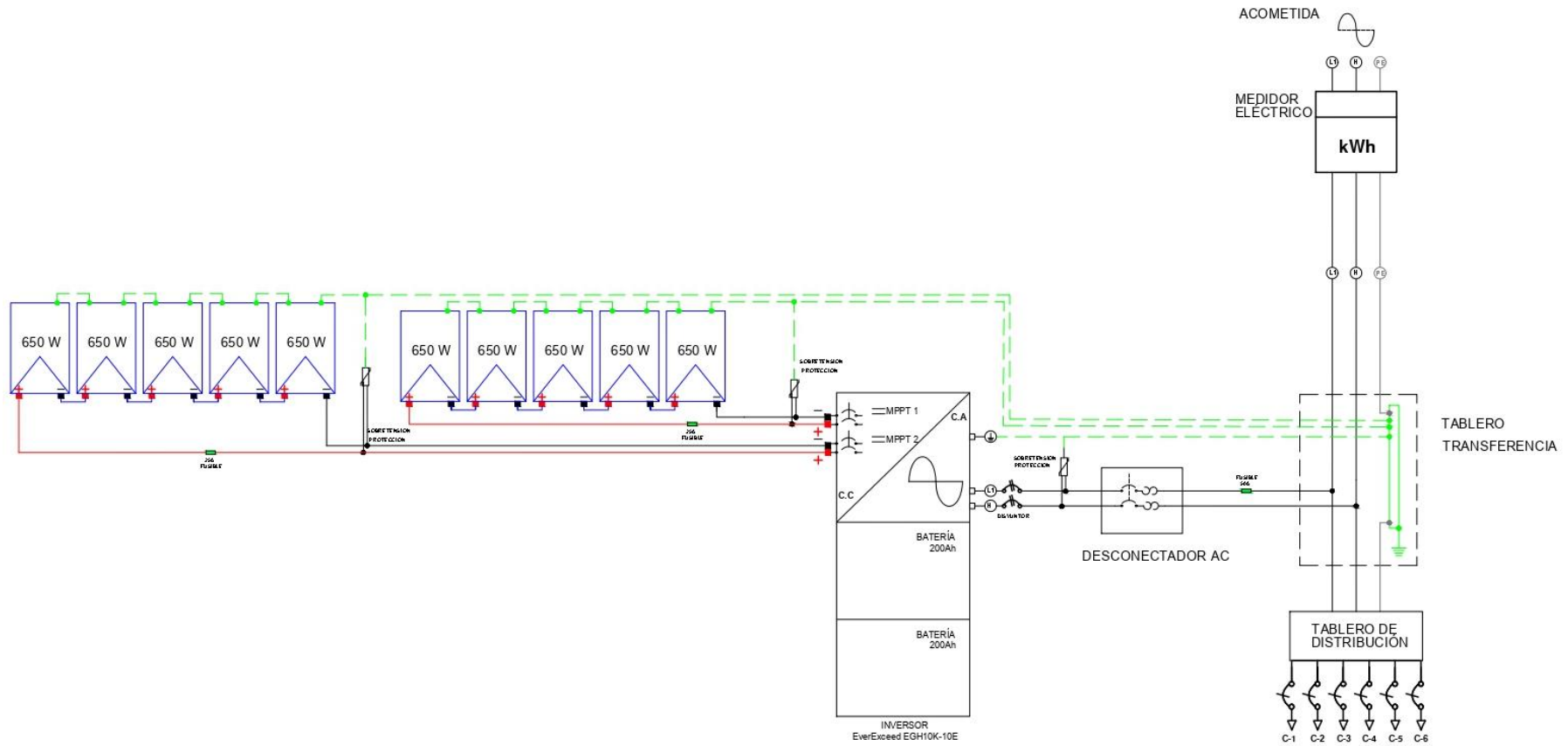


Figura 16. Diagrama de conexión eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

El sistema eléctrico híbrido combina energía fotovoltaica y red eléctrica para garantizar un suministro confiable. Consta de paneles solares de 650 W, dispuestos en 5 paneles en serie y 2 arreglos en paralelo, cuya energía se convierte de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA) mediante un inversor híbrido que gestiona dos baterías de 200 Ah.

Se halló la distribución eléctrica con la fórmula de corriente en cada circuito, considerando iluminación, tomacorrientes, equipos biomédicos y refrigeración. Cada circuito cuenta con interruptores termomagnéticos y diferenciales dimensionados según normativa MINSA 110 y CNE, asegurando protección, eficiencia operativa y el cumplimiento de estándares para garantizar la seguridad de la instalación eléctrica.

Tabla 18. Distribución de cargas eléctricas.

Distribución de diagrama unifilar			Fp	I (a)	Interruptor termomagnético	Interruptor diferencial
C-1	Iluminación	288 W	1	1,64 A	16 A	20 A
C-2	Tomacorriente	1 251 W	1	7,11 A	16 A	20 A
	Ventilador	800 W				
	Computadora	100 W				
	Impresora	42 W				
	Lampara	20 W				
C-3	Refrigeración	945 W	0,85	6,31 A	16 A	20 A
	Refrigerador	306 W				
	Congelador	639 W				
C-4	Equipos biomédicos básicos	2 500 W	0,85	16,71 A	20 A	25 A
	Autoclave	1 000 W				
	Esterilizador	600 W				
	Baño maría	800 W				
	Ecógrafo	100 W				
C-5	Equipos-área crítica	3 000 W	0,85	20,05 A	25 A	30 A
	Concentrador	2 400 W				
	Aspirador	100 W				
	Centrifuga	500 W				
C-6	Electrobomba	373 W	0,85	2,49 A	16 A	20 A
Interruptor general		8 356 W	0,85	55,86 A	63 A	80 A

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Ubicación de los 10 paneles solares.

Fuente: Elaboración propia

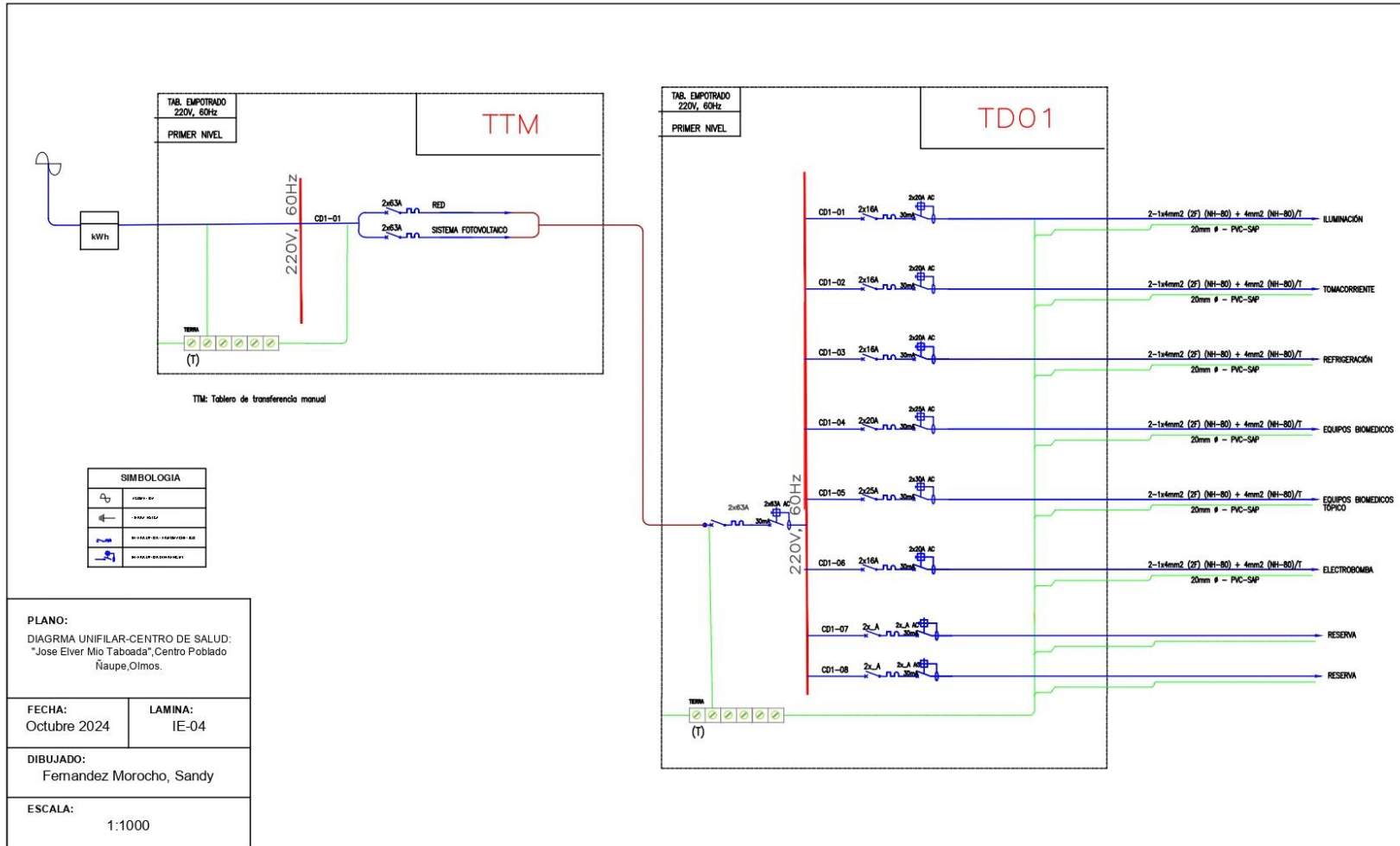


Figura 18. Diagrama unifilar.

Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Calibre de conductores

Se considero en el dimensionamiento del calibre del conductor para la instalación fotovoltaica en dos tramos: desde los módulos fotovoltaicos hasta el inversor, y desde el inversor hasta el medidor, incluyendo su conexión a la red eléctrica. Para este tipo de sistemas, se seleccionó el cable CENTELSA fotovoltaico tipo PV 2 000V 90 °C SR, el cual presenta ventajas importantes como resistencia a la intemperie, capacidad de operación a temperaturas elevadas, aislamiento libre de halógenos, propiedades retardantes de llama, buena flexibilidad y cumplimiento con normas técnicas internacionales.

Tabla 19. Características del cable conductor.

Conductor			Ampacidad	
Calibre	Sección transversal	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Un Cable al Aire	Hasta Tres Conductores en Ducto
AWG	mm ²	Ω/km	A	
14	2,08	8,4443	30	23
12	3,31	5,3149	41	30
10	5,26	3,3436	56	41
8	8,37	2,1021	78	55
6	13,3	1,3226	106	73
4	21,15	0,8478	141	96
2	33,62	0,5332	190	129
1/0	42,41	0,3351	259	172
2/0	53,48	0,2659	300	194
4/0	67,43	0,1688	405	260
250	85,01	0,1429	455	290
500	253,4	0,0728	703	430

Fuente: [29]

4.4.6.1. TRAMO 01: Módulo fotovoltaico con el inversor

El sistema fotovoltaico está compuesto por un total de 10 paneles solares, organizados en 5 ramas en paralelo con 2 paneles conectados en serie en cada rama. Para el análisis de rendimiento eléctrico, se utilizarán los datos específicos de la ficha técnica de cada panel solar. Además, se ha considerado la disposición espacial y las dimensiones del inversor y los paneles para estimar la longitud óptima del recorrido de cableado, asegurando una instalación eficiente y con mínimas pérdidas de energía.

