UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE

INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA ESTACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN KIGKIS, CONDORCANQUI, AMAZONAS

TESIS PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor: Bach. Euler Alvarado Zamora

Asesor: Mg. Rolando René Rodriguez Medina

Línea de Investigación: Energías Alternativas

JAÉN – PERÚ

2025

Euler Alvarado Zamora

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA ESTACIÓN DE TELECO...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3430882508

Fecha de entrega
2 dic 2025, 11:19 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
2 dic 2025, 11:22 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
FORME_FINAL_actualizado_27-11._final_-_EULER_ALVARADO_ZAMORA.pdf

Tamaño del archivo
2.9 MB

83 páginas

15.174 palabras

89.317 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
3%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 17 de diciembre del 2025, siendo las 18:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Secretario : Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal : Mtro. Marco Luis Pérez Silva

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA ESTACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN KIGKIS, CONDORCANQUI, AMAZONAS"**

Presentado por el bachiller: **Euler Alvarado Zamora,** de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(17)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 18:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.

Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Presidente Jurado Evaluador

Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario Jurado Evaluador

Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Vocal Jurado Evaluador

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Euler Alvarado Zamora, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 72937844.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

   "DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA ESTACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN KIGKIS, CONDORCANQUI, AMAZONAS".
   Asesorado por Mg. Rolando René Rodriguez Medina.
   El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 06, enero del 2026.



Bach. Euler Alvarado Zamora.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1

II. MATERIAL Y MÉTODOS 5

2.1. Objeto de estudio 5

2.2. Ubicación geográfica del área de estudio 5

2.3. Población, Muestra y Muestreo 6

2.4. Material 6

2.5. Métodos de la Investigación 7

2.5.1. Tipo y enfoque de la investigación 7

2.5.2. Diseño de la investigación 7

2.5.3. Procedimiento 8

III. RESULTADOS 11

3.1. Recolección de datos sobre la radiación solar 11

3.1.1. Irradiancia Solar: 11

3.1.2. Identificación de patrones de radiación solar 12

3.1.3. Ángulo de inclinación 12

3.1.4. Horas de sol 13

3.2. Cálculo de la demanda eléctrica de la estación de telecomunicaciones 14

3.2.1. Inventario de equipos 14

3.2.2. Demanda eléctrica total 15

3.2.3. Potencia activa 16

3.2.4. Consumo enegético diario 18

3.2.5. Energía real de diseño 20

3.2.6. Potencia de diseño 21

3.3. Dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico 22

3.3.1. Paneles solares 23

3.3.2. Controlador de carga 31
3.3.3. Baterías 35
3.3.4. Inversor 38
3.3.5. Conductores eléctricos 40
3.3.6. Sistema de puesta a tierra 47
3.4. Analisis de rendimiento del sistema fotovoltaico 47
3.4.1. Análisis de autoconsumo 47
3.4.2. Análisis de autonomía 48
3.4.3. Analisis economico 50
IV. DISCUSIÓN 54
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57
5.1. Conclusiones 57
5.2. Recomendaciones 58
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1**:** Inventario de equipos en la estación de telecomunicaciones de Kigkis 14

Tabla 2: Factor de demanda según CNE utilización 2011 16

Tabla 3: Factor de potencia según CNE 2011 17

Tabla 4: Cuadro de cargas eléctricas 19

Tabla 5: Factor de corrección según rendimiento de cada componente 21

Tabla 6: Comparación de módulos fotovoltaicos Canadian Solar 25

Tabla 7: Caracteristicas de la bateria Sacred Sun SCIFP48200 37

Tabla 8: Caídas te tensión permitidas para cada tramo del sistema fotovoltaico 42

Tabla 9: Costo de materiales 51

Tabla 10: Costo de traslado 51

Tabla 11: Costo de mano de obra 52

Tabla 12: Costo de mantenimiento 52

Tabla 13: Producción de 65.82 kwh/dia con motor diesel 52

Tabla 14: Precio de Transporte, operación y Mantenimiento 53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la estación de telecomunicaciones en la localidad de Kigkis 5

Figura 2: Irradiación horizontal global en Kigkis. 11

Figura 3: Modulo fotovoltaico Canadian Solar 26

Figura 4: Distribución de los módulos fotovoltaicos 29

Figura 5: rectificador Eltek Flatpack2 HE de 48 V y 2000 W 32

Figura 6: Rack de energía Eltek 34

Figura 7: Batería Sacred Sun SCIFP48200 37

Figura 8: Inversor RS PRO 48 V / 600 W 40

Figura 9: Conductores eléctricos THW-90 43

Figura 10: Gráfico de la Tasa Interna de Retorno (TIR) 74

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico aislado para la optimización energética de una estación de telecomunicaciones ubicada en la comunidad nativa de Kigkis, provincia de Condorcanqui, región Amazonas. El problema principal identificado fue la dependencia del suministro eléctrico mediante generadores diésel, lo cual implicaba altos costos operativos y un impacto ambiental negativo. Se aplicó una metodología cuantitativa, descriptiva y no experimental, basada en la recolección de datos de radiación solar, el cálculo de la demanda eléctrica y el dimensionamiento de los componentes mediante el software PVsyst y AutoCAD. Los resultados evidenciaron una irradiancia promedio anual de 5.35 kWh/m²/día y un consumo energético diario de 54.63 kWh, obteniéndose una potencia de diseño de 12.3 kW con 20 módulos fotovoltaicos de 620 W, junto con un banco de baterías que proporciona 48 horas de autonomía, asegurando continuidad del servicio ante variaciones climáticas. Se concluye que la implementación del sistema fotovoltaico representa una alternativa técnica, económica y ambientalmente sostenible para garantizar el suministro eléctrico en zonas rurales no interconectadas.

Palabras clave: sistema fotovoltaico aislado, energía solar, optimización energética, telecomunicaciones, sostenibilidad.

ABSTRACT

This study aimed to design an isolated photovoltaic system for the energy optimization of a telecommunications station located in the native community of Kigkis, Condorcanqui Province, Amazonas Region. The main problem identified was the dependence on electricity supplied by diesel generators, which resulted in high operating costs and negative environmental impacts. A quantitative, descriptive, and non-experimental methodology was applied, based on the collection of solar radiation data, the calculation of electrical demand, and the sizing of system components using PVsyst and AutoCAD software. The results showed an average annual irradiance of 5.35 kWh/m²/day and a daily energy consumption of 54.63 kWh, yielding a design power of 12.3 kW with 20 photovoltaic modules of 620 W each, complemented by a battery bank that provides 48 hours of autonomy to ensure continuous operation under low-irradiance conditions. It is concluded that the implementation of the photovoltaic system constitutes a technically, economically, and environmentally sustainable alternative to ensure reliable electricity supply in non-interconnected rural areas.

Keywords: isolated photovoltaic system, solar energy, energy optimization, telecommunications, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, 675 millones de personas aún carecen de acceso a electricidad (International Energy Agency [IEA], 2023) lo que limita su desarrollo social, económico y tecnológico. Esta carencia afecta principalmente a regiones rurales y aisladas, donde la extensión de redes eléctricas convencionales es inviable tanto técnica como económicamente. En este contexto, los sistemas fotovoltaicos aislados se posicionan como una solución eficiente y sostenible para mitigar la brecha energética en áreas remotas (Razmjoo y otros, 2023).

En el Perú, de acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2023), el 16.7% de las viviendas rurales no cuenta con energía eléctrica, lo que equivale a más de 257 mil hogares sin acceso al servicio. Esta situación afecta el desarrollo de servicios esenciales como salud, educación y comunicaciones. La dificultad se agrava en zonas como la Amazonía, donde la dispersión territorial y la falta de infraestructura impiden el acceso a fuentes de energía convencionales.

Aunque existen programas de electrificación rural, su alcance es limitado. Las soluciones basadas en generadores diésel, comunes en estaciones de telecomunicaciones, presentan múltiples desventajas: altos costos operativos, dependencia del transporte de combustible y una importante huella ambiental (INTE-PUCP, 2023).

La localidad de Kigkis, ubicada en la provincia de Condorcanqui, es una comunidad nativa, caracterizada por su geografía accidentada y su aislamiento en el departamento de Amazonas, lo cual enfrenta desafíos significativos en cuanto a la disponibilidad de energía eléctrica. Siendo el suministro para estas estaciones inestable, ya que depende de generadores diésel. Lo que representa un costo elevado en combustible y mantenimiento, además conlleva a la contaminación del medio ambiente y a la liberación de gases de efecto invernadero (INTE PUCP, 2023).

Por lo tanto, el diseño de un sistema que optimice el suministro eléctrico en la estación de telecomunicaciones de la localidad de Kigkis, provincia Condorcanqui, departamento de Amazonas; aprovechando la energía solar, se presenta como una alternativa

ideal para asegurar el funcionamiento optimo del sistema de telecomunicaciones debido a que la localidad no cuenta con servicio eléctrico de ninguna concesionaria.

A continuación, se detallan estudios referentes a la investigación: A nivel internacional, Villarear y Cuji (2024) en su investigación, tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema fotovoltaico de alta eficiencia con aplicaciones multipropósito a lo largo de una carretera, con el fin de abordar problemas relacionados con la iluminación vial, telecomunicaciones y la carga de vehículos eléctricos. Para ello se utilizó el software DiaLux para analizar y garantizar estándares adecuados de iluminación según el tipo de carretera, se aplicó el método de Glover y McCulloch para evaluar el recurso energético disponible y asegurar la viabilidad del sistema y se incluyó un diseño funcional para estaciones de carga de vehículos eléctricos livianos. Obteniendo un sistema aislado con las siguientes características Potencia Nominal 666225W, Potencia instalada 158295.875, WÁrea de paneles 13160m2, Energía producida diaria 1608822.96Wh, Energía producida anual 587220380Wh, Módulos instalados1645u. Esta propuesta de sistema fotovoltaico multipropósito propuesto representa una solución eficiente, sostenible y adaptable a los desafíos energéticos y ambientales actuales. Ofrece beneficios directos en seguridad vial, conectividad y movilidad eléctrica, siendo replicable en otras regiones con condiciones similares. El estudio aporta metodologías y datos clave que sirven como guía y punto de partida para diseñar un sistema fotovoltaico eficiente y sostenible.

Ademas, Rosas y Ortiz (2021), realizaron la siguiente investigación: Energía fotovoltaica para los equipos de telecomunicaciones móviles (antenas) en ZNI (Zonas no Interconectadas), como alternativa a energías no renovables. Este proyecto propone la instalación de paneles solares fotovoltaicos como una alternativa sostenible a los generadores diésel para alimentar la infraestructura de telecomunicaciones móviles en la Zona de No Intervención (ZNI). Las dos opciones presentadas en el documento, tanto la solar como el diésel, son viables y capaces de satisfacer la demanda energética de 9 kVA de los equipos de comunicación. Sin embargo, la propuesta solar destaca por su tecnología avanzada y su capacidad de modularidad, lo que permite una implementación práctica y eficiente con ensambles fáciles de instalar. El estudio valida la viabilidad de usar energía fotovoltaica para telecomunicaciones en zonas remotas, destacando su fácil instalación y sostenibilidad.

También, Alonso et al (2018), llevaron a cabo un estudio: Diseño de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la antena remota de banda ancha inalámbrica punto a punto ubicada en el estado de Tabasco. El objetivo primordial fue crear un sistema de suministro energético basado en paneles solares para una antena repetidora de banda ancha inalámbrica punto a punto, ubicada en Tenosique, Tabasco, con la finalidad de brindar conexión a internet a la localidad de Emiliano Zapata, situada a 30 km de distancia. Luego de analizar las condiciones climáticas de la zona y realizar los cálculos necesarios, se escogieron los equipos más adecuados para cubrir los requerimientos del proyecto. Este sistema no solo mejorará la calidad de vida de los habitantes de Emiliano Zapata, sino que también, promoverá el uso de energía solar, una fuente limpia y renovable que debería ser aprovechada de manera más extensa en distintos proyectos. La implementación de esta iniciativa facilitará el acceso a tecnologías vitales en la vida diaria, desde mantenerse comunicado hasta acceder a información crucial, beneficiando así a toda la comunidad y fomentando un uso más extendido de sistemas energéticos basados en energía solar en el futuro. La investigación resalta la importancia de considerar el clima local y los beneficios comunitarios, lo cual sirve de ejemplo para promover el uso de energías limpias.

A nivel nacional, Angulo y Naquiche (2023) en su investigaciòn “Implementación de la energía fotovoltaica para optimizar el diseño de una vivienda autosustentable en el Asentamiento Humano Ruta del Sol, Marcona, Ica 2023”, se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental, empleando como herramientas de análisis y validación los softwares AutoCAD y DIALux. Como resultado, se logró diseñar una vivienda sostenible capaz de optimizar el uso de recursos energéticos mediante la generación de electricidad fotovoltaica, a la vez que se garantiza un mejor desempeño térmico con materiales accesibles y propios del lugar. Finalmente, el aporte principal de este trabajo radica en ofrecer un modelo de vivienda autosustentable que puede replicarse en otras zonas del país con condiciones similares, promoviendo el uso de energías renovables, incentivando el empleo de materiales locales y contribuyendo a la mejora de la calidad de vida en comunidades que carecen de acceso a soluciones habitacionales sostenibles. La investigación ofrece un modelo de referencia para diseñar sistemas fotovoltaicos autosustentables, utilizando software especializado y considerando el diseño térmico con materiales locales.