- **Dimensiones del inversor:** El inversor tiene un ancho de 0,60 m, una altura de 1,31 m, y una profundidad de 0,26 m. Considerando la disposición y los espacios requeridos, la distancia efectiva entre los módulos y el inversor es de 2 metros.

$$0,60\text{m}+1,31\text{m}+0,26\text{m}=2\text{m}$$

- **Distribución de los paneles solares:** Los paneles están dispuestos en una configuración de 5 módulos en línea horizontal, con una distancia de 1,40 metros entre cada uno, resultando en una extensión horizontal total de 7,02 metros. En la dirección vertical, los paneles están organizados en 2 filas, con una separación de 2,48 metros, dando una longitud vertical total de 4,97 metros.

$$(2 \times 2,48\text{m}) + (5 \times 1,40\text{m}) = 11,98\text{m}$$

- **Longitud total:** La longitud asegura que el cableado cubra todo el trayecto requerido para la correcta interconexión de los paneles y su conexión con el inversor, optimizando la disposición del sistema y minimizando pérdidas de energía en el recorrido.

$$11,98\text{m} \times 2 + 2\text{m} \times 2 = 28,31\text{ m}$$

4.4.6.1.1. Corriente que circula

$$I_1 = I_{sc} \times 1,25$$

$$I_1 = 18,43\text{ A} \times 1,25 \times 2 = 46,08\text{A}$$

4.4.6.1.2. Tensión máxima de la rama

$$V_{\text{textrmGmpp}} = N_s \times V_{pm}$$

$$V_{\text{textrmGmpp}} = 5 \text{ paneles en serie} \times 37,9\text{ V} = 189,5\text{ V}$$

4.4.6.1.3. Sección del tramo 01

$$S = \frac{200 \times L \times I_1}{\Delta V\% \times V_{\text{Gmpp}} \times \gamma_\theta}$$

$$S = \frac{200 \times 28,31\text{ m} \times 46,08\text{A}}{3 \times 189,5\text{V} \times \frac{46\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}} = 9,98\text{ mm}^2$$

$$\approx 13,3\text{ mm}^2 \approx 6\text{AWG}$$

4.4.6.2. TRAMO 02: El inversor hasta el medidor

El inversor y el tablero de transferencia se ha estimado en 37 metros, desde el inversor hasta el punto de conexión eléctrica. Se consideró 2 metros adicionales hasta el tablero de transferencia y 35 entre el inversor. Esta longitud es un factor crítico para calcular la caída de tensión en el sistema y definir la sección transversal del conductor, dado que una mayor distancia implica una mayor resistencia en el cableado y, por ende, mayores pérdidas energéticas.

4.4.6.2.1. Corriente de salida del inversor

La corriente máxima de salida del inversor debe calcularse para asegurar que el conductor seleccionado soporte la carga sin riesgos de sobrecalentamiento.

Tabla 20. Datos de salida del inversor.

DATOS DE SALIDA		
Potencia nominal CA	Pac	10 000
Máxima corriente de salida	Iac,max	45,5
Frecuencia	50	60

Fuente: [26].

$$I_2=45,50A$$

El factor de seguridad es considerado dentro de los cálculos del fabricante, por lo que la corriente es la misma.

4.4.6.2.2. Sección del tramo 02

$$S = \frac{200 \times L \times I_1}{\Delta V\% \times V_{Gmpp} \times \gamma_\theta}$$

$$S = \frac{200 \times 37 \text{ m} \times 45,50A}{3 \times 189,5V \times 46\Omega \text{mm}^2/\text{m}} = 21,22 \text{ mm}^2 \approx 33,62 \text{ mm}^2 \approx 2\text{AWG}$$

4.4.7. Caída de tensión

Considerando que el cable seleccionado es el modelo CENTELSA fotovoltaico tipo PV XLPE 2000V 90°C SR, se tomó en cuenta la resistividad y el coeficiente de temperatura del conductor. Sin embargo, los valores estándar de resistividad corresponden a una temperatura de 20 °C, por lo que fue necesario calcular la resistividad del cobre a una temperatura de operación de 90 °C.

$$\rho_T = \rho_{20} \times [1 + \alpha (T - 20)]$$

ρ_{20} : Resistividad del cobre a 20°C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$): 0,0175 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

α : Coeficiente de temperatura del cobre (/°C): 0,00393/°C

$$\rho_T = 0,0175\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times [1 + 0,00393/^\circ\text{C} \times (90^\circ\text{C} - 20)]$$

$$\rho_T = 0,0223 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

4.4.7.1. Tramo 01

Considerando los datos correspondientes a dicho tramo, se elaboró la siguiente tabla con el propósito de calcular la caída de tensión en el Tramo 01. Además, se tuvo en cuenta que la longitud ya incluye el recorrido de ida y vuelta, por lo que no será necesario volver a multiplicarla en el cálculo.

Tabla 21. Datos de tramo 01.

DATOS TRAMO 01	
P	6 500W
L	28,31 m
V_{string}	189,5 V
ρ	0,02231 Ω·mm ² /m
S	13,3mm ²
I	46,08 A

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot P}{V \cdot S}$$

$$\Delta V = \frac{0,02231 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 28,31 \text{ m} \cdot 6 500\text{W}}{189,5 \text{ V} \cdot 13,3\text{mm}^2}$$

$$\Delta V = 2,19$$

4.4.7.2. Tramo 02

En cuanto a este tramo, se resolvió sin necesidad de considerar la potencia, utilizando en su lugar datos reales del sistema en funcionamiento para obtener un cálculo preciso.

Tabla 22. Datos tramo 02.

DATOS TRAMO 02	
L	74,00 m
V_{string}	230
ρ	0,02231 Ω·mm ² /m
S	33,62mm ²
I	45,50 A

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot P}{V \cdot S} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V = \frac{0,02231 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 74 \text{ m} \cdot 45,50 \text{ A}}{33,62 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V = 2,23$$

Al analizar los resultados de caída de tensión en la instalación fotovoltaica, se observa un excelente dimensionamiento en ambos tramos: en el Tramo 1 (DC) se registra apenas un 1,2% (2,19V) sobre 189,5V, mientras que el Tramo 2 (AC) presenta un 0,97% (2,23V) sobre 230V, valores significativamente inferiores al límite recomendado del 3%. Este dimensionamiento óptimo, con conductores de secciones generosas (especialmente el tramo AC con 33,62mm²), asegura alta eficiencia energética, menor calentamiento, mayor vida útil y flexibilidad para futuras ampliaciones, equilibrando perfectamente inversión inicial y rendimiento a largo plazo

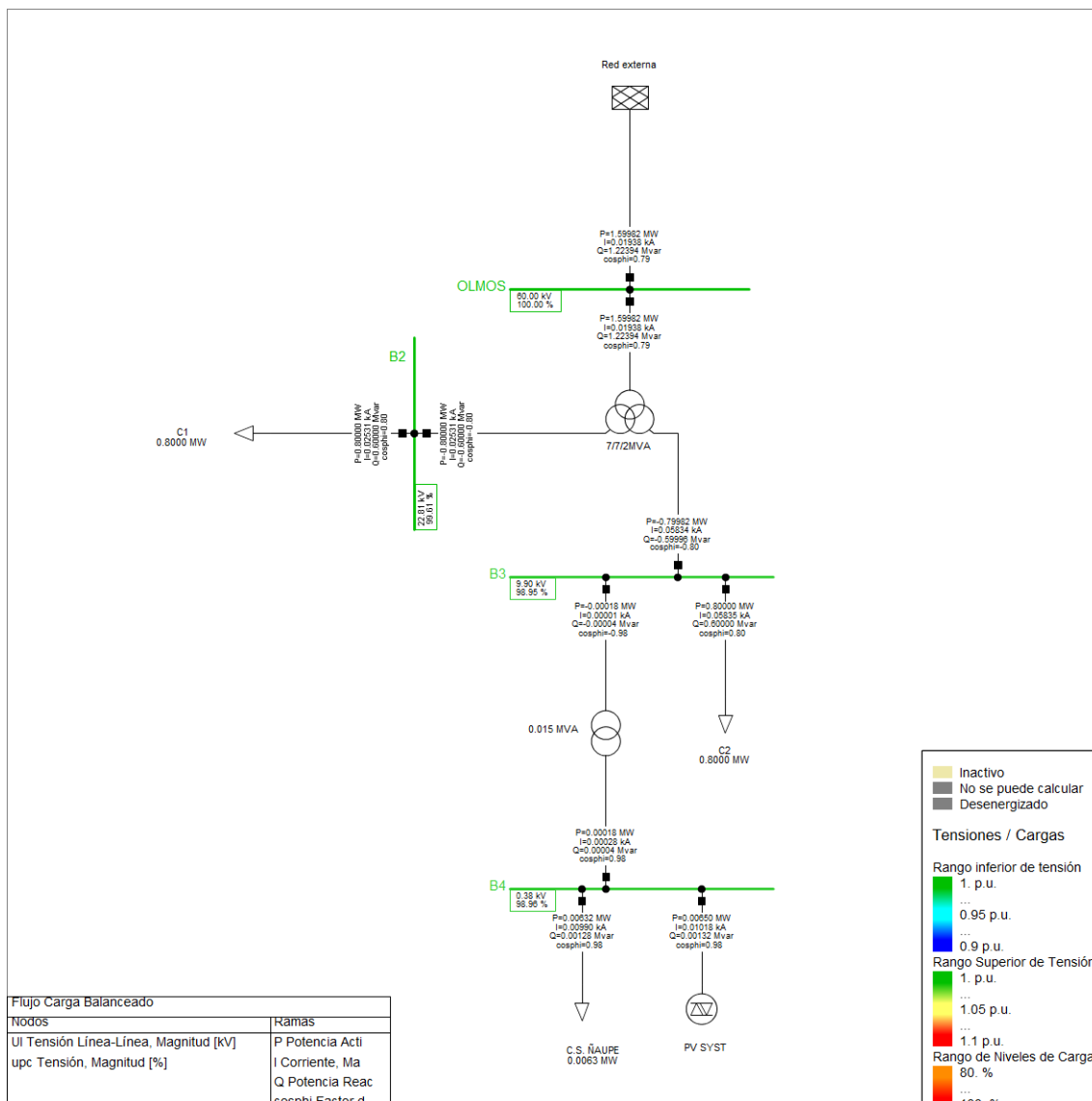
4.4.8. Caída de tensión conectado a la red

En Perú, la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red aún no es una práctica común, principalmente debido a la limitada difusión de información técnica y a la escasez de profesionales especializados en este tipo de soluciones. No obstante, como parte del diseño, se consideró una posible conexión eléctrica a la línea de transmisión con el objetivo de proponer una alternativa innovadora que podría implementarse a mayor escala en el futuro.

Para ello, se eligió la subestación de Olmos como punto de inyección de una potencia de 6,5 kW. En este lugar, se incorporará un transformador reductor de 0,015 MVA, con tensión nominal de 10 kV / 0,38 kV, que permitirá la instalación de una barra de 0,38 kV para conectar el sistema fotovoltaico mediante un generador estático.

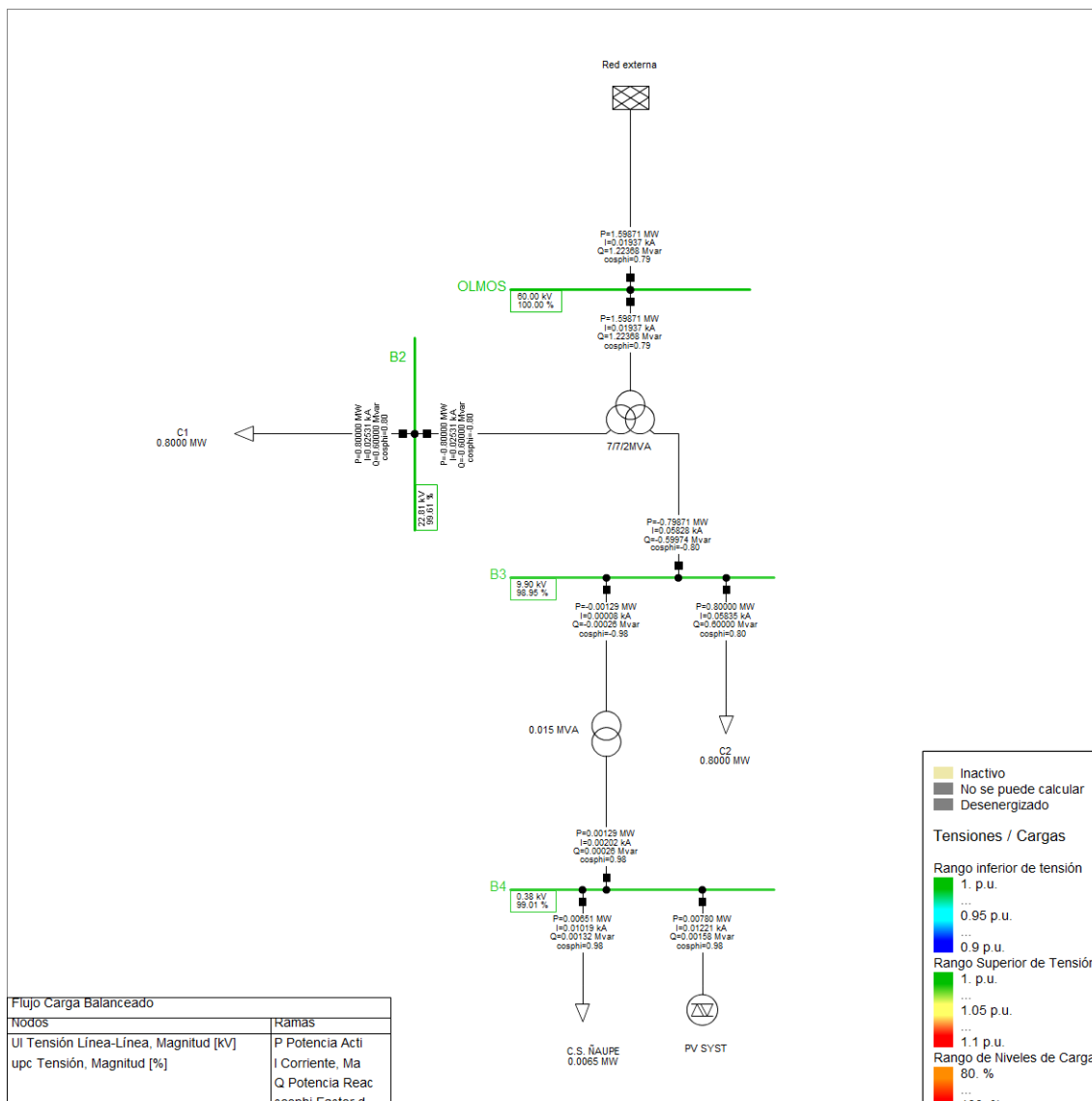
La potencia activa generada por el sistema de 6,5 kW es absorbida por el sistema de distribución sin inconvenientes.