Asimismo, Quispe (2021), llevó a cabo una investigación sobre: Diseño de un sistema solar fotovoltaico de 8kWp para el suministro de energía eléctrica del nodo de distribución Cabanaconde-Arequipa 2021. El proyecto se centró en diseñar un sistema de energía solar para alimentar el nodo de distribución de internet de banda ancha en Cabanaconde, Arequipa. El sistema fue dimensionado para satisfacer una demanda energética de 56 kWh, teniendo en cuenta la eficiencia de cada componente y factores como la seguridad, la temperatura y la altitud. El sistema resultante incluye 16 paneles solares de 605 Wp, 40 baterías de 6V-600Ah, 2 reguladores MPPT de 100A cada uno y un inversor de 8kW de onda senoidal pura. El tamaño de los cables fue determinado en base a la corriente de diseño y la caída de tensión permitida. La investigación proporciona un ejemplo práctico de dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, detallando componentes, especificaciones y factores de diseño clave como eficiencia, seguridad y altitud.

Por otra parte, Ventura y Delgado (2020) realizaron la siguiente investigación: Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda Eléctrica de la Posta Medica, Centro Poblado Urakusa Provincia Condorcanqui, Amazonas-Perú. El proyecto se enfocó en diseñar un sistema de energía solar independiente para la posta médica de Urakusa, ubicada en la provincia de Condorcanqui. El sistema propuesto genera 5,94 kW de energía limpia, lo que significa un aumento en las horas de electricidad disponibles en comparación con el generador diésel actual. Para funcionar correctamente, el sistema requiere al menos 3,88 kWh/m2/día de radiación solar. Su configuración incluye 18 paneles solares de 330 W 24 V, un regulador MPPT 250/100 A, 24 baterías de 12 V 250 Ah y 2 inversores DC-AC de 48 V 3 000 VA para cubrir los requerimientos energéticos de la posta médica. Este estudio ofrece un diseño de referencia para un sistema fotovoltaico aislado, detallando componentes y requerimientos de radiación solar, útil para proyectos sin conexión a la red eléctrica.

La investigación tuvo como objetivo general diseñar un sistema fotovoltaico aislado para la optimización energética de una estación de telecomunicaciones en Kigkis, Condorcanqui, Amazonas y como objetivos específicos: Recolectar datos de radiación solar de la localidad de Kigkis, provincia de Condorcanqui, Amazonas; calcular la demanda eléctrica en la estación de telecomunicaciones; dimensionar los componentes del sistema fotovoltaico para la estación de telecomunicaciones; realizar el analisis de rendimiento del sistema fotovoltaico.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

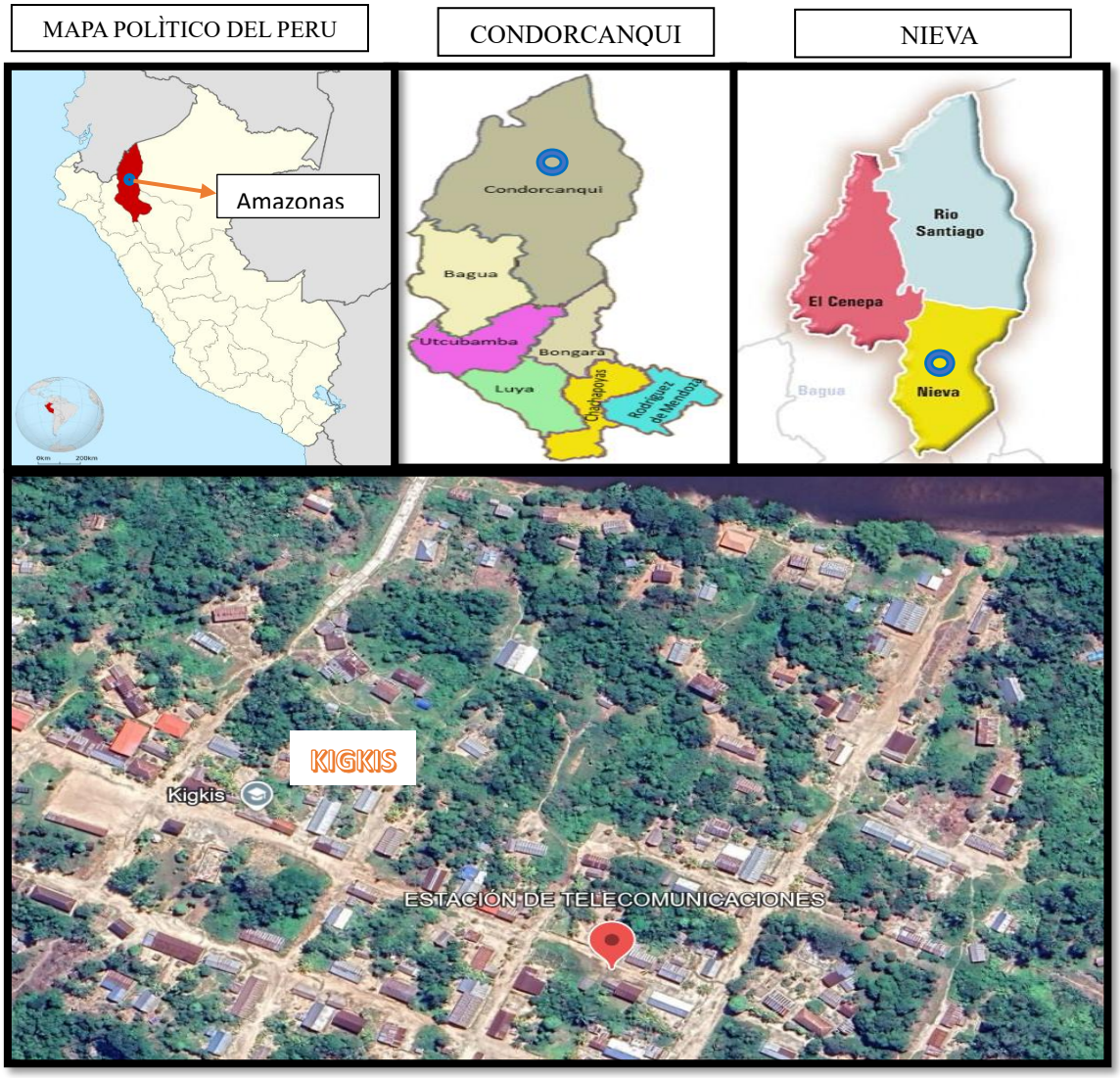
2.1. Objeto de estudio

Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la optimización energética de una estación de telecomunicaciones en Kigkis, Condorcanqui, Amazonas

2.2. Ubicación geográfica del área de estudio

Esta investigación se desarrolló en la comunidad nativa de Kigkis, ubicada en el distrito de Nieva, provincia de Condorcanqui, en el departamento de Amazonas; y se localiza en las coordenadas: latitud: -4.896310 y longitud: -77.924480.

Figura 1. *Ubicación de la estación de telecomunicaciones en la localidad de Kigkis*



Fuente: Google Earth

2.3. Población, Muestra y Muestreo

- La población es el conjunto total de elementos que comparten una característica en común y que son de interés para la investigación (Salazar, 2021).
- La muestra es un subconjunto representativo de la población que seleccionas para participar en el estudio. Debido a que es poco práctico o imposible estudiar a toda la población, se utiliza una muestra para obtener datos y hacer inferencias sobre la población en general (Salazar, 2021).
- El muestreo es el proceso o técnica que se utiliza para seleccionar la muestra de la población. El objetivo del muestreo es obtener una muestra que sea lo más representativa posible de la población, para que los resultados del estudio puedan ser generalizados a la población con un cierto grado de confianza (Salazar, 2021).
- Teniendo en cuenta que el objeto de la investigación fue diseñar un sistema fotovoltaico aislado para optimizar energía en una estación de telecomunicaciones, para cuyo efecto, la información requerida para realizar la investigación será recopilada en base al equipamiento y a la radiación específica de la estación. Por lo tanto, no se requerirá la muestra y muestreo.

2.4. Material

- **Revisión documental:** Se recopiló información técnica sobre consumo eléctrico de la estación, características geográficas y climáticas de Kigkis, normativas del sector energético y literatura sobre sistemas fotovoltaicos.

- **Medición y estimación de la irradiancia solar:** Se utilizaron datos de estaciones meteorológicas, bases de datos satelitales (como PVsyst), necesarios para el dimensionamiento del sistema.

- **Fichas técnicas**: Se emplearon para registrar las características de los equipos existentes y de los componentes seleccionados para el sistema propuesto (paneles, baterías, inversores, controladores, etc.).

2.5. Métodos de la Investigación

Para alcanzar los objetivos planteados se emplearon los siguientes métodos:

- **Método analítico**: Según Arias (2020), se caracteriza por estudiar un problema por medio de sus partes en forma separada, se extraen las partes de un todo para obtener un resultado total, ejemplo: Se descompone el problema energético de la estación de telecomunicaciones para analizar cada uno de sus componentes técnicos, económicos y ambientales.
- **Inductivo:** Según Arias (2020), este método parte de casos particulares y a casos más generales. Ejemplo a partir de la observación del contexto local (aislamiento geográfico, limitaciones energéticas, disponibilidad solar).

2.5.1. Tipo y enfoque de la investigación

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada, ya que buscó ofrecer una solución técnica concreta al problema del suministro energético en una estación de telecomunicaciones ubicada en Kigkis, distrito de Nieva, provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado.

Asimismo, el enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con las condiciones climáticas (irradiancia solar, temperatura), las características técnicas de la estación (consumo eléctrico, autonomía requerida), y los parámetros de diseño del sistema fotovoltaico.

El estudio es también de tipo descriptivo:

- **Descriptivo:** Su función es la caracterización de un fenómeno, se recolectan datos de la variable de estudio y se miden (Hernandez y otros, 2014). Ejemplo: caracterizar la situación energética actual de la estación y el potencial solar de la zona.

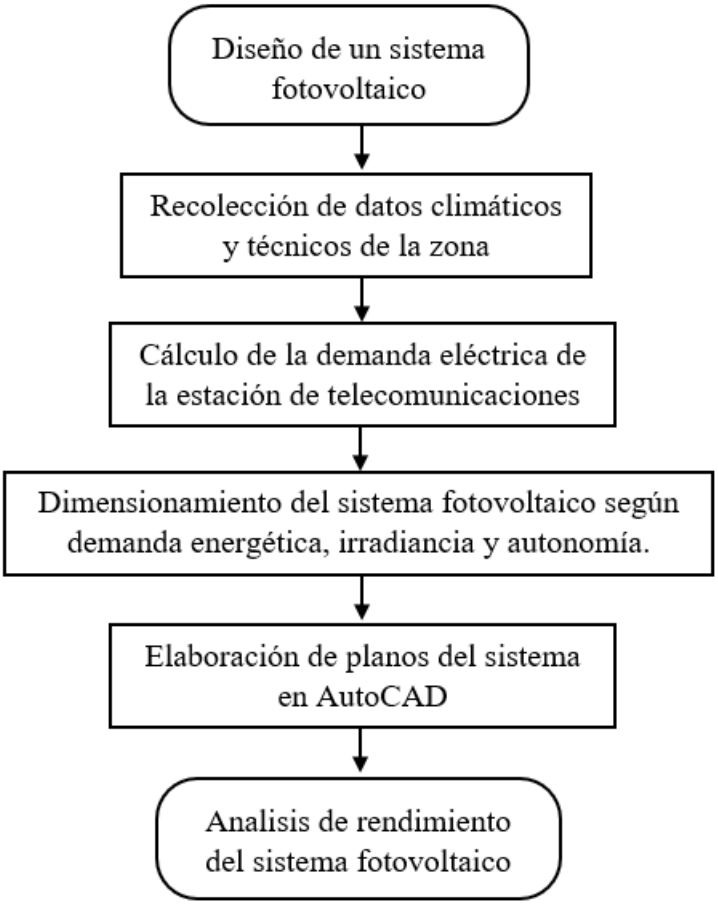
2.5.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental.

- **No experimental:** Porque no se manipulan deliberadamente las variables; se observa y analiza la situación tal como ocurre en el entorno real (demanda energética, irradiancia, condiciones de la estación de telecomunicaciones), para

posteriormente diseñar una solución técnica basada en los datos obtenidos. Hernandez y et al.(2014) en este tipo de investigación no hay manipulación intencional de variables sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para evaluarlos**.**

2.5.3. Procedimiento



2.5.3.1. O.E.1. Recolectar datos sobre la radiación solar presente en la localidad de Kigkis, provincia de Condorcanqui – Amazonas.

Para el diseño del sistema fotovoltaico aislado para la estación de telecomunicaciones fue necesario una investigación cuantitativa exhaustiva para asegurar su eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad. Este proceso involucró la recopilación y análisis de datos específicos para determinar las necesidades energéticas de la estación, las condiciones climáticas del lugar, la selección de los componentes del sistema y la evaluación de su rendimiento.

- Datos de Irradiancia Solar: Se recopiló datos de la irradiancia solar en la localidad de Kigkis donde está ubicado de la estación de telecomunicaciones, incluyendo la radiación solar promedio diaria, mensual y anual. Para este apartado se utilizó el sotfware PVsyst, en donde se pude visualizar los valores de irradiación global horizontal en cualquier punto del planeta.
- Identificación de patrones de radiación solar: Se analizaron los datos para identificar los períodos de alta y baja radiación solar, así como la variación estacional.
- Ángulo de inclinación: Se calculó la inclinación y orientación óptima para los paneles solares que garanticen el rendimiento máximo durante todo el año.
- Horas de sol: Se calculó el número de horas de sol pico, que representan la cantidad de energía solar que se puede capturar en un día determinado.

2.5.3.2. O.E.2. Calcular la demanda eléctrica de la estación de telecomunicaciones

- Inventario de equipos: Se realizó un listado de todos los equipos presentes en la estación, incluyendo su potencia nominal y el tiempo de funcionamiento diario.
- Cálculo de la demanda eléctrica total: Se calculó la demanda eléctrica total de la estación de telecomunicaciones, considerando la potencia de cada equipo y su tiempo de uso.
- Factor de carga: Se determinó el factor de carga, que representa la proporción de la potencia máxima que se utiliza en promedio durante el día.

- Consumo energético diario: Se calculó el consumo de energía diario de la estación de telecomunicaciones, teniendo en cuenta el factor de carga y el tiempo de funcionamiento de los equipos.

2.5.3.3. O.E.3. Dimension de los componentes del sistema solar fotovoltaico

El dimensionamiento adecuado de los componentes del sistema solar fotovoltaico es importante para asegurar un suministro de energía eléctrica seguro y eficiente a la estación de telecomunicaciones.

- Paneles solares: Se seleccionaron los paneles solares adecuados en términos de potencia, eficiencia y tamaño, considerando la demanda energética de la estación y la radiación solar disponible.
- Controlador de carga: Se seleccionó un controlador de carga que regule la carga y descarga de las baterías, protegiéndolas de sobrecargas y descargas profundas.
- Baterías: Se seleccionaron las baterías que almacenarán la energía solar generada, considerando su capacidad, tipo de química y vida útil.
- Inversor: Se seleccionó un inversor adecuado que convierta la corriente directa (DC) generada por los paneles solares a corriente alterna (AC) para alimentar las cargas de la estación.

2.5.3.4. O.E.4. Realizar el analisis de rendimiento del sistema fotovoltaico.

- Análisis de autoconsumo: Se evaluó la capacidad del sistema para satisfacer la demanda energética de la estación de telecomunicaciones.
- Análisis de autonomía: Se determino la autonomía del sistema, es decir, el tiempo que puede funcionar sin recibir energía adicional del sistema fotovoltaico.
- Analisis económico: se estimó el costo de materiales, mano de obra, instalación, transporte y mantenimiento asociados a la implementación del proyecto.

III. RESULTADOS

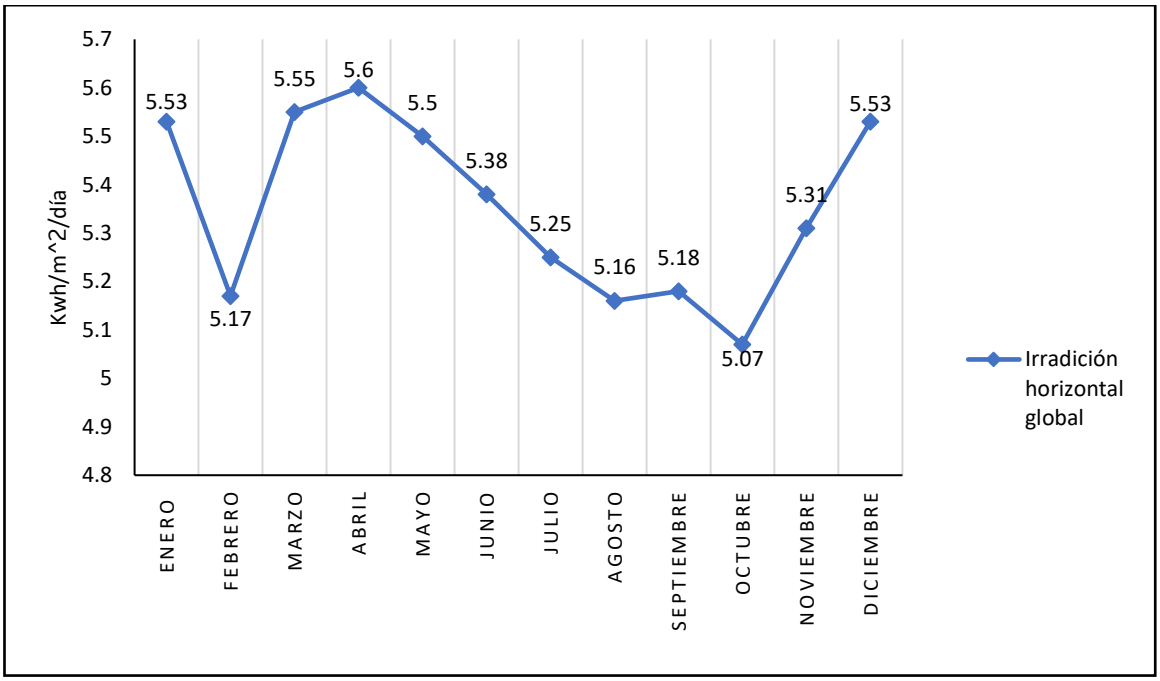
3.1. Recolección de datos sobre la radiación solar

3.1.1. Irradiancia Solar:

Se recopilaron datos de la irradiación solar diaria, mensual en la localidad de Kigkis, Condorcanqui, Amazonas donde está ubicada la estación de telecomunicaciones. Para este apartado se utilizó el software PVsyst, en donde se puede visualizar los valores de irradiación horizontal global, la irradiación difusa horizontal, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa en cualquier punto del planeta (ver anexo 1).

Los valores que muestra este software se obtienen de Meteonorm, una de las bases de datos climáticos más reconocida y confiable del mundo que ha sido construida a base de mediciones de distintos parámetros durante más de treinta años a través de satelites repartidos por todo el mundo (Alvarado, 2018). (Ver figura 2 y anexo 1)

Figura 2: *Irradiación horizontal global en Kigkis.*



Fuente: *Datos obtenidos de Software PVsyst*

3.1.2. Identificación de patrones de radiación solar

Se analizaron los datos de la figura 2 para identificar los períodos de alta y baja radiación solar, así como la variación estacional.

De la base de datos climatica investigada, referenciamos los datos obtenidos en la figura 2 donde indica, que abril es el mes con mayor irradiación solar en el cual se obtiene un valor de 5.60 kWh/m^2/día. y que octubre es el mes con menor radiación solar en el cual se obtiene un valor de 5.07 kWh/m^2/día.

Es una irradiación que tiene poca variación a lo largo del año esto debido a la localización de Kigkis, esta cercano al ecuador, en la que la trayectoria solar es practicamente la misma durante todo el año. El valor promedio anual de irradiación horizontal global es de 5.35 kWh/m²/día, lo que indica un buen potencial para la generación de energía solar.

3.1.3. Ángulo de inclinación

Se calculó la inclinación y orientación óptima para los paneles solares que garanticen el rendimiento máximo durante todo el año.

Una vez obtenido la radiación solar minima del lugar, se calcula el ángulo de inclinación óptimo para el sistema fotovoltaico ya que de ello depende la producción solar óptima durante todo el año. Es importante destacar que la orientación de los paneles solares tambien es crucial para el funcionamiento adecuado del sistema, es por ello que se procura que este orientado hacia el Norte geográfico para maximizar la captación solar (Sebastian, 2022).

Para calcular el ángulo de inclinación de nuestro sistema se calculó mediante la ecuación (1) (Messenger & Abtahi, 2017)

$$\beta_{opt} = 3.7 + (0.69 \times |\varphi|) \qquad \textbf{(1)}$$

Donde:

$|\varphi|$ = latitud del lugar sin signo

$$\beta_{opt} = 3.7 + (0.69 \times |-4.896310|)$$

$$\beta_{opt} = 7.08°$$

El ángulo de inclinación calculado para nuestro sistema fué de 7.08° (Autosolar, s.f.).

3.1.4. Horas de sol

Se calculó el número de horas de sol pico, que representan la cantidad de energía solar que se puede capturar en un día determinado.

Las horas de sol piso (HSP) se define como la cantidad de horas que un lugar recibe una radiación solar constante de 1 kW/m^2; varia según la ubicación geográfica, epoca del año y condiciones climaticas (Castañeda y Torres, 2017). Para calcular las HSP de la localidad de Kigkis se utilizó la fórmula que se muestra a continuación mediante la ecuación (2)

$$HSP = \frac{radiación\ obtenida\ de\ la\ base\ de\ datos\ (kWh/m^2/día)}{1\ kW/m^2} \qquad \textbf{(2)}$$

$$HSP = \frac{5.35\ (kWh/m^2/día)}{1\ kW/m^2} = 5.35\ h/día$$

Por lo tanto, al reemplazar los datos obtenidos para la localidad de Kigkis plasmados en la figura 1 se obtiene un valor promedio de 5.35 h/día.

En la generación fotovoltaica, el concepto de Hora Solar Pico (HSP) simplifica los cálculos al reconocer que la producción de energía de los paneles solares no es constante a lo largo del día. Aunque se tenga días largos, con muchas horas de sol, no se genera el maximo de potencia en cualquier hora del día. Por lo tanto, el valor de HSP siempre será menor que el número total de horas de luz disponibles.

3.2. Cálculo de la demanda eléctrica de la estación de telecomunicaciones

Actualmente la estación de telecomunicaciones en Kigkis, no cuenta con energía eléctrica comercial, por tal motivo para proveer de servicio eléctrico a esta estacion de telecomunicaciones se posee un grupo electrógeno que genera 7 kW de potencia para cubrir la demanda de la estación.

Cabe mencionar que, dicho grupo electrógeno utiliza gasolina como combustible para operar.

Es por ello, que como investigador de este proyecto me propuse como objetivo, diseñar un sistema fotovoltaico autónomo el cual sea capáz de suministrar electricidad a dicha estación de telecomunicaciones.

3.2.1. Inventario de equipos

Antes de proceder con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, fue necesario realizar un análisis detallado de las cargas eléctricas presentes en la estación de telecomunicaciones. Este análisis permitió identificar los equipos que conforman la demanda energética total, así como determinar sus potencias nominales, tiempos de operación y factores de uso. La elaboración del inventario de equipos constituye una etapa esencial, ya que proporciona la base para calcular con precisión el consumo energético diario, la potencia de diseño y la capacidad requerida del sistema fotovoltaico. De esta manera, se asegura que el sistema propuesto pueda cubrir la demanda real de la estación bajo condiciones normales de funcionamiento y garantizar su operatividad continua incluso en escenarios de baja radiación solar.

Tabla 1**:** Inventario de equipos en la estación de telecomunicaciones de Kigkis

Descripción	**Potencia instalada (W)**
Gabinete Rectificador	2000 W
Luminarias	180 W
Tomacorrientes	150 W
Reserva proyectada en cumplimiento del CNE	233 W
Total	2563 W

3.2.2. Demanda eléctrica total

La demanda eléctrica total es la cantidad de energía eléctrica que la estación de telecomunicaciones requiere para su correcto funcionamiento. Se mide en kilovatios (kW) y representa la suma de las potencias demandadas por todos los equipos existentes en la estación (Lopez, 2025). La demanda máxima se determinó multiplicando la potencia total instalada de los equipos por el factor de demanda y se refleja a continuación en la ecuación (3), según (Nandi et at., 2023).

$$D_{máx}\ (W) = P_{inst}\ (W) * F.D \qquad \textbf{(3)}$$
$$D_{máx.total}\ (W) = \sum D_{máx}\ (W)$$

Donde:
$D_{máx}\ (W) =$ Demanda máxima (W)
$P_{inst}\ (W) =$ Potencia instalada (W)
$F.D =$ Factor de demanda

Según el Código Nacional de Electricidad CNE Utilización – Parte 2: Cargas y Demanda (Art. 220-6 y Tablas complementarias), para el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas se consideró la potencia instalada, así como los factores de utilización y simultaneidad para determinar la demanda real. El CNE establece normas para diferentes tipos de cargas (iluminación, enchufes, equipos fijos, sistemas de datos, etc.). Para equipos críticos y de funcionamiento continuo como los rectificadores, el CNE exige que se tenga en cuenta la naturaleza del servicio al calcular el tamaño de los alimentadores y las protecciones. Estos equipos deben poder soportar el peor escenario de operación (máxima demanda) para garantizar la disponibilidad del servicio de telecomunicaciones (Ministerio de Energía y Minería., 2011).