Figura 19. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2025.



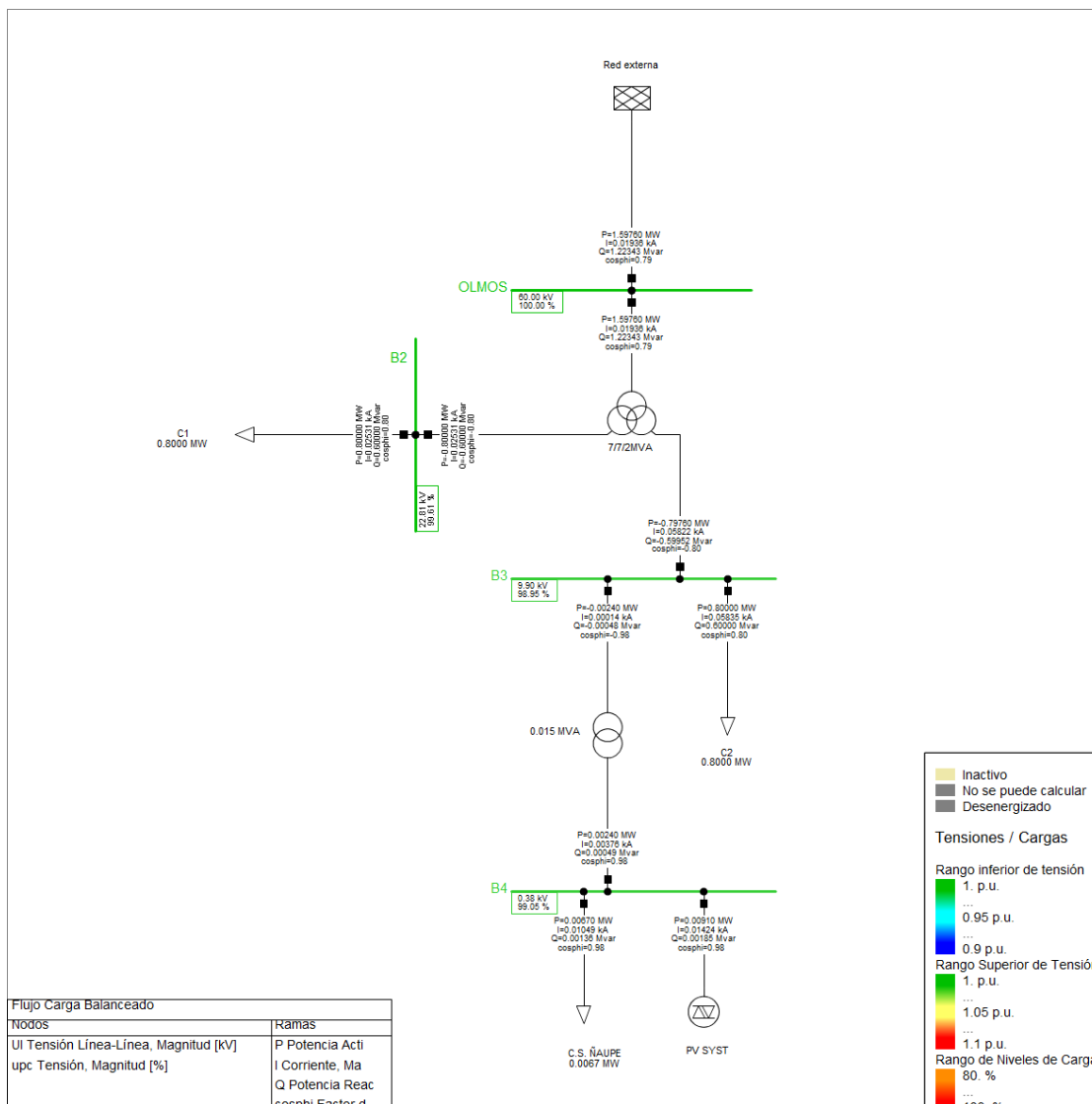
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2030.



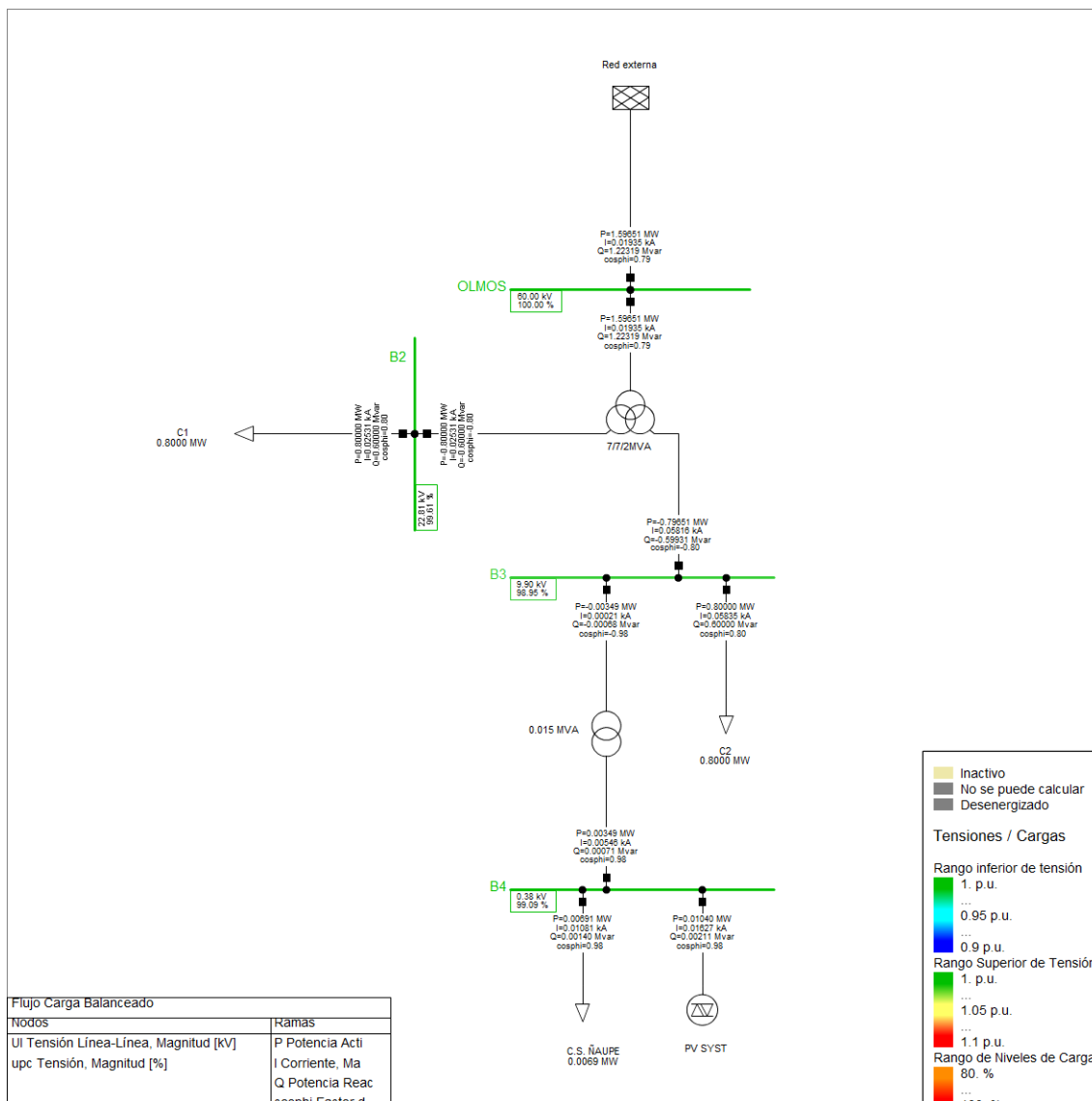
Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2035.



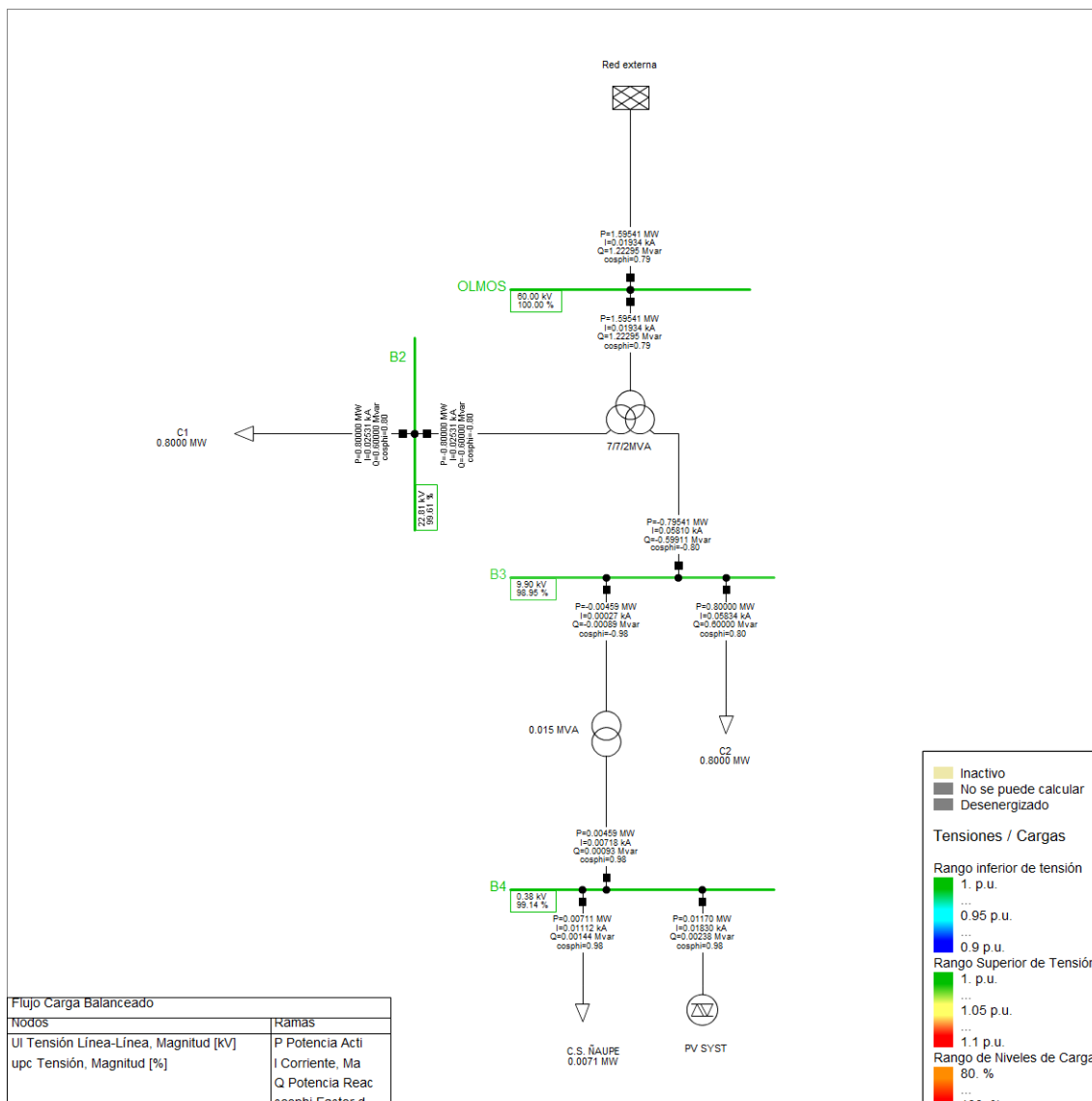
Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2040.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Simulación del sistema en el programa DigSilent Power Factory 2045.



Fuente: Elaboración propia

El centro poblado de Ñaupe presenta una demanda máxima inicial de 6,32 kW en 2025, con una barra de 0,38 kV que alimenta 0,18 kW de potencia activa y 0,04 kVAR de potencia reactiva, manteniendo un factor de potencia de 0,98. Se seleccionó un transformador de 0,015 MVA debido a la baja demanda del centro de salud y se implementó un sistema fotovoltaico con un panel adicional por rama en las dos ramas principales.

El incremento del 3% cada 5 años en la demanda eléctrica refleja el crecimiento natural del centro poblado y la posible ampliación de servicios médicos. Este aumento progresivo de la potencia activa de 0,18 kW a 4,60 kW indica que el centro de salud expandirá gradualmente su capacidad operativa, incorporando nuevos equipos médicos y servicios que requieren mayor consumo energético.

La caída de tensión en la barra B4 (0,38 kV) se incrementa de 99,96 % en el año 2025 a 99,14 % en el año 2045. Este descenso se debe al aumento en la cantidad de paneles fotovoltaicos instalados, y no está relacionado con el incremento progresivo de la demanda del centro de salud, estimado en un 3 % anual. En caso se decida ampliar la capacidad instalada, se recomienda realizar un nuevo cálculo eléctrico que considere dicha proyección.

Tabla 23. Resultados de DigSilent.

Año	C.S. (kW)	F.V. (kW)	P (kW)	Q (kVAR)	Caída de tensión
2025	6,32 kW	6,50 kW	0,18 kW	0,04 kVAR	0,04%
2030	6,51 kW	7,80 kW	1,29 kW	0,26 kVAR	0,99%
2035	6,70 kW	9,10 kW	2,40 kW	0,49 kVAR	0,95%
2040	6,91 kW	10,40 kW	3,49 kW	0,71 kVAR	0,91%
2045	7,11 kW	11,70 kW	4,60 kW	0,93 kVAR	0,86%

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que la caída de tensión observada no supera el 1 %, cumpliendo con lo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) del Perú, la cual permite una caída de tensión máxima del 3 % en sistemas de distribución en baja tensión.

4.5. Evaluar el costo y beneficio del sistema fotovoltaico en el centro de salud José Elver Mio Taboada, ubicado en Ñaupe

4.5.1. Presupuesto de la instalación eléctrica

El sistema fotovoltaico está compuesto por diversos componentes, cada uno con precios y características específicas que contribuyen a su funcionalidad y rendimiento. Entre estos se incluyen paneles solares, inversores, protecciones eléctricas y estructuras de soporte, entre otros elementos, cuidadosamente seleccionados para garantizar un suministro eléctrico confiable y eficiente en el centro de salud ubicado en el centro poblado de Ñaupe.

El análisis presupuestario permite evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema, asegurando que su implementación tenga un impacto positivo en la calidad de los servicios de salud brindados a la comunidad. Este presupuesto proporciona una estimación aproximada de la inversión necesaria para el proyecto, lo que facilita, posteriormente, un análisis detallado del beneficio-costos asociado a su ejecución.

PRESUPUESTO

Presupuesto 70000 Diseño de un sistema de generación fotovoltaica.
Subpresupuesto 003 Instalación eléctrica y mecánica.
Cliente C.S. José Elver Mio Taboada
Lugar Centro poblado Ñaupe, Olmos, Lambayeque. **Costo al** 3/08/2025

Ítem	Descripción	Und,	Metrado	Precio S/,	Parcial S/,
03	Instalaciones eléctricas y mecánicas				20 943,23
03,01	Sistema fotovoltaico				15 778,52
03,01,01	Panel solar HiKu7 Mono PERC 650MS	un	10	608,39	6 083,88
03,01,02	EverExceed EGH10K-10E	un	1	9 694,64	9 694,64
03,02	Tablero de transferencia manual				345,99
03,02,01	Interruptor de transferencia manual 3P 63 A	un	1	116,17	116,17
03,02,02	Gabinete metálico 400x300x200mm IP65 acero	un	1	179,00	179,00
03,02,03	Luz piloto LED 220V Roja (RED)	un	1	25,41	25,41
03,02,04	Luz piloto LED 220V Verde (Sistema fotovoltaico)	un	1	25,41	25,41
03,03	Protecciones en DC y AC				2 436,01
03,03,01	Portafusibles DC 25A	un	2	38,14	76,27
03,03,02	Fusible DC de 25A	un	2	29,66	59,32
03,03,03	Fusible de AC 50A	un	1	46,61	46,61
03,03,04	Desconector AC 32A	un	1	169,49	169,49
03,03,05	Interruptor termomagnético regulable 3x35-50A (690V) 25/15kA 230/440V ABB	un	2	300,63	601,26
03,03,06	Protecciones de sobretensión en DC	un	2	466,10	932,20
03,03,07	Sistema de puesta a tierra	un	1	550,85	550,85
03,04	Cableado y conectores				1 082,71
03,04,01	Cable CENTELSA fotovoltaico tipo PV XLPE 2000V 90°C SR 6AWG	m	37	16,47	609,32
03,04,02	Cable CENTELSA fotovoltaico tipo PV XLPE 2000V 90°C SR 2AWG	m	12	14,47	173,39
03,04,03	Conectores MC4	par	10	10,70	300,00
03,05	Estructura y Caja de protecciones				1 300,00
03,05,03	Estructura de montaje para paneles	un	10	85,00	850,00

Ítem	Descripción	Und,	Metrado	Precio S/,	Parcial S/,
03,05,02	Caja de protecciones (Schneider Electric)	un	1	450,00	450,00
03	Mano de obra e instalación				5 556,67
03,06,01	Instalación y mano de obra	glb	1		4 856,67
03,06,02	Transporte y flete por 528kg	glb	1		700,00

Costo directo	S/ 26 499,90
Gastos generales 12,00%	S/ 3 179,99
Utilidades 10,00%	S/ 2 649,99
Subtotal	S/ 32 329,87
I.G.V. 18,00%	S/ 5 819,38
TOTAL	S/ 38 149,25

SON: TREINTA Y OCHO MIL CIENTO CUARENTA Y NUEVE 25/100 SOLES

Los sistemas fotovoltaicos requieren un mantenimiento adecuado para garantizar su eficiencia energética y prolongar su vida útil. Esto es especialmente importante dado que, al estar instalados en el techo del centro de salud, están expuestos a factores como polvo, lluvia y temperaturas extremas, los cuales pueden reducir el rendimiento de los paneles solares y ocasionar fallos en sus componentes eléctricos.

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo resulta fundamental, ya que no solo protege la inversión inicial realizada en el sistema, sino que también optimiza los beneficios económicos y ambientales asociados. Este enfoque asegura la continuidad del suministro eléctrico al centro de salud y previene reparaciones costosas en el futuro, contribuyendo así a la sostenibilidad y fiabilidad del sistema a largo plazo.

Tabla 24. Mantenimiento preventivo.

Actividad	Frecuencia	Costo (S/)	Costo Anual (S/)
Limpieza de paneles (con inspección incluida)	Bimestral	30	180
Revisión y pruebas eléctricas del inversor	Anual	100	100
Inspección de baterías	Anual	50	50
Limpieza de terminales de baterías	Anual	50	50
Inspección de estructuras	Anual	80	80
Revisión del cableado	Anual	80	80
			540

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Análisis de costo beneficio

El análisis del sistema está estrechamente vinculado a la radiación solar, la cual presenta variaciones mensuales debido a factores estacionales propios del Perú. Para calcular la generación energética mensual, se toma como referencia la radiación solar horizontal diaria y se estima la producción en kilovatios-hora (kWh) con base en un día representativo de cada mes.

La tarifa utilizada para este análisis es de 0,88 soles por kWh, conforme a lo indicado en la publicación Moneda N° 196 del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) [30]. Este valor corresponde a consumos superiores a 140 kWh mensuales, un escenario frecuente en instalaciones como los centros de salud. Gracias a esta tarifa, es posible determinar los ahorros mensuales y anuales que genera el sistema fotovoltaico, destacando su aporte tanto en términos económicos como ambientales.

Tabla 25. Ahorro anual.

Meses	Radiación horizontal diaria (kWh/m ² /d)	Días	Energía Producción mensual kWh	soles/kWh	Ahorro (s/.)
Enero	5,27	31	1 061,91	0,88	934,48
Febrero	5	29	942,50	0,88	829,40
Marzo	5,45	31	1 098,18	0,88	966,39
Abril	5,14	30	1 002,30	0,88	882,02
Mayo	4,98	31	1 003,47	0,88	883,05
Junio	4,89	30	953,55	0,88	839,12
Julio	5,02	31	1 011,53	0,88	890,15
Agosto	5,54	31	1 116,31	0,88	982,35
Setiembre	6,15	30	1 199,25	0,88	1 055,34
Octubre	6,08	31	1 225,12	0,88	1 078,11
Noviembre	6,1	30	1 189,50	0,88	1 046,76
Diciembre	5,67	31	1 142,51	0,88	1 005,40

Ahorro anual	11 392,58
--------------	-----------

Fuente: Elaboración propia

Considerando el consumo energético mensual estimado del Centro de Salud José Elver Mío Taboada, calculado a partir de su demanda diaria promedio. Este déficit, al ser multiplicado por la tarifa vigente de 0,88 soles por kWh, permite calcular el costo mensual asociado al suministro faltante que deberá ser cubierto por la red eléctrica convencional.

El centro de salud genera energía diariamente, y el consumo total estará determinado en función del precio en soles por kWh, lo cual representará un ahorro significativo para la institución. Este enfoque permitiría evaluar el desempeño del sistema desde una perspectiva energética y económica, identificando oportunidades para optimizar su operación y maximizar sus beneficios para el centro de salud.

Tabla 26. Consumo mensual de energía.

Consumo mensual (kWh/m ²)	soles/kWh	Consumo (s/.)
861,18	0,88	757,84
805,62	0,88	708,95
861,18	0,88	757,84
833,4	0,88	733,39
861,18	0,88	757,84
833,4	0,88	733,39
861,18	0,88	757,84
861,18	0,88	757,84
833,4	0,88	733,39
861,18	0,88	757,84
833,4	0,88	733,39
861,18	0,88	757,84
TOTAL		8 947,3824

Fuente: Elaboración propia

El presupuesto incluye una inversión inicial de S/. 38 149,25, que abarca los costos de materiales, instalación y puesta en marcha del sistema fotovoltaico. Se proyecta el consumo eléctrico de S/. 8 947,38, calculados como ahorros en costos de energía basados en la tarifa de 0.88 soles por kWh, mientras que la depreciación anual, estimada en S/. 2 344,89, refleja el desgaste de los componentes durante su vida útil de 20 años. El costo operativo anual de S/. 540 cubre actividades de mantenimiento necesarias para garantizar el óptimo rendimiento del sistema. Cabe resaltar que cada 10 años se realizara el cambio del inversor, con el precio de S/.

9 694,64. Asimismo, el análisis considera un impuesto del 30% sobre los beneficios netos, una tasa de descuento del 5% para calcular el valor presente de los flujos futuros y una inflación proyectada del 2% que ajusta los valores económicos al contexto real, permitiendo evaluar la sostenibilidad y rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil.

Tabla 27. Datos para el beneficio/costo.

INVERSIÓN INICIAL	S/	38 149,25
BENEFICIOS	S/	8 947,38
DEPRECIACIÓN	S/	1 907,46
VIDA UTIL		20
COSTO OPERATIVO ANUAL		S/ 540
IMPUESTO		30%
TASA DE DESCUENTO		5%
INFLACIÓN		2%

Fuente: Elaboración propia

El análisis económico del sistema fotovoltaico se basa en fórmulas clave como el flujo neto, que calcula la diferencia entre beneficios, egresos e impuestos, y el valor presente neto (VPN), que descuenta los flujos de caja futuros a una tasa de descuento del 5% para determinar la rentabilidad del proyecto. Además, se evalúan el valor presente de los beneficios (VPB), que refleja los ingresos ajustados al presente, y el valor presente de los costos (VPC), que incluye la inversión inicial y los egresos futuros descontados. Estas herramientas financieras permiten estimar el impacto económico del proyecto en su vida útil, considerando factores como la inflación (2%) y asegurando decisiones basadas en la relación costo-beneficio.

Tabla 28. Flujo neto.