Tabla 2: Factor de demanda según CNE utilización 2011

Descripción	Factor de demanda (F.D)
Gabinete Rectificador	0.95 – 1
Luminarias	0.6 – 0.8
Tomacorrientes	0.6 – 0.8
Reserva proyectada en cumplimiento del CNE	0.95 – 1

Fuente: Datos obtenidos de CNE utilización 2011.

- Demanda máxima rectificador

$$D_{máx}\ (W) = 2000\ (W) * 1 = 2000\ W$$

- Demanda máxima luminarias

$$D_{máx}\ (W) = 180\ (W) * 0.7 = 126\ W$$

- Demanda máxima tomacorrientes

$$D_{máx}\ (W) = 150\ (W) * 0.7 = 105\ W$$

- Demanda máxima reserva proyectada

$$D_{máx}\ (W) = 233\ (W) * 1 = 233\ W$$

Demanda máxima total:

$$D_{máx.total}\ (W) = 2000\ W + 126\ W + 105\ W + 233\ W$$

$$D_{máx.total}\ (W) = 2464\ W$$

$$D_{máx.total}\ (kW) \cong 2.46\ kW$$

Finalmente, al reemplazar los datos en la ecuación (3) se obtuvo una demanda máxima total de 2.46 kW

3.2.3. Potencia activa

La potencia activa es la porción de la potencia eléctrica total que se transforma en energía real consumida por los equipos, expresada en kilovatios (kW).

En sistemas fotovoltaicos, la potencia activa está en función de la energía demandada, el factor de potencia y las condiciones de operación de cada carga conectada.

De acuerdo con la norma IEC 60050-131:2017 y el Código Nacional de Electricidad – Suministro 201, se utilizó la ecuación (4):

$$P_{act}\ (W) = D_{máx}\ (W) * F.P \qquad \textbf{(4)}$$
$$P_{act.total}\ (W) = \sum P_{act}\ (W)$$

Donde:

$P_{act}\ (W) =$ Potencia activa (W)

$F.P =$ Factor de potencia

Aunque el CNE no especifica un factor de potencia particular para instalaciones electricas en estaciones de telecomunicaciones, expertos recomiendan cumplir con los estándares generales de factor de potencia establecidos por las empresas de distribución eléctrica en el Perú, que suelen exigir un factor de potencia superior a 0.90 o 0.95.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico para la estación de telecomunicaciones se basó en factores de potencia diferenciados para asegurar una estimación precisa de la demanda (Bel Fuse, Inc., 2020).

Tabla 3: Factor de potencia según CNE 2011

Descripción	Factor de potencia (F.P)
Gabinete Rectificador	0.95 – 1
Luminarias	0.85– 0.9
Tomacorrientes	0.85 – 0.9
Reserva proyectada en cumplimiento del CNE	0.95 – 1

Fuente: Datos obtenidos de CNE 2011

- Potencia activa rectificador

$$P_{act}\ (W) = 2000\ (W) * 1 = 2000\ W$$

- Potencia activa luminarias

$$P_{act}\ \ (W) = 126\ (W) * 0.9 = 113.4\ W$$

- Potencia activa tomacorrientes

$$P_{act}\ \ (W) = 105\ (W) * 0.9 = 94.5\ W$$

- Potencia activa reserva proyectada

$$P_{act}\ \ (W) = 233\ (W) * 1 = 233\ W$$

Potencia activa total:

$$P_{act.total}\ (W) = 2000\ W + 113.4\ W + 94.5\ W + 233\ W$$

$$P_{act.total}\ (W) = 2440.9\ W$$

$$P_{act.total}\ (kW) \cong 2.44\ kW$$

A partir de los parámetros eléctricos calculados en el item 3.2.2. y el factor de potencia en cada circuito, se determinó la potencia activa total del sistema de 2.44 kW, que representa la energía efectiva que será suministrada a las cargas por el sistema fotovoltaico.

3.2.4. Consumo enegético diario

El consumo energético diario se refiere a la cantidad total de energía eléctrica que la estación de telecomunicaciones utiliza durante un período de 24 horas. Se mide en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh) y representa la suma de la energía consumida por todos los equipos y cargas a lo largo del día. (U.S. Department of Energy, s.f.)Ver ecuación 5

$$E_{consumo}\ (kWh/día) = P_{act}\ (kW) * horas\ de\ uso\ (h) \qquad \textbf{(5)}$$

$$E_{consumo.\ total}\ (kWh/día) = \sum E_{consumo}(kWh/día)$$

- Consumo energético diario rectificador (24 horas de uso)

$$E_{consumo}\ (kWh/día) = 2.0\ (kW) * 24\ h = 48\ kWh/día$$

- Consumo energético diario luminarias (5 horas de uso)

$$E_{consumo}\ (kWh/día) = 0.11\ (kW) * 5\ h = 0.56\ kWh/día$$

- Consumo energético diario tomacorrientes (5 horas de uso)

$$E_{consumo}\ (kWh/día) = 0.095\ (kW) * 5\ h = 0.48\ kWh/día$$

- Consumo energético diario reserva proyectada (24 horas de uso)

$$E_{consumo}\ (kWh/día) = 0.233\ (kW) * 24\ h = 5.59\ kWh/día$$

Consumo energético total:

$$E_{consumo.\ total}\ (kWh/día) = 48\ kW + 0.56\ kW + 0.48\ kW + 5.59\ kW$$

$$E_{consumo.\ total}\ (kWh/día) = 54.63\ kWh/día$$

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros clave obtenidos a partir del análisis de cargas de la estación de telecomunicaciones. Estos valores son fundamentales para el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico, y se han calculado siguiendo las metodologías descritas en las secciones anteriores. La tabla 1 que se presenta a continuación resume los parámetros clave obtenidos, incluyendo la potencia instalada, el factor de demanda, la demanda máxima, el factor de potencia y el consumo energético diario. Estos valores serán utilizados para dimensionar el sistema fotovoltaico y garantizar su correcto funcionamiento.

Tabla 4: Cuadro de cargas eléctricas

Cuadro de cargas eléctricas							
Item	**Descripción**	**Pot. Inst. (W)**	**F.D**	**Dem. máx. (W)**	**F.P**	**Horas (h)**	**Consumo diario (Wh)**
1	Gabinete rectificador	2000	1	2000	1	24	48000
2	Luminarias	180	0.7	126	0.9	5	567

3	Tomacorrientes	150	0.7	105	0.9	5	472.5
4	Reserva proyectada 10%	233	1	233	1	24	5592
5	Total	2563		2464			
			Consumo promedio (Wh/día)				54631.5
			Consumo promedio (kWh/día)				54.63

3.2.5. Energía real de diseño

La energía real de diseño es la cantidad de energía eléctrica que el sistema fotovoltaico debe generar para cubrir la demanda energética real de la estación de telecomunicaciones, considerando las pérdidas del sistema y las condiciones climáticas del entorno (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2019).

A diferencia del consumo energético diario teórico, la energía real de diseño tiene en cuenta factores como la eficiencia real de los componentes del sistema: rectificador, baterías, inversor, y las pérdidas en cableado y conexiones (Zhou & Mukhopadhyaya, 2020).

El enfoque adoptado en este cálculo siguió criterios de buenas prácticas y las restricciones del CNE, en particular lo referente a límites de caída de tensión y consideraciones de pérdidas en instalaciones eléctricas. Como el CNE no nos da un "factor de pérdidas" específico, sumamos las eficiencias de cada parte del sistema para tener una idea de las pérdidas por conversión y distribución eléctrica. Se usó una eficiencia global realista que ayudó a no quedarnos cortos al dimensionar el arreglo fotovoltaico y asegurar que la estación de telecomunicaciones siga funcionando sin problemas (Ministerio de Energía y Minería., 2011).

Para estimar la energía real de diseño, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{diseño}(kWh/día) = \frac{E_{consumo}(kWh/día)}{\eta_{sistema}} \quad \textbf{(6)}$$

$$\eta_{sistema} = \eta_{rectificador} * \eta_{inversor} * \eta_{baterias} * \eta_{cableado}$$

Donde:

$\eta_{sistema}$: es el factor de corrección que engloba las pérdidas del sistema y las condiciones climáticas, permitiendo dimensionar el sistema fotovoltaico de forma precisa y garantizar un suministro eléctrico confiable.

Factores de rendimiento típicos de los componentes, según buenas prácticas y CNE:

Tabla 5: Factor de corrección según rendimiento de cada componente

Descripción	**Factor de corrección (η)**
Rectificador	0.97
Inversor	0.92
Baterias	0.95
Cableado	0.98

Fuente: Datos obtenidos de CNE utilización 2011

$$\eta_{sistema} = 0.97 * 0.92 * 0.95 * 0.98 = 0.83$$

Reemplazando en la ecuación (6):

$$E_{diseño}(kWh/día) = \frac{54.63\ (kWh/día)}{0.83}$$

$$E_{diseño}(kWh/día) = 65.82\ kWh/día$$

La energía real de diseño calculada para el sistema fotovoltaico aislado es de aproximadamente 65.82 kWh/día.

Este valor representa la energía que el sistema fotovoltaico debe producir diariamente para compensar las pérdidas del sistema y asegurar que las cargas reciban efectivamente los 54.63 kWh/día requerido.

3.2.6. Potencia de diseño

El dimensionamiento adecuado del campo fotovoltaico es una etapa crucial en el diseño del sistema fotovoltaico aislado para alimentar la estación de telecomunicaciones (Eaton Corporation, 2018). La potencia de diseño o potencia

pico del sistema fotovoltaico (kWp) representa la capacidad nominal que posee el conjunto de módulos solares para generar la energía real de diseño determinada previamente en el apartado 3.2.5. mediante la ecuación (6).

Esta potencia de diseño depende directamente de la energía diaria requerida y de las horas sol pico (HSP) disponibles en la zona. Ver ecuación (Ministerio de Energía y Minería., 2011) (7).

$$P_{diseño}(kW) = \frac{E_{diseño}(kWh/día)}{HSP\ (h/día)} \qquad \textbf{(7)}$$

Donde:

$P_{diseño}(kW)$: Potencia de diseño del sistema fotovoltaico

Se reemplazó datos en la ecuación (7):

$$P_{diseño}(kW) = \frac{65.82\ (kWh/día)}{5.35\ (h/día)}$$

$$P_{diseño}(kW) = 12.30\ kW$$

Utilizando la ecuación (7) se calculó una potencia de diseño de 12.30 kW.

3.3. Dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico

El dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico fue un proceso escencial para garantizar un suministro eléctrico confiable y eficiente. Este proceso permitió determinar la capacidad y cantidad adecuada de cada elemento como paneles solares, baterías, rectificadores e inversores; en función de la demanda energética, las condiciones de radiación solar y los criterios técnicos establecidos por las normas vigentes (Ministerio de Energía y Minería., 2011).

En el caso de la estación de telecomunicaciones ubicada en la localidad de Kigkis, se realizó un dimensionamiento adecuado para asegurar la continuidad del servicio y la autonomía del sistema, optimizando el desempeño energético y reduciendo los costos de operación y mantenimiento.

3.3.1. Paneles solares

Según (International Electrotechnical Commission [IEC61252:1993/AMD2:2017], 2017), una selección adecuada del número y tipo de paneles garantiza el suministro continuo de energía eléctrica, optimiza los costos y asegura un rendimiento eficiente frente a las variaciones de irradiancia y temperatura.

En esta fase se determinó el número total de módulos necesarios para cubrir la potencia de diseño previamente calculada en el item 3.2.6., además, se consideró la tensión de operación del sistema (48 VDC). El cálculo se realiza con base en las especificaciones técnicas de los módulos solares (potencia pico, voltaje y corriente en el punto de máxima potencia), así como en los parámetros de operación del rectificador de carga (rango de tensión de entrada MPPT y corriente máxima admisible).

Asimismo, se verifica que la tensión de circuito abierto (Voc) de los módulos en condiciones de baja temperatura no exceda la tensión máxima de entrada del rectificador, garantizando así la seguridad eléctrica y la operación confiable del sistema. Finalmente, se establecierón las configuraciones de conexión en serie y paralelo, con el fin de obtener la potencia total requerida y una tensión de trabajo dentro del rango permitido (International Renewable Energy Agency [INRENA], 2016).

- **Tensión de trabajo del sistema**

  En un sistema fotovoltaico aislado, la tensión de trabajo representa el valor de voltaje nominal en el cual operan los equipos principales del sistema, garantizando la compatibilidad entre el campo fotovoltaico, el rectificador, el banco de baterías y las cargas de telecomunicaciones. En el presente diseño, la tensión de trabajo se encuentra determinada por las características del rectificador, el cual cumple la función de acondicionar y estabilizar la energía proveniente de los módulos solares.

  El rectificador seleccionado presenta una tensión de entrada de 185–275 VDC, rango que corresponde al voltaje entregado por el arreglo de paneles fotovoltaicos bajo condiciones normales de operación (punto de máxima potencia). Esta tensión de entrada es convertida internamente por el equipo para proporcionar

una tensión de salida regulada de 48 VDC, la cual constituye el nivel de trabajo principal del sistema y alimenta tanto al banco de baterías como a las cargas de telecomunicaciones.

Esta elección se justifica por las siguientes razones técnicas:

Eficiencia energética: al incrementarse el voltaje del sistema, disminuye la corriente que circula por los conductores para una misma potencia, lo que reduce las pérdidas por efecto Joule (I^2R) y mejora la eficiencia global del sistema.

Estándar en sistemas modulares: los controladores de carga, inversores y bancos de baterías de tipo industrial están diseñados para operar eficientemente en sistemas de 48 VDC, lo que facilita la disponibilidad de componentes y la expansión futura del sistema.

En consecuencia, el sistema fotovoltaico se dimensionó para suministrar una tensión en el rango de 185 a 275 VDC hacia el rectificador, el cual estabiliza y entrega una tensión nominal de 48 VDC al sistema. Este nivel de voltaje garantiza una operación eficiente, segura y plenamente compatible con los equipos instalados en la estación de telecomunicaciones (Eltek, 2019).

- **Determinación de módulos fotovoltaicos para sistemas aislados**

Actualmente, los módulos monocristalinos son los más empleados en sistemas fotovoltaicos aislados debido a su alta eficiencia >20 %, mejor desempeño en condiciones de baja radiación y su capacidad de generar más energía por unidad de superficie respecto a los módulos policristalinos o de capa delgada. Además, presentan una mayor estabilidad térmica y una vida útil superior a 25 años, lo que los convierte en la opción más adecuada para aplicaciones críticas como es el caso de la estación de telecomunicaciones (International Electrotechnical Commission [IEC61252:1993/AMD2:2017], 2017).

Para la selección del módulo fotovoltaico se realizó una tabla comparativa de tres modelos típicos de la marca Canadian Solar: CS6P-330P, CS3W-550MS y CS6.1-72TD-620 W

Tabla 6: Comparación de módulos fotovoltaicos Canadian Solar

Parámetro	CS6P-330P	CS3W-550MS	CS6.1-72TD-620 W
Potencia nominal (P_{max})	330 W	550 W	620 W
Tensión en punto máximo (Vmp)	33.7 V	41.7 V	44.8 V
Eficiencia del módulo	19.86 %	21.5 %	23.0 %
Corriente en punto máximo (Imp)	9.80 A	13.20 A	13.84 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	40.5 V	49.6 V	52.6 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	10.30 A	14.00 A	14.78 A
Dimensiones aprox. (mm)	1675 x 992	2261 x 1134	2382 x 1134
Peso	18.5 kg	27.8 kg	33.6 kg
Tecnología de celda	Mono PERC	Mono PERC	TOPCon
Certificaciones	IEC 61215 / 61730	IEC 61215 / 61730	IEC 61215 / 61730 / UL 61730
Costo unitario aprox. (USD)	110 USD	160 USD	165 USD
Costo por watt (USD/W)	0.33 USD/W	0.29 USD/W	0.27 USD/W
Número de módulos requeridos	38	23	20

Fuente: Datos obtenidos de datasshet Canadian Solar

Para el presente proyecto, se seleccionó el módulo Canadian Solar HiKu6 CS6.1-72TD-620W, con una potencia nominal de 620 W, tecnología monocristalina N-type TOPCon, y eficiencia promedio del 23.0 %, el cual cuenta con certificaciones internacionales conforme a las normas IEC 61215, IEC 61730, IEC 61701 e IEC 62804. (Ver figura 3 y anexo 2) (Canadian Solar Inc, 2024).

Figura 3: Modulo fotovoltaico Canadian Solar



Fuente: https://natec.com/wp-content/uploads/2024/07/CS-Datasheet-TOPHiKu6_CS6.1-72TD_v1.6_F67_EN_595-625W.pdf

El número de módulos necesarios se obtuvo dividiendo la potencia total del sistema entre la potencia nominal del panel (ver ecuacion 8):

$$N_{módulos} = \frac{P_{diseño}(W)}{P_{módulo}(W)} \qquad (8)$$

Donde:

- $N_{módulos}$= Número de módulos requeridos del sistema
- $P_{módulo}$= Potencia de cada módulo

$$N_{módulos} = \frac{12300\ (W)}{620\ (W)}$$

$$N_{módulos} = 19.84\ módulos \approx 20\ módulos$$

Tras aver realizado el cálculo mediante la ecuacion 8 se determinó que se emplearía 20 módulos solares.

- **Configuración de los módulos**

Para alcanzar el nivel de tensión adecuado al rango de trabajo del rectificador, cuyo valor nominal (MPPT) es de 185 V a 275 V, y su valor máximo de entrada es de 300 VDC, agrupamos los módulos en series y paralelo.

Cada módulo tiene una tensión en el punto de máxima potencia (Vmp) de 44.8 V, y una tensión en circuito abierto (Voc) de 52.6 V.

Para definir cuántos módulos se conectarán en serie, depende del voltaje total de operación del sistema que se requiere alcanzar. Cada módulo fotovoltaico aporta una parte de ese voltaje; por lo tanto, al conectarse varios en serie, sus tensiones se suman.

La relación general proviene del balance de tensiones en el circuito equivalente de una cadena fotovoltaica, según los principios descritos por Xiao (2017) en Photovoltaic Power System: Modelling, Design and Control expresa en la ecuación (9):

$$N_{módulos,serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{mp}} \qquad (9)$$

Donde:

- $N_{módulos,serie}$= Número de módulos requeridos en serie
- $V_{sistema}$= Tensión nominal del sistema
- V_{mp}= Tensión nominal de cada módulo

Cálculo para tensión nominal 185 v:

$$N_{módulos,serie} = \frac{185\ V}{44.8\ V}$$

$$N_{módulos,serie} = 4.1$$

Cálculo para tensión nominal 275 v:

$$N_{módulos,serie} = \frac{275\ V}{44.8\ V}$$

$$N_{módulos,serie} = 6.1$$

Cálculo para tensión máxima de operación 300 v:

$$N_{módulos,serie} = \frac{300\ V}{52.6\ V}$$

$$N_{módulos,serie} = 5.7$$

En este proyecto, el sistema trabaja con un rectificador cuya ventana MPPT nominal es de 185 a 275 VDC, y el voltaje máximo de entrada permitido es de 300 VDC. entonces se realizó el calculo utilizando la ecuación (9) y los datos de la ficha técnica del módulo seleccionado, obteniendo como resultado que se necesita un arreglo de 5 módulos en serie para obtener los valores de tensión requeridos y operar de forma segura dentro de los límites del diseño.

Una vez determinado el número de módulos que conformarán cada serie, se definió cuántas series se conectarán en paralelo para alcanzar la potencia total de diseño del sistema. La conexión en paralelo permite aumentar la corriente total de salida del campo fotovoltaico, manteniendo constante la tensión de operación del sistema. El número de ramas en paralelo se determina mediante la ecuacion (10):

$$N_{módulos,paralelo} = \frac{N_{módulos}}{N_{módulos,serie}} \qquad (10)$$

Donde:

- $N_{módulos,paralelo}$= Número de módulos requeridos en paralelo

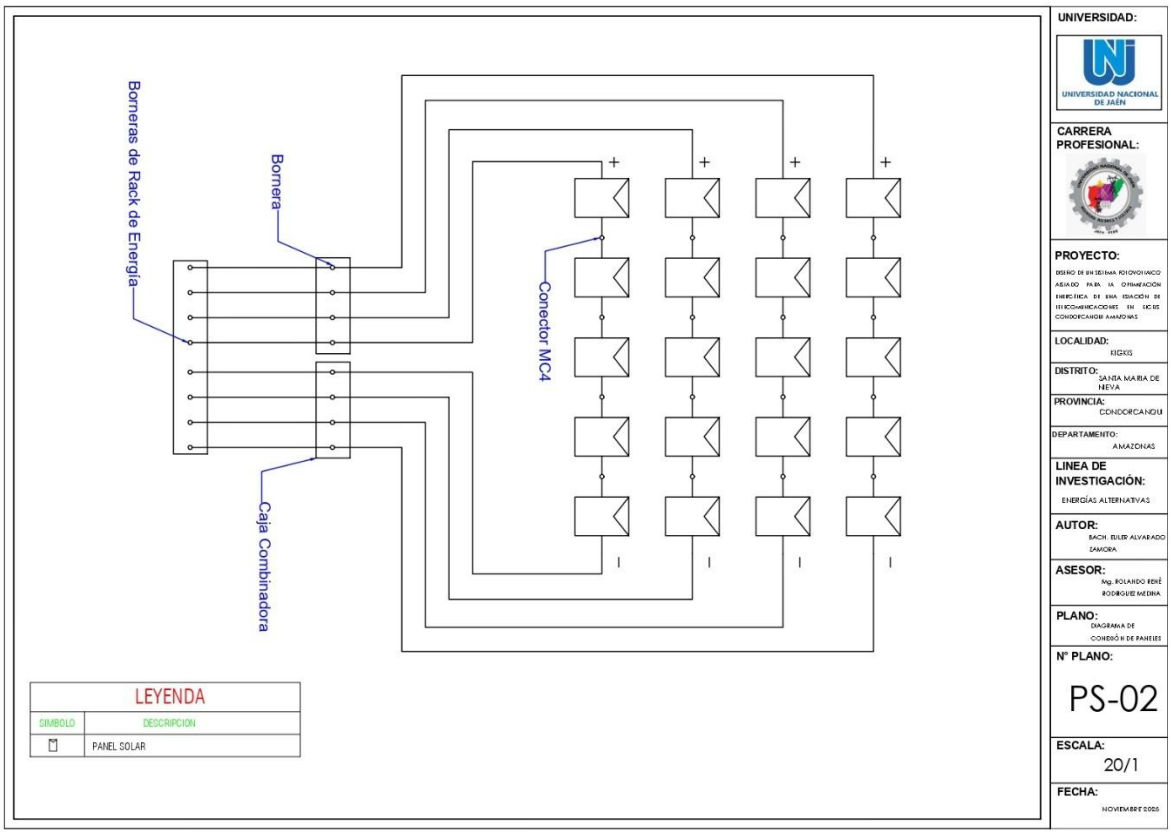
$$N_{módulos,paralelo} = \frac{20\ módulos}{5\ módulos}$$

$$N_{módulos,paralelo} = 4\ módulos$$

Finalmente, para satisfacer la potencia de diseño del sistema fotovoltaico, se determinó cuatro ramas o strings conectadas en paralelo, cada una conformada por cinco módulos en serie del modelo Canadian Solar CS6.1-72TD de 620 W. Esta disposición permitió alcanzar una potencia total instalada de 12.4 kWp, manteniendo la tensión dentro del rango de operación del rectificador (185–275 VDC) y una corriente total de aproximadamente 55.36 A (ver figura 3 y anexo 11).

La conexión en paralelo de las cuatro ramas garantiza que la corriente total generada por el campo fotovoltaico sea suficiente para cubrir la demanda energética prevista, asegurando además una distribución equilibrada de corriente entre los strings. De este modo, se optimizó el rendimiento energético del sistema y se garantiza una operación estable, eficiente y segura conforme a los lineamientos de diseño establecidos por la norma IEC 62548:2016 – Photovoltaic (PV) Arrays: Design Requirements. (Ver figura 4 y anexo 10).

Figura 4: Distribución de los módulos fotovoltaicos



- **Energía generada por el sistema fotovoltaico**

Una vez definido el número total de módulos y su configuración eléctrica, se determinó la energía diaria suministrada por el sistema fotovoltaico bajo las condiciones de radiación solar de la localidad de Kigkis. Este cálculo permitió verificar si la potencia instalada del sistema solar puede cubrir la demanda energética estimada de la estación de telecomunicaciones.

La energía diaria estimada entregada por el campo fotovoltaico se calcula mediante la expresión convencional determinada en la ecuacion (11):

$$E_{FV} = P_{instalada}(kWp) * HSP\ (h/día) \qquad \textbf{(11)}$$
$$P_{instalada}(kWp) = N_{módulos} * P_{módulo}(kWp)$$

Donde:

- $E_{FV} =$ Energía diaria producida (kWh/día)

Se determinó la potencia instalada del sistema fotovoltaico:

$$P_{instalada}(kWp) = 20 * 0.62\ (kWp)$$
$$P_{instalada}(kWp) = 12.4\ kWp$$

Se reemplazó el valor obtenido en la ecuación (11)

$$E_{FV} = P_{instalada}(kWp) * HSP\ (h/día)$$
$$E_{FV} = 12.4\ (kWp) * 5.35\ (h/día)$$
$$E_{FV} = 66.34\ kWh/día$$

El sistema fotovoltaico, compuesto por 20 módulos Canadian Solar CS6.1-72TD de 620 W producirá aproximadamente 66.34 kWh/día. Comparando con la demanda energética de 65.82 kWh/día, se observa que el sistema fotovoltaico diseñado es autosuficiente, obteniendo un margen positivo de 0.52 kWh/día.

3.3.2. Controlador de carga

El controlador de carga constituye un elemento esencial dentro del sistema solar fotovoltaico, ya que regula el flujo de energía proveniente del campo fotovoltaico hacia el banco de baterías o el sistema de distribución de corriente continua. Su función principal es proteger los acumuladores frente a sobrecargas o descargas profundas, así como optimizar el aprovechamiento energético del generador fotovoltaico mediante la operación en el punto de máxima potencia (MPPT).