Año	Inversión inicial	Beneficios	Egresos	Ingreso Neto	Impuestos	Flujo neto	Valor Presente Neto (VPN)	Valor Presente de los Beneficios (VPB)	Valor Presente de los Costos (VPC)
0	S/ 38 149,25	-	-	-	-	-S/ 38 149,3			S/38 149,25
1	0	S/8 947,38	S/ 540	S/8 407,38	0	S/8 407,38	S/8 007,03	S/8 521,32	S/514,29
2	0	S/9 126,33	S/550,80	S/8 575,53	0	S/8 575,53	S/7 778,26	S/8 277,85	S/499,59
3	0	S/9 308,86	S/561,82	S/8 747,04	0	S/8 747,04	S/7 556,02	S/8 041,34	S/485,32
4	0	S/9 495,03	S/573,05	S/8 921,98	0	S/8 921,98	S/7 340,14	S/7 811,59	S/471,45
5	0	S/9 684,93	S/584,51	S/9 100,42	0	S/9 100,42	S/7 130,42	S/7 588,40	S/457,98
6	0	S/9 878,63	S/596,20	S/9 282,43	0	S/9 282,43	S/6 926,69	S/7 371,59	S/444,90
7	0	S/10 076,21	S/608,13	S/9 468,08	0	S/9 468,08	S/6 728,79	S/7 160,97	S/432,19
8	0	S/10 277,73	S/620,29	S/9 657,44	0	S/9 657,44	S/6 536,54	S/6 956,37	S/419,84
9	0	S/10 483,28	S/632,70	S/9 850,59	0	S/9 850,59	S/6 349,78	S/6 757,62	S/407,84
10	0	S/10 692,95	S/10 339,99	S/352,96	0	S/352,96	S/216,69	S/6 564,54	S/6 347,86
11	0	S/10 906,81	S/645,35	S/10 261,46	0	S/10 261,46	S/5 999,66	S/6 376,99	S/377,32
12	0	S/11 124,95	S/658,26	S/10 466,69	0	S/10 466,69	S/5 828,24	S/6 194,79	S/366,54
13	0	S/11 347,44	S/671,42	S/10 676,02	0	S/10 676,02	S/5 661,72	S/6 017,79	S/356,07
14	0	S/11 574,39	S/684,85	S/10 889,54	0	S/10 889,54	S/5 499,96	S/5 845,86	S/345,90
15	0	S/11 805,88	S/698,55	S/11 107,33	0	S/11 107,33	S/5 342,82	S/5 678,83	S/336,01
16	0	S/12 042,00	S/712,52	S/11 329,48	0	S/11 329,48	S/5 190,17	S/5 516,58	S/326,41
17	0	S/12 282,84	S/726,77	S/11 556,07	0	S/11 556,07	S/5 041,87	S/5 358,96	S/317,09
18	0	S/12 528,50	S/741,30	S/11 787,19	0	S/11 787,19	S/4 897,82	S/5 205,85	S/308,03
19	0	S/12 779,07	S/756,13	S/12 022,93	0	S/12 022,93	S/4 757,88	S/5 057,11	S/299,23
20	0	S/13 034,65	S/10 465,89	S/2 568,75	0	S/2 568,75	S/968,14	S/4 912,62	S/3 944,48
							S/ 75 609,4	S/131 216,96	S/55 607,58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Fórmulas para el beneficio/costo.

Flujo neto	Beneficio-Egresos-Impuestos
VPN	$\sum_{t=0}^n \frac{\text{Flujo neto}}{(1+r)^t}$
VPB	$\sum_{t=0}^n \frac{\text{Beneficio}}{(1+r)^t}$
VPC	$\text{Inversión inicial} + \sum_{t=0}^n \frac{\text{Egresos}}{(1+r)^t}$

Fuente: Elaboración propia

Tras analizar los valores presentes netos (VPN) correspondientes a los beneficios y costos del proyecto, se podrá determinar el índice beneficio-costo (B/C) mediante la relación entre el valor presente de los beneficios (VPB) y el valor presente de los costos (VPC). Este indicador permitirá evaluar la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto, proporcionando una base sólida para tomar decisiones informadas sobre su implementación.

Tabla 30. Resultado de beneficio/ costo.

B/C		2,36
VAN	S/	38 584,82
TIR		23%

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los indicadores económicos permite concluir que el sistema fotovoltaico evaluado es técnica y financieramente viable. La relación beneficio/costo de 2,36 revela que por cada sol invertido se generan 2,36 soles en beneficios, lo que pone en evidencia un rendimiento económico favorable. A su vez, el valor actual neto (VAN) de S/ 38 584,82 , al ser positivo, indica que la inversión inicial se recupera completamente y, además, se obtiene una ganancia significativa. Por otro lado, la tasa interna de retorno (TIR), estimada en 23%, supera considerablemente la tasa de descuento del 5%, lo cual reafirma que el proyecto representa una opción financieramente sustentable y conveniente a largo plazo.

4.5.3. Costo Nivelado de Energía (LCOE)

Levelized Cost of Energy, se emplea para establecer el precio al que debe venderse la electricidad generada con el fin de cubrir los costos totales de producción durante la vida útil del sistema. Este proyecto considera una inversión inicial de S/. 38 584,82 para la instalación del sistema fotovoltaico, un gasto operativo anual de S/. 540 destinado al mantenimiento preventivo, y la reposición del inversor cada 10 años por un valor de S/. 12 610,17. La generación anual de energía se ha estimado en 12 946,12 kWh de manera constante durante 20 años, aplicando una tasa de descuento del 5% para calcular los valores presentes de los costos futuros. Este análisis permite garantizar tanto la recuperación de la inversión como la viabilidad y sostenibilidad económica del proyecto a lo largo del tiempo.

Tabla 31. Fórmulas para el LCOE.

Costo descontado (S./)	$\sum_{t=0}^n \frac{\text{Costo total (S./)}}{(1+r)^t}$
Energía descontada (kWh)	$\sum_{t=1}^n \frac{\text{Producción de energía (kWh)}}{(1+r)^t}$
LCOE (S./ / kWh)	$\frac{\text{Costo descontado (S./)}}{\text{Energía descontado (kWh)}}$

Fuente: Elaboración propia

$$\text{LCOE} \left(\frac{\text{S./}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\text{S/ } 68\ 338,53}{161\ 337,21 \text{ kWh}}$$

LCOE	0,42 S./ /kWh
-------------	----------------------

Tabla 32. Cálculo para el costo Nivelado de Energía (LCOE).

Año	Costo total (S/.)	Producción de energía (kWh)	Costo descontado (S/.)	Energía descontada (kWh)
0	S/ 38 149,25	0,00	S/ 38 149,25	0 000,00
1	S/ 540,00	12 946,12	S/ 514,29	12 329,63
2	S/ 540,00	12 946,12	S/ 489,80	11 742,51
3	S/ 540,00	12 946,12	S/ 466,47	11 183,34
4	S/ 540,00	12 946,12	S/ 444,26	10 650,80
5	S/ 540,00	12 946,12	S/ 423,10	10 143,62
6	S/ 540,00	12 946,12	S/ 402,96	9 660,59
7	S/ 540,00	12 946,12	S/ 383,77	9 200,56
8	S/ 540,00	12 946,12	S/ 365,49	8 762,44
9	S/ 540,00	12 946,12	S/ 348,09	8 345,18
10	S/ 10 234,64	12 946,12	S/ 6 283,18	7 947,79
11	S/ 540,00	12 946,12	S/ 315,73	7 569,33
12	S/ 540,00	12 946,12	S/ 300,69	7 208,88
13	S/ 540,00	12 946,12	S/ 286,37	6 865,60
14	S/ 540,00	12 946,12	S/ 272,74	6 538,67
15	S/ 540,00	12 946,12	S/ 259,75	6 227,30
16	S/ 540,00	12 946,12	S/ 247,38	5 930,76
17	S/ 540,00	12 946,12	S/ 235,60	5 648,35
18	S/ 540,00	12 946,12	S/ 224,38	5 379,38
19	S/ 540,00	12 946,12	S/ 213,70	5 123,22
20	S/ 10 234,64	12 946,12	S/ 3 857,33	4 879,25
	S/ 68 338,53	258 922,30	S/ 54 484,32	161 337,21

Fuente: Elaboración propia

V. Conclusiones

La implementación del sistema fotovoltaico conectado a red para el centro de salud José Elver Mio Taboada-Ñaupe ha sido exitosamente diseñada, cumpliendo integralmente con el objetivo general planteado y garantizando una solución energética sostenible que fortalece la confiabilidad del servicio médico durante períodos de alta demanda o contingencias eléctricas.

La definición de requerimientos energéticos permitió identificar las necesidades de abastecimiento tanto para cargas generales como críticas del centro de salud, estableciendo los parámetros técnicos necesarios para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y asegurando la operación ininterrumpida de equipos médicos esenciales.

El análisis del potencial energético fotovoltaico de Ñaupe reveló condiciones meteorológicas excepcionales, con una irradiancia horizontal diaria promedio de 5,44 kWh/m². Estas características optimizan la eficiencia del sistema y garantizan un rendimiento sostenido de los módulos fotovoltaicos a lo largo del ciclo anual.

El diseño técnico del sistema fotovoltaico contempló la selección especializada de paneles solares, inversores híbridos con sistema de almacenamiento y controladores de carga, cumpliendo rigurosamente con los estándares de integración. La modelación mediante PV SYST determinó pérdidas del sistema de 19,91% y una producción anual proyectada de 11,103 kWh, superando el cálculo teórico inicial de 10 077,08 kWh.

El modelamiento del sistema interconectado incorporó un tablero de transferencia automática de 63A, medición bidireccional y tablero de distribución principal, elementos representados técnicamente en el diagrama unifilar correspondiente. Se estableció el calibre específico de conductores eléctricos mediante cálculos diferenciados por circuito, logrando una ingeniería precisa y operativamente funcional. Las caídas de tensión en conductores alcanzaron 2,19% y 2,23% por tramo, manteniéndose por debajo del límite normativo del 3%, mientras que el sistema de interconexión a red presentó caídas inferiores al 1%, confirmando la viabilidad técnica para futuras expansiones.

La evaluación costo-beneficio demostró alta rentabilidad financiera, obteniendo un índice beneficio-costo de 2,36, Valor Actual Neto de S/. 38 584,82 y Tasa Interna de Retorno del 23%. El Costo Nivelado de Energía (LCOE) resultó en 0,42 S/./kWh, valor competitivo que, junto con una eficiencia operativa del 71%, confirma la sostenibilidad y viabilidad económica a largo plazo del proyecto energético.

VI. Recomendaciones

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para verificar el rendimiento de los paneles y el estado del inversor. Esto permitirá identificar y resolver posibles fallos, optimizando la eficiencia del sistema.

Capacitar al personal del centro de salud en el uso y manejo básico del sistema fotovoltaico, incluyendo el interruptor de transferencia manual. Esto garantizará una operación segura y efectiva en situaciones de emergencia.

Dado el éxito del sistema en Ñaupe, se recomienda considerar la implementación de sistemas similares en otros centros de salud de la región, priorizando aquellos con servicios críticos que puedan beneficiarse de un suministro de energía confiable.

Realizar evaluaciones anuales del sistema para ajustar la configuración y la inclinación de los paneles según las variaciones estacionales y así maximizar la captación solar.

Referencia bibliográfica

- [1] L. A. Nestares Breñis, «BENEFICIOS E IMPORTANCIA DE TENER UNA PLANTA GENERADORA DE OXÍGENO MEDICINAL EN LOS CENTROS MÉDICOS, 2021,» Universidad nacional federico villareal., Lima, 2021.
- [2] «gob.pe,» 14 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/16728-servicios-y-categorias-del-primer-nivel-de-atencion-de-salud>.
- [3] «Mapa regional del oxígeno medicinal,» Defensoría del Pueblo, Jirón Ucayali, 2020.
- [4] EnerCity Sa, «EnerCity,» EnerCity SA, 26 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://enercity.pe/blog/la-energia-solar-en-zonas-rurales/>.
- [5] C. INDECI, «Plataforma del estado peruano,» 25 Abril 2024. [En línea]. Available: <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2024/04/INFORME-DE-EMERGENCIA-N.º-639-25ABR2024-LLUVIAS-INTENSAS-EN-EL-DISTRITO-DE-OLMOS-LAMBAYEQUE-2-002.pdf>.
- [6] Área de Gestión del riesgo de desastres y defensa civil., «RESOLUCIÓN DE ALCADÍA N°257-2023-MDO/A,» MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OLMOS, Lambayeque, 2023.
- [7] W. W. J. L. Wenzhao Yuan*, «Application Analysis Based on Solar Grid-Connected Photovoltaic Power Generation and Intermittent Energy Storage System,» de E3S Web of conferences 520, Sichuan, 2024.
- [8] S. K. M. A. K. S. N. M. N. J. P. K. Ayodeji Olalekan Salau, «Design and Analysis of a Sustainable Power System for Healthcare Centers Using Renewable Energy Sources,» JCUP, vol. 47, n° 04, p. 13, 2023.
- [9] S. S. Marco y A. R. L. E. Rudi, «Una apuesta sustentable en los centros de salud primaria:,» vol. 25, n° 109, pp. 139-147, 2021.
- [10] I. H. G. D. C. M. C. F. M. L. B. H. A. Ing. Raynel Díaz Santos1, «cujae,» 24 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/317098488>.
- [11] D. O.-S. Juan Tisza-Contreras, «Diseño de Microred Aislada Usando Energías Renovables Híbridas con Convertidor Electrónico Multidireccional y Multipuertos para Alimentar Centros de Salud Alejados.,» vol. 33, n° 2, 2023.
- [12] «ENERGÍA SOLAR: TIPOS, USOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS,» BOLETÍN LINEA VERDE, Huelva, 2023.
- [13] D. Tramontana Hinostroza, «BENEFICIOS DEL USO DE ENERGÍA SOLAR Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL PERÚ A TRAVÉS DE LA INVERSIÓN PRIVADA,» Santiváñez Abogados, Lima, 2022.