En el caso de las estaciones de telecomunicaciones, el controlador de carga cumple un papel crítico al asegurar un suministro continuo, estable y confiable de energía a los equipos de transmisión, incluso ante variaciones en la radiación solar o interrupciones temporales en la generación. Además, cabe precisar que para estas aplicaciones es frecuente el uso de rectificadores o convertidores DC-DC de alta eficiencia, diseñados para operar dentro de rangos amplios de tensión de entrada generalmente entre 185–275 VDC y entregar una salida regulada de 48 VDC, tensión estándar en los sistemas de telecomunicaciones.

Para el presente diseño, se calculó un arreglo fotovoltaico de 20 módulos Canadian Solar CS6.1-72TD de 620 W, con una potencia instalada total de 12.4 kWp y horas sol pico promedio de 5.35 h/día. Estos valores determinan los parámetros eléctricos de entrada que deberá soportar el controlador, garantizando una adecuada conversión de energía hacia el sistema de baterías y las cargas críticas.

Asimismo, la selección del controlador se realizó considerando criterios técnicos como: el rango de tensión máxima en circuito abierto (Voc), la corriente máxima por entrada, la eficiencia de conversión, las protecciones incorporadas y la compatibilidad con la tensión de trabajo del sistema (48 VDC). El cumplimiento de estos parámetros, establecidos en normas internacionales como la IEC 62109 y la IEC 62509, asegura la fiabilidad y seguridad del sistema fotovoltaico aislado.

Para este proyecto se seleccionó el rectificador Eltek Flatpack2 HE de 48 V y 2000 W, ampliamente utilizado en aplicaciones de telecomunicaciones por su alta eficiencia (97 %) y rango de entrada de 85–300 VDC, compatible con el arreglo fotovoltaico configurado ($V_{oc_cold} \approx 279.5$ V). (Ver figura 5 y anexo 3) (Eltek, 2018).

Figura 5: rectificador Eltek Flatpack2 HE de 48 V y 2000 W



Fuente: https://www.eltek.com/globalassets/imported-documents/open/datasheet-flatpack2-48v-he-rectifiers_24111x.105.ds6.pdf

- **Potencia útil entregada por el campo fotovoltaico:**

Para determinar la potencia útil entregada por el campo fotovoltaico se utiliza la siguiente ecuación (12) tomando como referencia el datasheet Eltek y los datos obtenidos en la ecuación (11).

$$P_{out} = P_{instalada} * \eta_{rect} \qquad (12)$$

Donde:

- P_{out} = Potencia entregada por el rectificador (kW).
- η_{rect} = Eficiencia de conversión del rectificador.

$$P_{out} = 12.4 * 0.97$$
$$P_{out} = 12.03\ kW$$

Al reemplazar los datos en la ecuación (12), y considerando la eficiencia del rectificador Eltek 97% se obtubo como resultado que la potencia entregada por el rectificador es de 12.03 kW.

- **Número de módulos rectificadores requeridos:**

El cálculo de la cantidad de números de módulos requeridos se realiza mediante ecuacion (13) a partir de la capacidad de cada módulo en este caso Eltek Flatpack2 con una potencia nominal de 2000 W y una corriente de salida ≈ $41.7\ A$ @ $48\ V$ (por módulo) (Eltek, 2018).

$$N_{rect} = \frac{P_{out}}{P_{rect_nominal}} \qquad (13)$$

Donde:

- N_{rect} = número de módulos rectificadores.
- $P_{rect_nominal}$ = potencia nominal del rectificador (kW)

$$N_{rect} = \frac{12.03\ kW}{2.0\ kW}$$
$$N_{rect} = 6.02\ \approx 6$$

Al realizar los calculos correspondientes, logramos obtener como resultado que se requiere 6 módulos rectificadores.

Para redundancia N+1 (operación con fallo de 1 módulo sin perder capacidad), se añadió un módulo spare: La configuración N+1 permite mantener la operación incluso si un módulo falla o se retira por mantenimiento, mejorando la confiabilidad del sistema.

Los 7 módulos Eltek Flatpack2 48V/2000W proporcionan una capacidad total de 14 kW, suficiente para aprovechar la potencia generada por el campo fotovoltaico (12.4 kWp) con un margen operativo de poco más del 11 %.

- **Verificación de corrientes y tensiones de salida**

Teniendo como punto de partida una potencia de salida del rectificador es 12.03 kW, calculamos la corriente de salida utilizando la ecuación (14)

$$I_{out} = \frac{P_{out}\ (W)}{V_{out}\ (V)} \qquad (14)$$

Donde:

- I_{out} = coriente de salida total del sistema
- V_{out} = Tensión nominal de salida del sistema (VDC).

$$I_{out} = \frac{12030\ (W)}{48\ (V)}$$
$$I_{out} = 250.63\ A$$

Al realizar el cálculo obtuvimos como resultado 250.63 A, lo cual si lo dividimos por los 7 módulos a utilizar nos resulta $\approx 35.80\ A$; lo cual está dentro del rango de $\approx 41.7\ A$ por módulo según datasheet Eltek.

- **Rack de energía**

El rack de energía constituye un elemento fundamental dentro del sistema fotovoltaico, ya que centraliza la gestión, conversión y distribución del suministro en 48 VDC hacia los equipos. Su diseño modular y normado contribuye a una operación segura, eficiente y con alta disponibilidad, alineada a los estándares técnicos establecidos para infraestructura de telecomunicaciones.

Para este apartado elegimos un rack de energía de la marca Eltek, perteneciente a la familia Flatpack2 Open Rack System, debido a su alta confiabilidad, modularidad y amplia presencia en infraestructura de telecomunicaciones a nivel global. Este modelo permite la conexión de hasta 8 módulos rectificadores, lo cual otorga un margen adecuado para futuras expansiones de carga o incremento de equipos (Eltek, 2015)(ver figura 6 y anexo 4)

Figura 6: Rack de energía Eltek



Fuente: (Eltek, 2015)

3.3.3. Baterías

El banco de baterías constituye un elemento fundamental para el diseño del sistema fotovoltaico, ya que permite garantizar la continuidad del suministro eléctrico durante los periodos en los que no existe radiación solar suficiente, como en horas nocturnas o días nublados. Su función principal es almacenar la energía generada por los módulos fotovoltaicos y liberarla de manera controlada para mantener operativos los equipos de la estación de telecomunicaciones, asegurando así la autonomía y la confiabilidad del sistema (Abubakar, 2021)..

En los últimos años, las baterías de ion-litio, especialmente las de fosfato de hierro y litio ($LiFePO_4$), se han consolidado como la alternativa más eficiente para sistemas fotovoltaicos de mediana y alta exigencia. Estas baterías presentan mayor densidad energética, mayor profundidad de descarga utilizable (DoD), alta eficiencia de carga y descarga, y una vida útil superior en comparación con las baterías de plomo-ácido tradicionales. Además, su bajo mantenimiento y alta capacidad de ciclo las hacen especialmente adecuadas para estaciones de telecomunicaciones remotas, donde la fiabilidad del suministro eléctrico es prioritaria.

Para el dimensionamiento adecuado del banco de baterías se consideró la demanda energética diaria, el número de días de autonomía, la profundidad de descarga admisible (DoD), la eficiencia del sistema de almacenamiento y un margen de reserva que contemple las pérdidas y el envejecimiento de las baterías. Un diseño preciso evita tanto el sobredimensionamiento que incrementa innecesariamente los costos; asi como el subdimensionamiento, que comprometería la operatividad del sistema y la vida útil de las baterías (IEEE Standards Association, 2021).

En este apartado se presenta el dimensionamiento detallado del banco de baterías $LiFePO_4$ propuesto para la estación de telecomunicaciones. Además, se justifica la elección de la tecnología de litio frente a las alternativas convencionales, destacando sus ventajas en términos de rendimiento, durabilidad y adaptabilidad a condiciones de operación exigentes.

El uso de baterías de litio hierro fosfato ($LiFePO_4$) garantiza una alta densidad energética, un bajo mantenimiento y una vida útil superior a 10 años bajo condiciones de operación adecuadas. Además, su integración modular (rack system) permite una

instalación ordenada, segura y fácilmente escalable según la demanda futura del sistema de telecomunicaciones (Sacred Sun Green Energy Solution Provider, 2020).

Comparadas con las baterías de plomo-ácido, las $LiFePO_4$ presentan una eficiencia de carga/descarga del 95 %, una profundidad de descarga admisible del 90 %, y un número de ciclos que supera los 6000, asegurando así un excelente rendimiento a largo plazo. (Ver anexo 5)

- **Capacidad del banco de baterías**

La capacidad total necesaria del banco de baterías se determina a partir de la siguiente ecuación 15:

$$C_b = \frac{E_d * N_{aut}}{V_b * DoD * \eta_b} \qquad \textbf{(15)}$$

Donde:

- C_b = Capacidad total del banco (Ah)
- E_d = Energía diaria demandada (Wh/día)
- N_{aut} = Días de autonomía
- V_b = Voltaje nominal del banco (V)
- DoD = Profundidad de descarga admisible
- η_b = Eficiencia del sistema de baterias

$$C_b = \frac{65820 * 2}{48 * 0.9 * 0.95}$$

$$C_b = 3207.60\ Ah$$

Para asegurar la operatividad del sistema en condiciones climáticas adversas, se estableció una autonomía de dos días sin radiación solar, criterio que ofrece un equilibrio adecuado entre confiabilidad y costo de inversión (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2021). Una vez reemplazado los valores en la ecuación se obtuvo una capacidad total requerida de 3207.60 Ah a 48 V.

- **Selección de modelo de batería**

Se selecciona la batería Sacred Sun SCIFP48200, cuyas características principales son: (Ver figura 7 y anexo 5)

Figura 7: Batería Sacred Sun SCIFP48200



Fuente: https://www.sacredsun.com/uploads/soft/220826/1-220R6152156.pdf

Tabla 7: Caracteristicas de la bateria Sacred Sun SCIFP48200

Sacred Sun SCIFP48200	
Parámetro	**Valor**
Tensión nominal	48 V
Capacidad nominal	200Ah
Energía almacenada	9.6 kWh
Tipo de celda	$LiFePO_4$
Ciclo de vida	>6000 ciclos (90 % DoD)
Eficiencia	≥95 %
Comunicación	Modbus/SNMP/TACP
Configuración	Modular en rack

Fuente: *https://www.sacredsun.com/Product/Battery/*

- **Número de baterías requerias**

El cálculo de las baterias requeridas se realiza utilizando la ecuación 16:

$$N_{bat} = \frac{C_b}{C_{nom}} \qquad \textbf{(16)}$$

Donde:

- N_{bat} = Número de baterias requeridas
- C_{nom} = Capacidad nominal de las baterias (Ah)

$$N_{bat} = \frac{3207.60\ Ah}{200\ Ah}$$

$$N_{bat} = 16.04 \approx 16\ baterias$$

- **Energía útil del banco de baterias**

Para determinar la enérgía útil del banco de baterias se utilizó la ecuación (17)

$E_{útil} = N_{bat} * E_{almacenada} * DoD$ (17)

Donde:

- $E_{útil}$ = Energía útil del banco de baterias
- $E_{almacenada}$ = Energía almacenada por cada batería 4.8 (kWh)

$$E_{útil} = 16 * 9.6\ kWh * 0.9$$

$$E_{útil} = 138.24\ kWh$$

Con base en los cálculos realizados, se obtuvo que, el sistema de almacenamiento estará conformado por 16 baterías de litio $LiFePO_4$ Sacred Sun SCIFP48200 (48 V – 200 Ah) conectadas en paralelo, obteniendo una capacidad total de 3200 Ah y una energía útil de 138.24 kWh, lo que garantiza dos días de autonomía para la estación de telecomunicaciones, cumpliendo con los criterios de eficiencia y confiabilidad del diseño.

En conclusión, el sistema de almacenamiento propuesto cumple con los requisitos técnicos y operativos del diseño fotovoltaico, asegurando la autonomía, durabilidad y estabilidad energética de la estación de telecomunicaciones.

3.3.4. Inversor

El inversor es el equipo encargado de convertir la energía de corriente continua (DC) proveniente del rectificador fotovoltaico en corriente alterna (AC), con el nivel de tensión y frecuencia requeridos por los circuitos auxiliares de la estación de telecomunicaciones.

Aunque la mayoría de los equipos de transmisión en telecomunicaciones operan en 48 VDC, el inversor es necesario para abastecer cargas AC auxiliares (generalmente a 220 VCA, 60 Hz), o para permitir la conexión de cargas auxialiares; para este proyecto se dimensionó un inversor solo para tomacorrientes 105 W y alumbrado 126 W.