- [14] «Ministerio del Ambiente,» MINAM, [En línea]. Available: <https://www.minam.gob.pe/energia/energia-renovable-en-cifras/#:~:text=El%20Per%C3%BA%20tiene%20cinco%20plantas,Solar%20y%20tres%20en%20Arequipa..>
- [15] C. A. B. y. R. B. y. Brown, «ENERGÍA DEL SOL,» Revista ciencia, 2010.
- [16] S. Salamanca-Ávila, «Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,» Scielo Colombia, Bogotá, 2017.
- [17] M. R. Canales, «Academia Nacional de Bomberos de Chile,» 2017. [En línea]. Available: https://www.anb.cl/documentos_sitio/Guia_paneles_fotovoltaicos.pdf.
- [18] J. F. Mora González, «Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Estudio y diseño de una planta de generación de hidrógeno verde alimentada por una instalación fotovoltaica de 1 MW,» 2021.
- [19] D. e. E. M. A. E. Nava, «CORE,» 2017. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/154798687.pdf>.
- [20] «SUSALUD.Super intendencia Nacional de Salud,» [En línea]. Available: <http://app20.susalud.gob.pe:8080/registro-renipress-webapp/ipress.htm?action=mostrarVer&idipress=00004413#no-back-button>.
- [21] «Supeintendencia Nacional de Salud,» 12 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <http://app20.susalud.gob.pe:8080/registro-renipress-webapp/ipress.htm?action=mostrarVer&idipress=00004413#no-back-button>.
- [22] M. D. E. Y. MINAS, CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD Y DE NORMAS ELÉCTRICAS., 2006.
- [23] «GLOBAL SOLAR ATLAS,» 2024. [En línea]. Available: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-5.5969,-79.90235,11&m=site&s=-5.5969,-79.90235>.
- [24] City Sun, citysun.
- [25] Beny, «Beny Electric,» Beny Electric., [En línea]. Available: <https://www.beny.com/es/product-item/dc-spd-type2-up-to-1000v-bud-40-2/>. [Último acceso: 2024].
- [26] EverExceed, «EverExceed,» [En línea]. Available: https://es.everexceed.com/all-in-one-hybrid-inverter-energy-storage-system-for-home_p476.html#pro_inquiry|parentHorizontalTab022. [Último acceso: 2024].
- [27] A. A. G. BOÑAR, «repositorio.uchile,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170283/Desarrollo-del-sistema-de-control-de-un-tablero-de-transferencia.pdf>.

- [28] Mercado libre, «Mercado libre,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-443023931-transferencia-manual-de-2p-63a-220vac-_JM. [Último acceso: 2024].
- [29] Nexans Colombia S.A., «Cables fotovoltaicos PV xlpe 2000V,» CENTELSA, Bogota, 2023.
- [30] M. Ruiz, «Las tarifas eléctricas residenciales en las regiones del Perú.,» MONEDA N°196, 2023.
- [31] S. Lopez Antuñano y F. J. Lopez Antuñano, «cielosp.org,» 1 Septiembre 1998. [En línea]. Available: <https://www.scielosp.org/pdf/spm/1998.v40n3/281-292>.
- [32] «Organización mundial de la Salud,» [En línea]. Available: https://www.who.int/es/health-topics/coronavirus#tab=tab_1.
- [33] «MAyoclinic,» 14 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/coronavirus/symptoms-causes/syc-20479963#:~:text=Una%20afecci%C3%B3n%20pulmonar%20grave%20que,Infecciones%20virales%20y%20bacterianas%20adicionales>.
- [34] «OJO PUBLICO,» [En línea]. Available: <https://ojo-publico.com/4417/mas-del-51-plantas-oxigeno-del-minsa-y-regiones-no-funcionan>.
- [35] F. D. V. M. Carlos Xavier Grijalva Campoverde, «ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA APLICADO A LUMINARIAS: CASO DE ESTUDIO UNIDAD EDUCATIVA,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, GUAYAQUIL, 2020.
- [36] T. Y. F. Martínez, «COLECTRO TÉRMICO FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED,» CIMAV, Chihuahua, 2012.
- [37] P. C. O. I. B. B. M. Z. I. T. El Manaa Barhoumi, «DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BASADOS EN ESTACIONES DE REPORTAJE DE HIDRÓGENO VERDE CASO DE ESTUDIO OMÁN.,» el sevier, OMÁN, 2022.
- [38] «IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL,» NOVUM SOLAR, [En línea]. Available: <https://novumsolar.com/central-solar-atalaya/>.
- [39] «ENERGY PARTNERS,» 7 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://energypartners.com.pe/wp-content/uploads/1.-Proyecto-Solar-Iquitos.pdf>.
- [40] «PROYECTO SOLAR ATALAYA,» energy partners, [En línea]. Available: <https://energypartners.com.pe/wp-content/uploads/Proyecto-Solar-Atalaya-v2.pdf>.
- [41] A.B.MEINEL y M. MEINEL, APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR, BARCELONA: REVERTÉ, 1982.

- [42] «noticias UCN AL DÍA,» [En línea]. Available: <https://www.noticias.ucn.cl/noticias/academia/innovador-sistema-para-desalinizar-agua-de-mar-crean-en-la-ucn/>.
- [43] «gosolar,» [En línea]. Available: <https://allsolarenergypr.com/residencial>.
- [44] B. B. MARÍN MONTOYA, «“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE GASES MEDICINALES DE ALTO FLUJO PARA EL ABASTECIMIENTO DE 120 CAMAS HOSPITALARIAS EN PANDEMIA EN EL HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA – LIMA. 2021,» Callao, 2021.
- [45] «LA IMPORTANCIA DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN CENTROS COMERCIALES EN LIMA,» Universida de lima, Lima, 2021.
- [46] «inei.gob.pe,» [En línea]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1756/cap04.pdf.
- [47] S. Melguizo Bermúdez, Instalaciones eléctricas, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [48] J. A. Mamani Aliaga , A. H. Chavez Gamarra , N. R. Raymundo Cajahuanca y J. N. Gallegos Pérez , «PROPUESTA MODELO DE CONCENTRADOR DE OXÍGENO FOTOVOLTAICO Y LA CALIDAD DE VIDA DE PACIENTES CON DIFICULTAD PULMONAR OBSTRUTCTIVA CRÓNICA, EN LIMA, 2021,» 2020.
- [49] P. B. Y. Abdías, «Diseño del Sistema Fotovoltaico de 3 KW en Zonas Rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari- Ancash.,» Universidad tecnológica del Perú, Lima, 2019.
- [50] L. Andrea, «Producción de hidrógeno a partir de energía solar. Panorama en Colombia,» Researchgate.net, 2015.
- [51] «LACYQS,» Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración solar y química solar, 2015. [En línea]. Available: <https://concentrationsolar.org.mx/concentracion-solar/canal-parabolico-y-fresnel>.
- [52] H. A. Cornejo Lalupú , octubre 2013. [En línea]. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/0dc1006c-8298-4fc2-9007-2c7182caad99/content>.
- [53] E. P. Gualoto y Á. J. Mendoza, «Análisis de un estudio para la viabilidad de un sistema fotovoltaico conectado a la red dentro del instituto superior universitario central técnico en la oficina de la carrera de electricidad,» REVISTA LATIOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES, vol. V, nº 1, p. 2260, 22 Febrero 2024.
- [54] S. A. Silva Ortiz y A. S. Vásquez Cachay, «USO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE EN CENTRO TURÍSTICO RURAL EN PIURA.,» Universidad de Piura, Piura, 2023.

- [55] L. Revilla Tafur, «Ministerio de Salud,» Ministerio de Salud del Perú (Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de enfermedades-CDC MINSa), Lima, 2021.
- [56] J. F. Pino Bustamante, «Diseño de una planta de producción de hidrógeno verde alimentada por energía eléctrica proveniente de una central solar fotovoltaica para reducir las emisiones de GEI en operaciones mineras del sur del Perú.,» Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa., AREQUIPA, 2023.
- [57] «REYCO,» 22 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.reyco.eu/2022/12/22/central-termsolar/>.
- [58] J. Morán, «Revista Ideele,» Revista Ideele, 2019. [En línea]. Available: <https://revistaideele.com/ideele/content/la-deficiente-atenci%C3%B3n-de-salud-en-%C3%A1rea-rural>.
- [59] R. Gómez Vega y L. Ascarza, «saludconlupa,» 18 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://saludconlupa.com/noticias/hospitales-al-limite-y-centros-de-salud-sin-oxigeno/>.

Anexos



Preliminary Technical
Information Sheet

 **CanadianSolar**



HiKu7 Mono PERC

640 W ~ 665 W

CS7N-640|645|650|655|660|665MS

MORE POWER



Module power up to 665 W
Module efficiency up to 21.4 %



Up to 3.5 % lower LCOE
Up to 5.7 % lower system cost



Comprehensive LID / LeTID mitigation
technology, up to 50% lower degradation



Compatible with mainstream trackers,
cost effective product for utility power plant



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



40 °C lower hot spot temperature,
greatly reduce module failure rate



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 2400 Pa*

* For detailed information, please refer to the Installation Manual.



**Enhanced Product Warranty on Materials
and Workmanship***



Linear Power Performance Warranty*

**1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%**

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

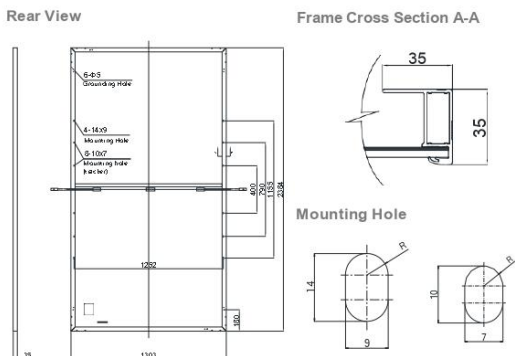
ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

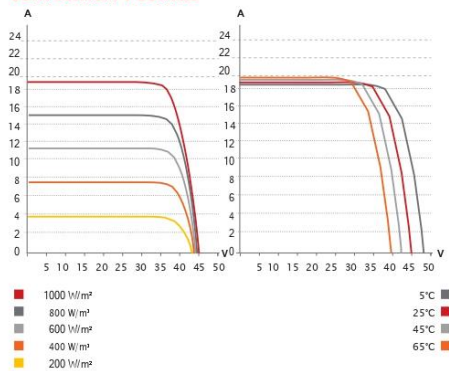
* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary,
and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the
products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative
to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions
in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar
products, solar system solutions and services to customers
around the world. Canadian Solar was recognized as the No.
1 module supplier for quality and performance/price ratio in
the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV
project developer and manufacturer of solar modules, with
over 50 GW deployed around the world since 2001.

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-650MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS
Nominal Max. Power (Pmax)	640 W	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.07 A	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.6 V	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	18.31 A	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A
Module Efficiency	20.6%	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC) or 1000V (IEC)					
Module Fire Performance	CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	30 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC)
Cable Length (including Connector)	460 mm (18.1 in) (+/-) 340 mm (13.4 in) or customized length
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS
Nominal Max. Power (Pmax)	478 W	482 W	486 W	489 W	493 W	497 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.0 V	35.2 V	35.4 V	35.6 V	35.8 V	36.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.66 A	13.70 A	13.73 A	13.75 A	13.78 A	13.81 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.2 V	42.4 V	42.6 V	42.8 V	43.0 V
Short Circuit Current (Isc)	14.77 A	14.80 A	14.84 A	14.87 A	14.90 A	14.93 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m²-spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.



PVsyst V8.0.0

PVsyst - Informe de simulación

Sistema conectado a la red

Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

Sin escena 3D definida, sin sombras

Potencia del sistema: 6.50 kWp

CENTRO DE SALUD JOSÉ ELVER MÍO TABOADA - Perú

Fernandez Morocho, Sandy



Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Resumen del proyecto

Sitio geográfico	Situación	Configuración del proyecto
CENTRO DE SALUD JOSÉ ELVER MÍO TABOADA	Latitud -5.60 °S	Albedo 0.20
Perú	Longitud -79.90 °W	
	Altitud 165 m	
	Zona horaria UTC-5	
Datos meteo		
CENTRO DE SALUD JOSÉ ELVER MÍO TABOADA		
Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% - Sintético		

Resumen del sistema

Sistema conectado a la red	Sin escena 3D definida, sin sombras	Necesidades del usuario
Orientación #1	Sombreados cercanos	Carga ilimitada (red)
Plano fijo	sin sombreados	
Inclinación/Azimut 7 / 0 °		
Información del sistema		
Generador FV	Inversores	
Núm. de módulos 10 unidades	Núm. de unidades 1 unidad	
Pnom total 6.50 kWp	Pnom total 10.00 kWca	
	Proporción Pnom 0.650	

Resumen de resultados

Energía producida 11103 kWh/año	Producción específica 1708 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR 80.09 %
---------------------------------	--	-----------------------------

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema.	3
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Gráficos predefinidos	7
Diagrama unifilar	13



Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Parámetros generales

Sistema conectado a la red	Sin escena 3D definida, sin sombras	
Orientación #1		Modelos usados
Plano fijo		Transposición Perez
Inclinación/Azmut	7 / 0 °	Difuso Perez, Meteonorm
		Circunsolar separado
Horizonte	Sombreados cercanos	Necesidades del usuario
Horizonte libre	sin sombreados	Carga ilimitada (red)

Características del generador FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	Panel solar HiKu7 Mono PERC	Modelo	EGH10K-10E
(Definición de parámetros personalizados)		(Definición de parámetros personalizados)	
Unidad Nom. Potencia	650 Wp	Unidad Nom. Potencia	10.00 kWca
Número de módulos FV	10 unidades	Número de inversores	1 unidad
Nominal (STC)	6.50 kWp	Potencia total	10.0 kWca
Conjunto #1 - MPPT 1		Conjunto #2 - MPPT 2	
Número de módulos FV	5 unidades	Número de inversores	1 * MPPT 50% 0.5 unidad
Nominal (STC)	3250 Wp	Potencia total	5.0 kWca
Módulos	1 cadenas x 5 En serie		
En cond. de funcionam. (50°C)		En cond. de funcionam. (50°C)	
Pmpp	3013 Wp	Voltaje de funcionamiento	120-560 V
U mpp	171 V	Potencia máx. (=>25°C)	10.40 kWca
I mpp	18 A	Proporción Phom (CC:CA)	0.65
Potencia FV total		Potencia total del inversor	
Nominal (STC)	7 kWp	Potencia total	10 kWca
Total	10 módulos	Número de inversores	1 unidad
Área del módulo	31.1 m ²	Proporción Phom	0.65
		Reparto de potencia definido	

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica		Pérdidas de cableado CC		Pérdida de calidad módulo	
Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	159 mΩ	Frac. de pérdida	3.0 %
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Res. de cableado global	79 mΩ		
Uv (viento)	0.0 W/m ² K/m/s	Frac. de pérdida	1.5 % en STC		
Pérdidas de desajuste de módulo					
Frac. de pérdida	2.0 % en MPP				



Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Vidrio liso Fresnel, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.402	0.000



Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Resultados principales

Producción del sistema

Energía producida

11103 kWh/año

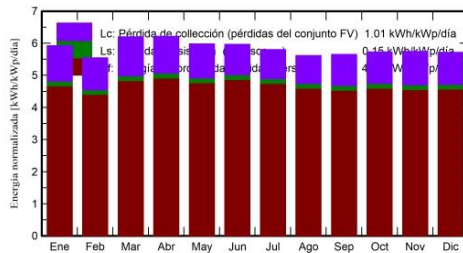
Producción específica

1708 kWh/kWp/año

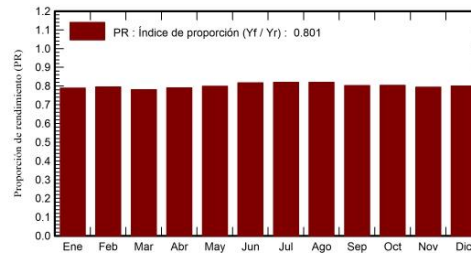
Proporción rend. PR

80.09 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR proporción	EffSysR %
Enero	191.4	76.39	26.20	183.5	177.4	973	941.5	0.789	16.52
Febrero	158.7	80.96	27.15	155.2	150.4	829	802.8	0.796	16.65
Marzo	191.7	77.96	27.09	192.2	187.0	1006	975.5	0.781	16.33
Abril	181.0	70.11	25.45	186.5	181.6	989	959.1	0.791	16.55
Mayo	175.4	58.34	24.02	185.3	180.3	993	962.2	0.799	16.71
Junio	167.1	52.59	22.03	179.0	174.0	980	950.7	0.817	17.10
Julio	169.3	60.53	21.38	179.9	174.7	988	957.9	0.819	17.14
Agosto	167.8	73.50	21.03	174.1	169.4	957	928.2	0.820	17.16
Septiembre	167.6	73.49	20.90	169.6	165.1	914	885.0	0.803	16.79
Octubre	179.9	82.95	21.53	177.6	172.3	958	928.3	0.804	16.83
Noviembre	179.1	69.85	22.09	172.4	166.5	918	889.5	0.794	16.61
Diciembre	185.5	81.96	24.35	177.3	171.2	952	922.1	0.800	16.75
Año	2114.6	858.63	23.59	2132.7	2069.9	11457	11102.6	0.801	16.76

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_Grid	Energía inyectada en la red
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Proporción de rendimiento
GlobInc	Global incidente plano receptor	EffSysR	Eficien. sistema Eout / área rugosa
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados		



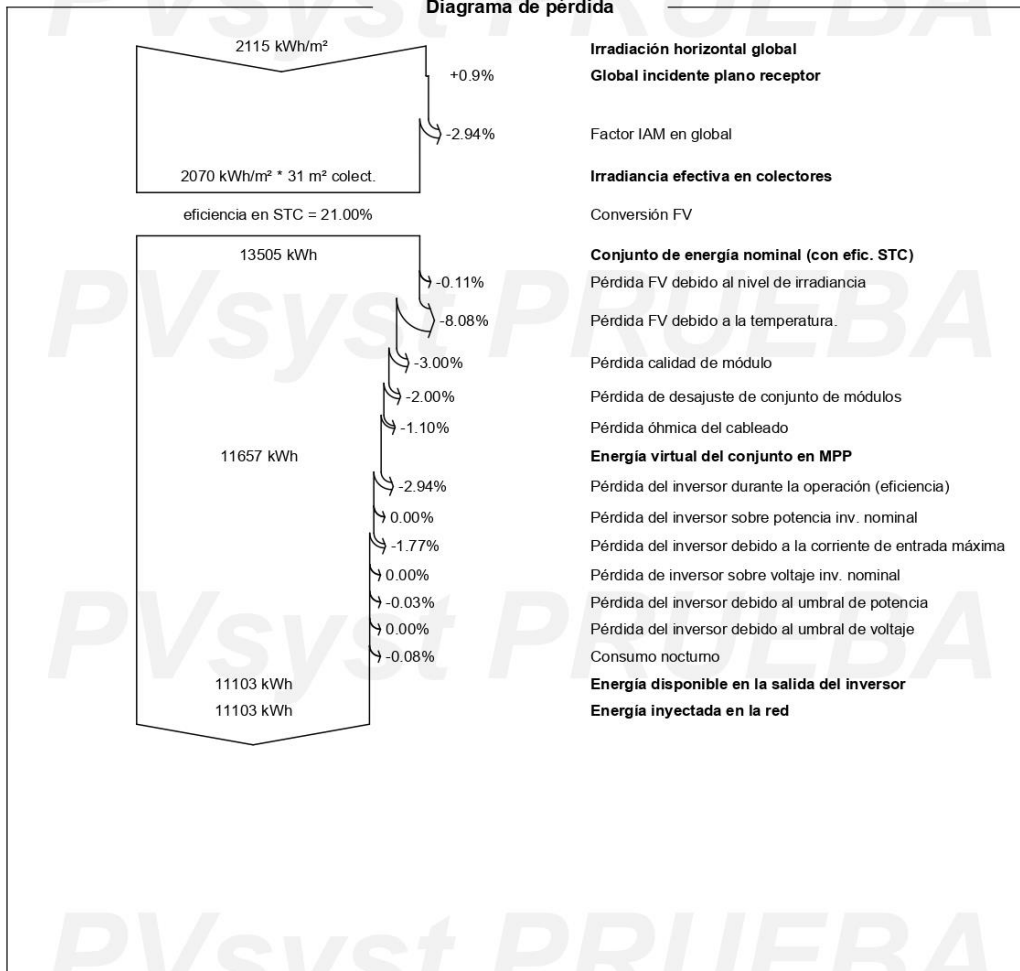
Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Diagrama de pérdida





Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

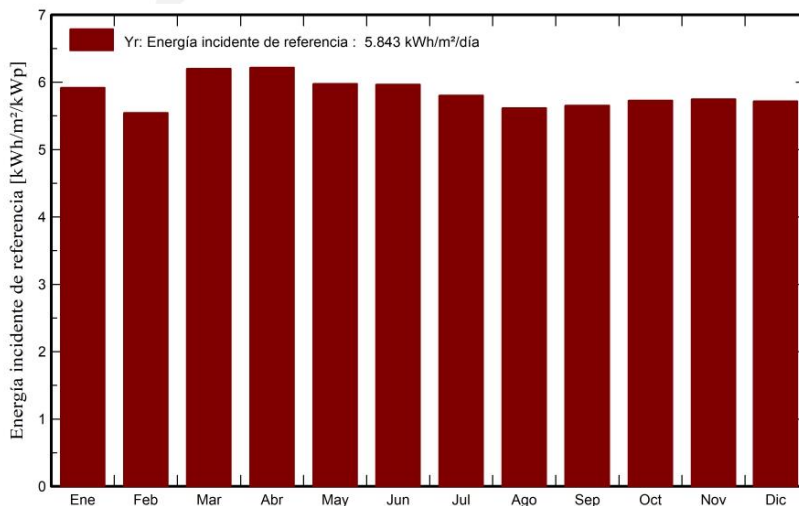
Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

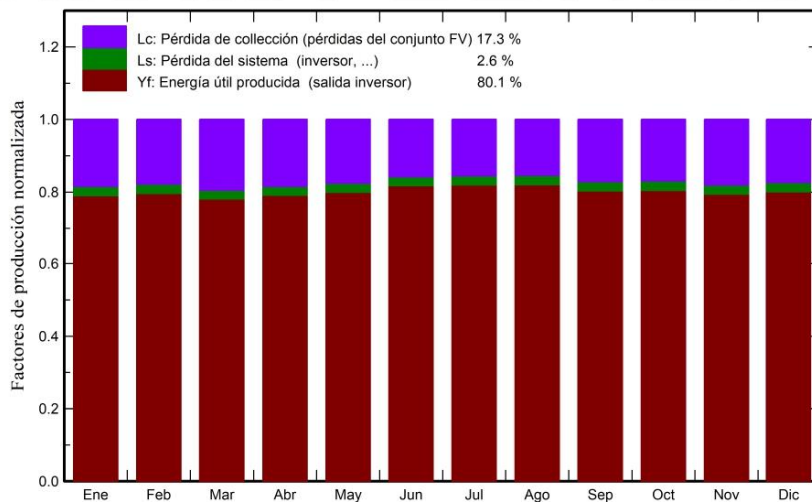
VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Gráficos predefinidos

Energía incidente de referencia en el plano colector



Producción normalizada y factores de pérdida





Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

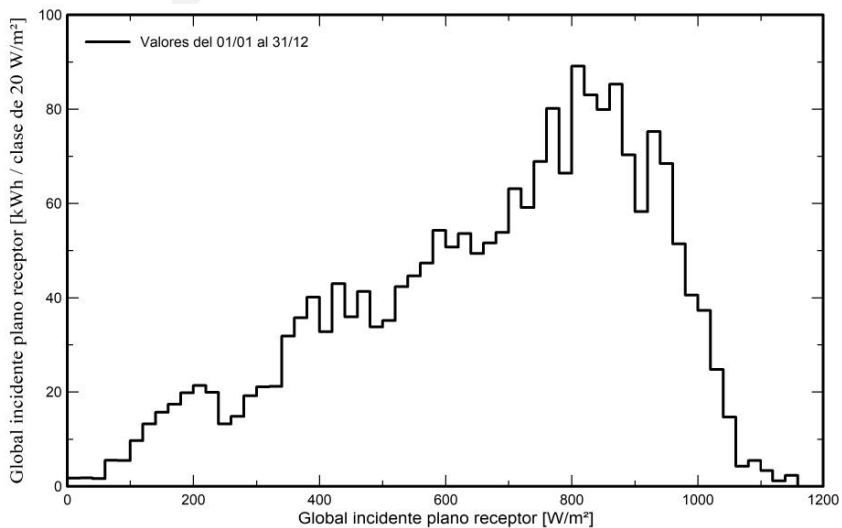
Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