Para calcular la potencia necesaria del inversor se realizó mediante la ecuación (18):

$$P_{nom.inversor} = P_{AC,auxialiares} * k \qquad (18)$$

Donde:

- $P_{nom.inversor}$ = Potencia nominal del inversor
- $P_{AC,auxialiares}$ = Potencia de las cargas auxiliares
- k = Factor de seguridad (25% recomendable para cubrir variaciones y arranques leves)

$$P_{nom.inversor} = 231\ W * 1.25$$
$$P_{nom.inversor} = 288.75\ W$$

Realizando el cálculo se determinó una potencia nominal del inversor de 288.75 W. seguidamente se calculó la corriente de diseño mediante ecuación (19):

$$I_{DC} = \frac{P_{nom.inversor}}{V_{bat} * \eta_{inversor}} \qquad (19)$$

Donde:

- I_{DC} = Corriente DC estimada
- $P_{nom.inversor}$ = Potencia nominal del inversor
- V_{bat} = Voltaje nominal de las baterias
- $\eta_{inversor}$ = Eficiencia del inversor por ficha técnica 92%

$$I_{DC} = \frac{288.75\ W}{48\ V * 0.92}$$
$$I_{DC} = 6.54\ A$$

Una vez reemplazado los datos correspondientes se obtiene una corriente de $\approx 6.54\,A$, a partir de estos datos obtenidos realizamos la selección del inversor adecuado.

Se seleccionó un inversor RS PRO 48 V / 600 W onda senoidal pura, con potencia de salida continua de 600 W, voltaje de entrada de 48 VDC, eficiencia superior al 90 % y protección adecuada frente a bajo voltaje, sobrecarga y temperatura ambiente (Ver figura 8 y anexo 6).

Figura 8: Inversor RS PRO 48 V / 600 W



Fuente: https://cl.rsdelivers.com/product/rs-pro/power-inverter-pure-sine-wave-48v-600w/1793329?

Dado que la demanda máxima combinada de luminarias (126 W) y tomacorrientes (105 W) es de 231 W, este inversor ofrece un margen operativo considerable, y su corriente de entrada (~6.54 A) es compatible con el banco de baterías dimensionado.

3.3.5. Conductores eléctricos

El dimensionamiento adecuado de los conductores eléctricos en el sistema fotovoltaico es fundamental para garantizar la seguridad, eficiencia y durabilidad del sistema. Cada tramo desde los módulos solares hasta las cargas presenta condiciones eléctricas y ambientales diferentes, por lo que se seleccionó y calculó los conductores individualmente, considerando: corriente máxima de operación ($I_{máx}$), longitud del circuito (L), caida de tensión admisible (≤ 2 % en CC y ≤ 3 % en CA), tipo de aislamiento y temperatura ambiente, condición de instalación (entubado, bandeja o exposición solar directa

En el presente proyecto se dimensionó los conductores eléctricos por dos factores:

a) Por capacidad de corriente

$$I_{nominal} = \frac{1.25 * M_D}{V_{sistema} * \eta_{equipo}} \qquad (20)$$

Donde:

$I_{nominal} =$ Corriente nominal (A)

$M_D =$ Potencia del tramo (W)

$V_{sistema} =$ Tensión de trabajo (V)

$\eta_{equipo} =$ Eficiencia de cada equipo (%)

b) Por caida te tensión

$$S = \frac{2 * L * I}{\sigma * \Delta V_{adm}} \qquad (21)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Donde:

$S =$ Sección mínima (mm^2)

$I =$ Corriente (A)

$\rho =$ Resistividad del cobre

$\sigma =$ Conductividad del cobre

$L =$ Longitud del conductor (m)

$\Delta V_{adm} = 0.02 * \Delta V_{nom}$

Cálculo de la conductividad del cobre:

$$\sigma = \frac{1}{0.01786\ \Omega * mm^2/\mathrm{m}}$$

$$\sigma = 55.99 \approx 56\ m/\Omega * mm^2$$

Para telecomunicaciones, los conductores deben cumplir con las exigencias del Código Nacional de Electricidad (CNE, Perú, Ed. 2011) y la norma IEC 62548:2016 – Photovoltaic (PV) Arrays – Design Requirements, que establece los criterios de diseño y selección de cables para circuitos de corriente continua (DC) y alterna (AC).

Tabla 8: Caídas te tensión permitidas para cada tramo del sistema fotovoltaico

Tramo	**Descripción**	**Caída máxima**	**Tensión del sistema**	**Caída de tensión permitida**
Tramo 1	Módulos fotovoltaicos → Rectificador	2 %	224 V	4.48 V
Tramo 2	Rectificador → Banco de baterías	2 %	48 V	0.96 V
Tramo 3	Rectificador → Inversor	2 %	48 V	0.96 V
Tramo 4	Inversor → Cargas auxiliares	3 %	220 V	6.6 V

Fuente: Datos CNE (2011)

Para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad del sistema fotovoltaico, se seleccionó conductores eléctricos que cumplan con las exigencias de tensión, corriente, temperatura y condiciones ambientales establecidas por las normas internacionales y nacionales aplicables.

En este proyecto selecionamos los cables THW-90, de cobre, reconocido por su confiabilidad y amplio uso en sistemas de energía solar, cumpliendo las especificaciones del Código Nacional de Electricidad – Suministro (Perú, 2011).

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del conductor seleccionado, obtenido de su respectiva ficha técnica (datasheet), lo cual se sustenta su elección y compatibilidad con las condiciones de operación del sistema. (Ver figura 9)

Figura 9: Conductores eléctricos THW-90

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm²)								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

Fuente: *https://tienda.sonepar.pe/recursos/fichas/12123WP0051.pdf*

a) Tramo 1: Módulos fotovoltaicos → Rectificador

- **Cálculo por capacidad de corriente**

Se realizó el calculo para un string correspondiente a 5 modulos en serie.

$$I_{nominal} = \frac{1.25 * 3100\ W}{224\ V * 0.97}$$

$$I_{nominal} = 17.83\ A$$

Al realizar el cálculo se determinó que, cada conductor debe ser capaz de soportar 17.83 A de corriente de forma continua sin sobrecalentamiento.

- **Cálculo por caida de tensión ≤ 2%**

$$S = \frac{2 * L * I}{\sigma * \Delta V_{adm}}$$

Consideración:

L = 15 m

$$S = \frac{2 * 15\ m * (17.83\ A)}{56\ m/\Omega * mm^2 * 4.48\ V}$$

$$S = 2.13\ mm^2$$

Al reemplazar los datos en la ecuación (21) se obtiene una sección de 2.13 mm^2, sin embargo; por capacidad de corriente se requiere el calibre mínimo es 2 x 2.5 mm^2 para cada string.

b) Tramo 2: Rectificador → Banco de baterías (DC interior).

- **Cálculo por capacidad de corriente**

$$I_{nominal} = \frac{1.25 * 12300\ W}{48\ V * 0.95}$$

$$I_{nominal} = 337.17\ A$$

En este segundo tramo se realizó el cálculo con 48 VDC, correspondiente a ese tramo, cada conductor será capaz de soportar 337.17 A de corriente de forma continua.

- **Cálculo por caida de tensión ≤ 2%**

$$S = \frac{2 * L * I}{\sigma * \Delta V_{adm}}$$

Consideración:

L = 2 m

$$S = \frac{2 * 2\ m * 337.17\ A}{56\ m/\Omega * mm^2 * 0.96\ V}$$

$$S = 25.09\ mm^2$$

En este tramo, de longitud 2 m aproximadamente; pero con corriente elevada 337.17 A, el criterio de selección se basó principalmente en la capacidad de conducción de corriente. De acuerdo con las tablas de ampacidad del cable THW-90, se adoptó una sección de 95 mm² de cobre, asegurando una operación segura y estable sin sobrecalentamiento, incluso bajo condiciones de carga máxima del sistema. La selección se encuentra dentro de los límites normativos del CNE Perú, Art. 7.13.2, y mantiene una caída de tensión inferior al 2 %.

c) Tramo 3: Rectificador → Inversor (DC).

- **Cálculo por capacidad de corriente**

$$I_{nominal} = \frac{1.25 * 600\ W}{48\ V * 0.92}$$

$$I_{nominal} = 16.98\ A$$

En este segundo tramo se realizó el cálculo con 48 VDC, correspondiente a ese tramo, cada conductor será capaz de soportar 16.98 A de corriente de forma continua.

- **Cálculo por caida de tensión ≤ 2%**

$$S = \frac{2 * L * I}{\sigma * \Delta V_{adm}}$$

Consideración:

L = 1 m

$$S = \frac{2 * 1\ m * 16.98\ A}{56\ m/\Omega * mm^2 * 0.96\ V}$$

$$S = 0.63\ mm^2$$

Con una corriente estimada de 16.98 A, longitud de 1 metro y caída máxima del 2 %, la sección calculada fue mínima (0.63 mm²). No obstante, por razones de seguridad mecánica, facilidad de instalación y futuras expansiones, se seleccionó un conductor de 2.5 mm² THW-90. Esta elección asegura un margen adecuado frente a la corriente nominal del inversor y cumple con la normativa vigente del CNE para circuitos interiores de corriente continua.

d) Tramo 4: Inversor → Cargas (AC: tomacorrientes y alumbrado).

- **Cálculo por capacidad de corriente**

$$I_{nominal} = \frac{1.25 * 233\ W}{220\ V * 0.98}$$

$$I_{nominal} = 1.34\ A$$

- **Cálculo por caida de tensión ≤ 2%**

$$S = \frac{2 * L * I}{\sigma * \Delta V_{adm}}$$

Consideración:

L = 20 m

$$S = \frac{2 * 20\ m * 1.34\ A}{56\ m/\Omega * mm^2 * 6.6\ V}$$

$$S = 0.145\ mm^2$$

Para este circuito de corriente alterna, con una potencia total de 231 W y una corriente de 1.34 A, se estimó una longitud de 20 metros y una caída de tensión máxima del 3 %. La sección calculada fue de 0.145 mm²; sin embargo, considerando la ampacidad mínima establecida por el CNE Perú, se seleccionó un conductor THW-90 de 2.5 mm², adecuado para circuitos de alumbrado y

tomacorrientes. Este calibre asegura un funcionamiento seguro, minimiza pérdidas eléctricas y garantiza una vida útil prolongada del sistema.

3.3.6. Sistema de puesta a tierra

El Sistema de Puesta a Tierra (SPT) tiene la finalidad de garantizar la seguridad del personal y la protección de los equipos electrónicos del sistema fotovoltaico y de telecomunicaciones, asegurando que las corrientes de falla y descargas atmosféricas se disipen adecuadamente hacia el terreno, manteniendo niveles adecuados de tensión de paso y de contacto.

En la actualidad se establece como requisito en el CNE obtener una resistencia de puesta a tierra menor o igual a 5 Ω, criterio adoptado para instalaciones críticas de telecomunicaciones debido a la sensibilidad de los equipos, la presencia de baterías, inversores y una torre metálica expuesta a descargas atmosféricas. (Ver anexo 12)

3.4. Analisis de rendimiento del sistema fotovoltaico

3.4.1. Análisis de autoconsumo

El análisis de autoconsumo permite determinar la eficiencia del aprovechamiento de la energía solar generada por el sistema fotovoltaico. En un sistema aislado de la red eléctrica, como el presente proyecto, todo el consumo debe ser abastecido por la energía producida por los paneles solares y almacenada en las baterías.

Este análisis resulta fundamental para comprobar que la energía generada cubre la demanda diaria real y que el sistema opera de manera sostenible durante su vida útil, sin necesidad de fuentes externas de respaldo.

De acuerdo con la norma IEC 62548:2016 y las recomendaciones del Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE Perú), se considera que un sistema fotovoltaico aislado debe garantizar un nivel de autoconsumo cercano al 100 %, ya que no existe inyección de energía a la red eléctrica.

El autoconsumo se define como la relación entre la energía efectivamente utilizada por la carga y la energía total generada por el sistema fotovoltaico, expresada en porcentaje (ver ecuación 23):

$$A_c = \frac{E_{utilizada}}{E_{generada}} * 100 \qquad (23)$$

Donde:

A_c: Autoconsumo del sistema (%)

$E_{utilizada}$: Energía utilizada o demandada por la estación (kWh/día)

$E_{generada}$: Energía total generada por el arreglo fotovoltaico (kWh/día)

$$A_c = \frac{12.3}{12.4} * 100$$

$$A_c = 99.19\ \%$$

Al reemplazar los datos en la ecuación (23) El valor obtenido de 99.19 % de autoconsumo indica que la energía generada por el sistema fotovoltaico cubre toda la demanda diaria de la estación de telecomunicaciones.

Solo un 0.81 % de la energía no es aprovechada directamente, lo cual se puede atribuir a pérdidas en el sistema (inversor, controladores, cables) o a excedentes que permanecen almacenados parcialmente en las baterías.

Este nivel de aprovechamiento demuestra que el sistema está correctamente dimensionado, evitando tanto el sobredimensionamiento como el déficit energético. Además, asegura una autonomía total, garantizando el suministro continuo incluso durante días nublados o con menor radiación solar, gracias a la capacidad del banco de baterías.

3.4.2. Análisis de autonomía

El análisis de autonomía tiene como objetivo determinar el número de días que el sistema fotovoltaico puede mantener el suministro eléctrico sin recibir radiación solar, utilizando únicamente la energía almacenada en el banco de baterías.