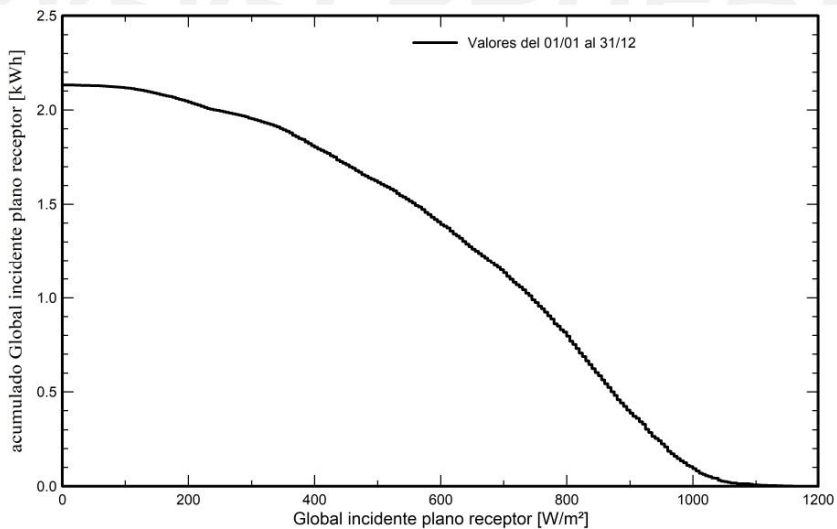
VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Gráficos predefinidos

Distribución de irradiación incidente



Distribución acumulativa de la irradiación incidente





Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Gráficos predefinidos

Temperatura del conjunto vs irradiancia efectiva

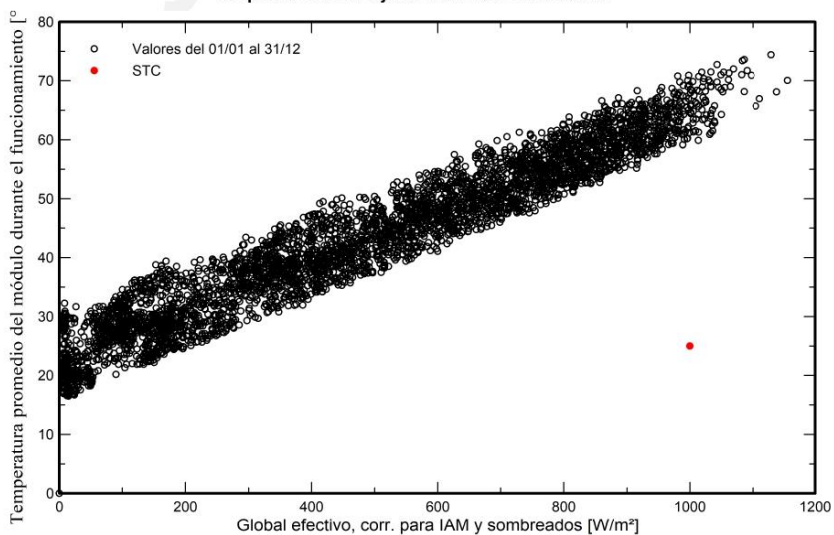
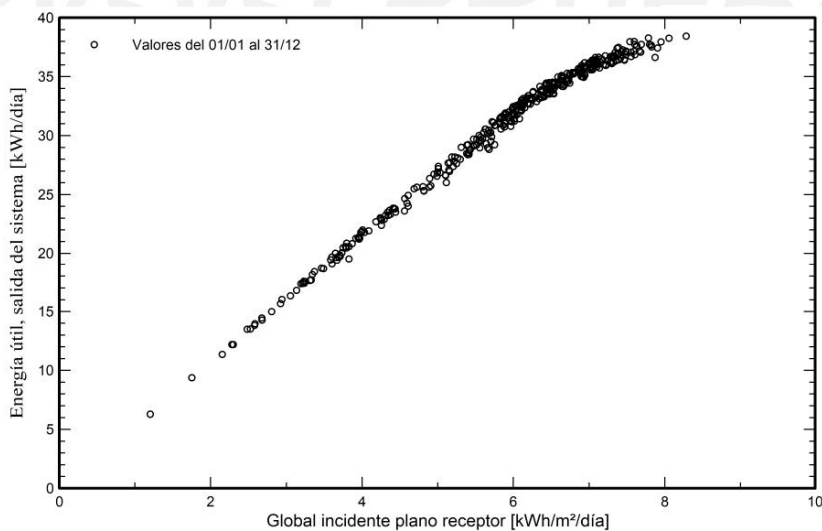


Diagrama entrada/salida diaria





Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

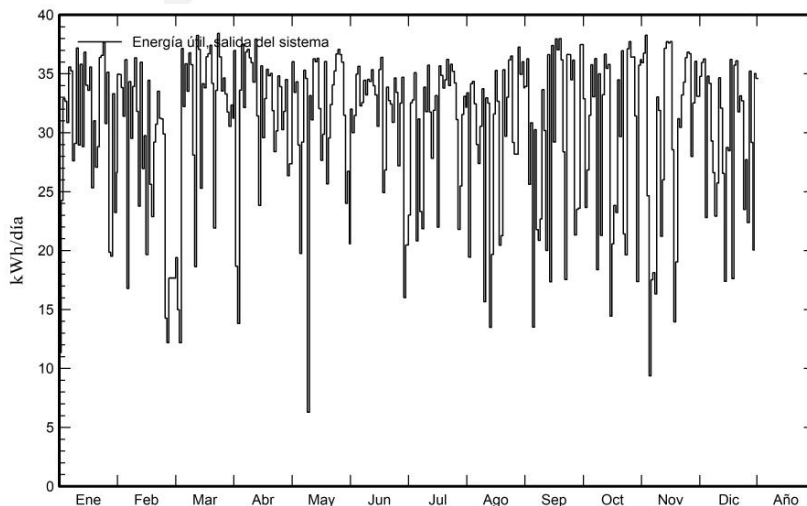
Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

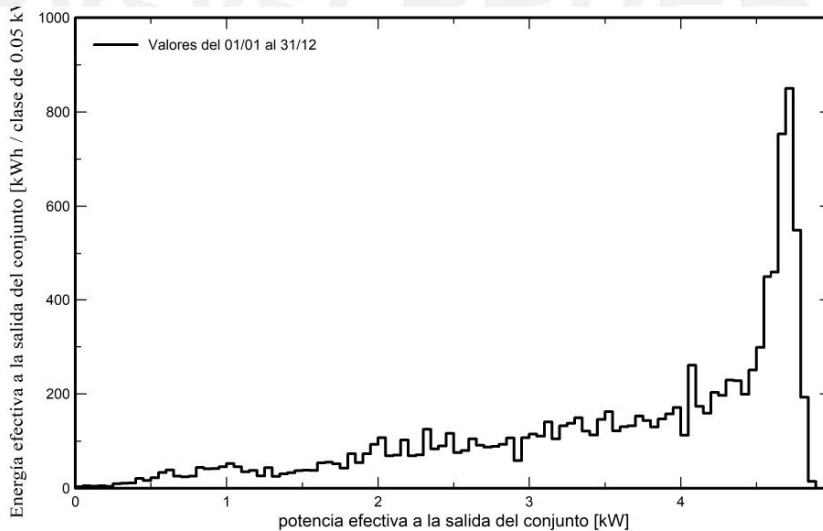
VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Gráficos predefinidos

Energía diaria a la salida del sistema



Distribución de la potencia del conjunto



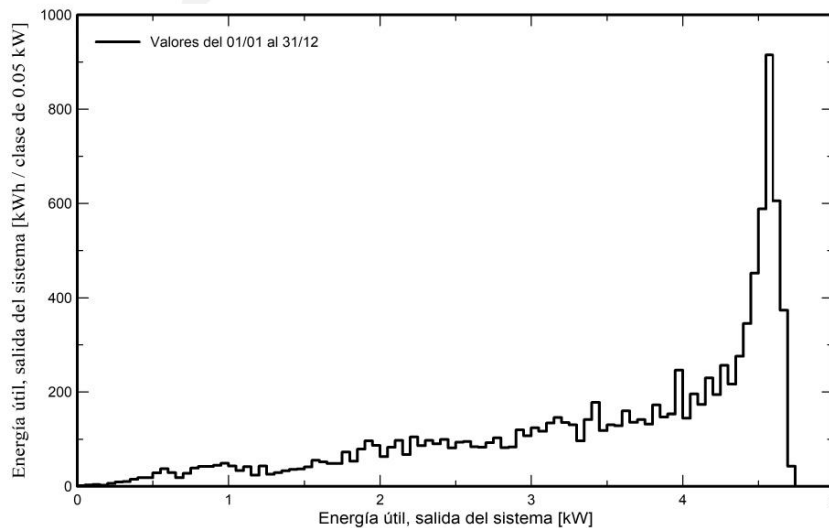


PVsyst V8.0.0

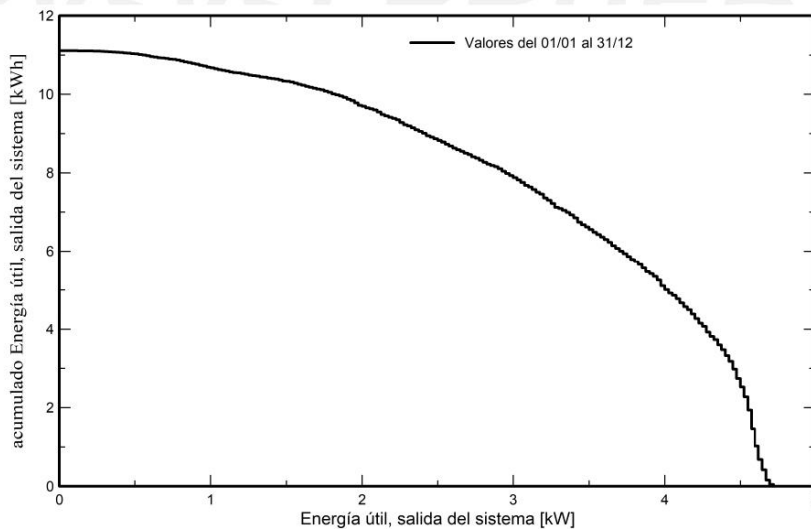
VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Gráficos predefinidos

Distribución de potencia de salida del sistema



Distribución acumulativa de la potencia de salida del sistema





Proyecto: CENTRO DE SALUD ÑAUPE

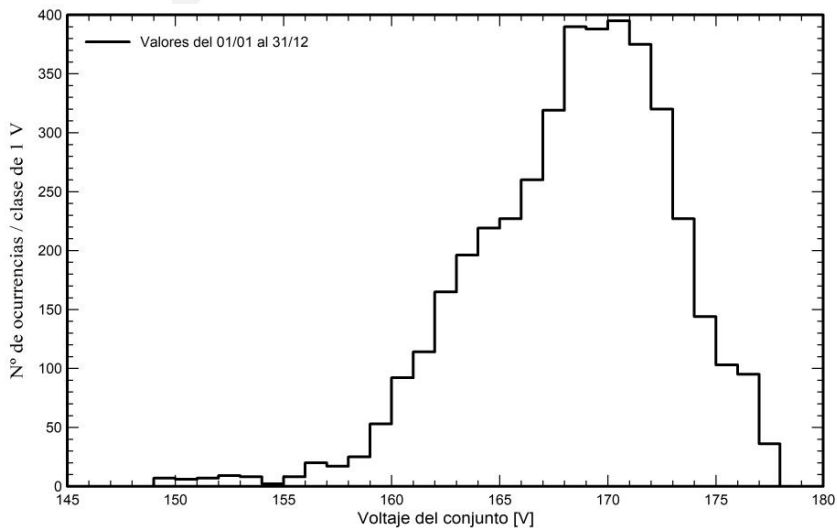
Variante: CS 01

PVsyst V8.0.0

VC0, Fecha de simulación:
16/11/24 18:26
con V8.0.0

Gráficos predefinidos

Distribución del voltaje del conjunto



Distribución de la temperatura del conjunto durante la ejecución