Este parámetro es fundamental para garantizar la confiabilidad operativa de la estación de telecomunicaciones, especialmente durante periodos prolongados de nubosidad o condiciones climáticas adversas.

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE, 2011) y la norma IEC 62548:2016, para sistemas fotovoltaicos aislados de telecomunicaciones se utilizó una autonomía de 2 días, para garantizar el suministro ininterrumpido.

La autonomía se determina mediante la siguiente relación:

$$N_a = \frac{C_b * V_b * \eta_b}{E_d} \qquad (24)$$

Donde:

N_a: Autonomía (días)

C_b: Capacidad total del banco de baterías (Ah)

V_b: Tensión nominal del banco de baterias (V)

η_b: Eficiencia del sistema de almacenamiento

E_d: Energía demandada diaria por la estación (kWh/día)

Primero se convierte la capacidad total del banco a kWh:

$$E_b = \frac{C_b * V_b}{1000} \qquad (25)$$

Reemplazando valores en la ecuación (25):

$$E_b = \frac{3207.60\ Ah * 48\ V}{1000}$$

$$E_b = 153.96\ kWh$$

Se obtuvo como resultado 153.96 kWh; luego, se aplicó la eficiencia del sistema de baterías:

$$E_{utilizable} = E_b * \eta_b \qquad (26)$$

Reemplazando:

$$E_{utilizable} = 153.96\ kWh * 0.95$$

$$E_{utilizable} = 146.26\ kWh$$

Al reemplazar los datos correspondientes se obtiene un valor de 146.26 kWh.

$$N_a = \frac{146.26\ kWh}{65.82\ kWh}$$

$$N_a = 2.22\ días$$

Finalmente, El resultado obtenido de 2.22 días de autonomía demuestra que el sistema fotovoltaico diseñado ofrece una reserva energética superior al valor mínimo recomendado por la normativa (2 días según el Código Nacional de Electricidad – Suministro, Perú, 2011 y la IEC 62548:2016).

Este nivel de respaldo garantiza el funcionamiento continuo de la estación de telecomunicaciones aun durante períodos prolongados de baja radiación solar o condiciones climáticas adversas, incrementando la confiabilidad operativa y la seguridad del suministro eléctrico.

Asimismo, evidencia un dimensionamiento adecuado del banco de baterías, que equilibra la capacidad de almacenamiento y la demanda diaria, asegurando una autonomía eficiente y sostenible del sistema fotovoltaico.

3.4.3. Analisis economico

En el presente apartado se desarrolla el análisis económico del sistema fotovoltaico propuesto, considerando la estimación detallada de los costos de adquisición de equipos, materiales complementarios, mano de obra especializada, instalación, transporte y mantenimiento programado. Estos elementos permiten determinar el costo total de implementación del sistema y constituyen los indicadores económicos fundamentales para evaluar la magnitud presupuestal del proyecto.

3.4.3.1. Costo de materiales

Tabla 9: Costo de materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Paneles solares CS6.1-72TD - 620 W	Und	20	450.00	9000.00
Baterias SCIFP48200	Und	16	6800.00	108800.00
Modulos rectificadores Eltek Flatpack2 48V/2000W	Und	7	941.00	6587.00
Rack de energía Eltek	Und	1	11500.00	11500.00
Inversor	Und	1	245.00	245.00
Estructura metalica para los paneles	Und	1	3500.00	3500.00
Cemento	Und	15	40.00	600.00
Fierro	Und	10	36.80	368.00
Arena y piedra	m^3	5	60.00	300.00
Cables THW-90 95 mm^2	m	4	82.90	331.60
Cables THW-90 2.5mm^2	m	162	2.00	324.00
Accesorios	lote	1	500.00	500.00
Costo Total de materiales				142055.60

3.4.3.2. Transporte de materiales

Tabla 10: Costo de traslado

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa unitaria (s/.)	Costo (s/.)
Transporte de paneles	und	20	107.28	2145.60
Transporte de baterias	und	16	247.45	3959.20
Transporte rack y rectificadores	und	2	355.00	710.00
Total				6814.80

3.4.3.3. Costo de mano de obra

Tabla 11: Costo de mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa unitaria (s/.)	Costo (s/.)
Montaje de estructura metalica	Horas	96	10.85	1041.60
Montaje de paneles fotovoltaicos	Horas	48	10.85	520.80
Cableado y conexiones	Horas	48	10.85	520.80
Instalación banco de baterias	Horas	24	10.85	260.40
Instalacion de rack y rectificadores	Horas	16	10.85	173.60
Puesta en marcha y pruebas eléctricas	Horas	16	10.85	173.60
Total				2690.80

3.4.3.4. Costo de mantenimiento anual del sistema

Tabla 12: Costo de mantenimiento

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa unitaria (S/.)	Costo (S/.)
Limpieza y mantenimiento preventivo de los paneles	año	2	260.40	520.80
Mantenimiento electrónico y control	año	2	500.00	1000.00
Total O&M anual estimado				1520.80

3.4.3.5. Analisis de producción de 65.82 kW energía con diesel

Tabla 13: Producción de 65.82 kwh/dia con motor diesel

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa unitaria (s/.)	Costo (s/.)
Precio combustible en el mercado local	Galón	1	13.90	13.90
Consumo de combustible	Galón/hora	0.83	13.90	11.54
Costo de combustible por dia de trabajo	Horas/día	9	11.54	103.83
Costo de combustible mes	dias/mes	30	103.83	3114.99
Total de costo de combustible anual	año	12	3114.99	37379.88

3.4.3.6. Precio de Transporte, operación y Mantenimiento

Tabla 14: Precio de Transporte, operación y Mantenimiento

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa unitaria (s/.)	Costo (s/.)
Traslado de combustible desde grifo repsol hasta la estacion de telecomunicaciones	Galón	224.1	2.00	448.20
Costo de operación mensual	Mes	1	500.00	500.00
Costo de mantenimiento del grupo	Mes	1	350.00	350.00
Costo anual de operación y mantenimiento	Año	12	1298.20	15578.40

IV. DISCUSIÓN

Al comparar nuestros resultados con investigaciones previas, observamos coincidencias importantes y diferencias cuantificables que permiten contextualizar la pertinencia del sistema fotovoltaico diseñado para la estación de telecomunicaciones de Kigkis. En el estudio de Rosas y Ortiz (2021), desarrollado para un sistema fotovoltaico domiciliario, la demanda energética fue de aproximadamente 10 kWh/día, mientras que en nuestra investigación la demanda asciende a 54.63 kWh/día, es decir, cerca de 5.4 veces mayor, debido a la presencia de cargas críticas de telecomunicaciones que requieren operación continua. Esta diferencia explica la mayor potencia instalada en nuestro caso 12.3 kWp frente al sistema de 3 kWp, así como la necesidad de incorporar 48 horas de autonomía, superior a las 24 – 36 horas reportadas por Rosas y Ortiz.

Por otro lado, en el antecedente de Vásquez (2018), donde se evaluó un sistema fotovoltaico aislado en una comunidad rural, se registró una irradiancia promedio anual de 5.0 kWh/m²/día, valor cercano al nuestro (5.35 kWh/m²/día). Esta similitud confirma adecuadamente que la Amazonía peruana posee un potencial solar estable para sistemas autónomos; sin embargo, el diseño propuesto por Vásquez generaba alrededor de 30 kWh/día, mientras que nuestro sistema alcanza 65.82 kWh/día, más del doble, debido a un perfil de carga mayor y a un margen de sobredimensionamiento necesario para garantizar continuidad en servicios de telecomunicaciones.

En cuanto al proyecto de Ventura y Delgado (2020), la investigación se realizó en instalaciones de una posta médica con demandas aproximadas de 18.72 kWh/día. Aunque compartimos el contexto amazónico, nuestro consumo es entre 2.92 veces superior, lo cual genera diferencias notorias en la selección del banco de baterías, la configuración de arreglos y la potencia del sistema. Aun así, coinciden ambos estudios en la necesidad de considerar variaciones climáticas propias de la Amazonía y la importancia de asegurar autonomía elevada. Nuestro diseño incorpora 16 baterías de 200 Ah y 48 V para 48 horas de respaldo, mientras que en Urakusa se emplearon configuraciones de 24 baterias de 250 Ah y 12 V, suficientes para cargas no críticas.

Finalmente, al contrastar nuestra investigación con Quispe (2021), quien desarrolló un sistema fotovoltaico para un salón educativo en un entorno urbano con conexión a la red (sistema on-grid), se evidencia una diferencia fundamental de enfoque. Mientras Quispe no requería garantizar autonomía prolongada por contar con respaldo de red, nuestro sistema es completamente aislado, lo que justifica una potencia instalada significativamente mayor (12.3 kWp frente a instalaciones urbanas inferiores a 3 kWp) y un banco de baterías robusto. A pesar de estas diferencias, ambas investigaciones coinciden en que la energía fotovoltaica constituye una opción técnicamente viable y sostenible en el Perú; sin embargo, nuestro estudio demuestra que, para cargas críticas y zonas remotas, el diseño debe priorizar confiabilidad, redundancia y autonomía, elementos menos relevantes en sistemas urbanos.

Los resultados obtenidos fortalecen la hipótesis de que los sistemas fotovoltaicos aislados son una alternativa técnica viable y económicamente rentable para garantizar el suministro energético en infraestructuras esenciales ubicadas en zonas rurales del Perú. Desde una perspectiva teórica, se valida el principio de proporcionalidad entre irradiancia disponible y capacidad de generación, y se demuestra que los factores de corrección aplicados (rendimiento de inversor, baterías y cableado) permiten ajustar con precisión la energía de diseño a las condiciones reales del entorno.

Durante la ejecución del proyecto se identificaron ciertas limitaciones que pudieron influir en los resultados finales: La disponibilidad de datos meteorológicos locales fue limitada, por lo que se recurrió a fuentes satelitales como el software PVsyst. Esto podría introducir desviaciones en la estimación de irradiancia, aunque la comparación con promedios regionales sugiere una diferencia menor al 5%. La evaluación económica se realizó bajo supuestos de estabilidad en los costos de importación de equipos y materiales; variaciones en el mercado podrían afectar los indicadores financieros.

A pesar de estas limitaciones, las metodologías empleadas garantizan un nivel de confiabilidad adecuado, y los resultados pueden ser extrapolados a otras localidades amazónicas con características geográficas y climáticas similares.

En síntesis, el sistema fotovoltaico diseñado para Kigkis constituye una solución sostenible, técnicamente viable, que se apoya en fundamentos teóricos sólidos y se alinea con las tendencias internacionales de transición energética. Las coincidencias con investigaciones previas confirman la validez de los resultados, mientras que las diferencias observadas aportan un marco de referencia para el diseño de sistemas aislados en contextos amazónicos, donde la energía solar representa una oportunidad concreta para el desarrollo tecnológico y social.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Comprobamos que la irradiancia solar promedio en Kigkis es de 5.35 kWh/m²/día, lo cual confirma la factibilidad del uso de energía fotovoltaica en esta zona de la Amazonía. Este nivel de recurso solar, superior al reportado en varios estudios comparativos, permite asegurar la generación suficiente para cubrir la demanda crítica de la estación y respalda la confiabilidad del sistema diseñado.

Determinamos que la estación de telecomunicaciones en la localidad de Kigkis presenta una demanda eléctrica de 54.63 kWh/día y una potencia máxima de 2.46 kW, valores que permitieron caracterizar adecuadamente el comportamiento de la carga y establecer los requerimientos mínimos para garantizar la continuidad operativa del sistema. Esta estimación constituye la base fundamental para el dimensionamiento posterior del sistema fotovoltaico aislado.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico propuesto, con una potencia de diseño de 12.3 kW, conformado por 20 módulos solares de 620 W y un banco de baterías de litio de alta eficiencia, garantiza una autonomía de hasta 48 horas en ausencia de radiación solar. Este diseño cumple con las normas técnicas internacionales (IEC 61215, IEC 61730 y CNE utilización 2011), asegurando fiabilidad, eficiencia y seguridad en la operación.

La verificación del desempeño del sistema mostró que la potencia instalada y la capacidad de almacenamiento seleccionada aseguran la continuidad del servicio incluso bajo condiciones de baja irradiancia. El sistema propuesto elimina la dependencia de grupos electrógenos y reduce las interrupciones operativas, representando una alternativa técnica confiable y ambientalmente favorable para zonas sin acceso a redes convencionales.

5.2. Recomendaciones

Implementar el sistema fotovoltaico propuesto y realizar un monitoreo en tiempo real del rendimiento de los componentes, con el fin de validar experimentalmente las simulaciones realizadas, detectar posibles pérdidas por temperatura o sombreamiento, y optimizar el mantenimiento preventivo.

Incorporar un sistema híbrido de respaldo (fotovoltaico-diésel o fotovoltaico-eólico) para garantizar la continuidad del servicio en condiciones climáticas extremas o ante fallas imprevistas, especialmente considerando la criticidad de la estación de telecomunicaciones para la comunidad.

Capacitar al personal técnico local en operación, mantenimiento y monitoreo de sistemas solares aislados, promoviendo la autonomía energética y reduciendo la dependencia de soporte externo, lo cual mejorará la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Promover la replicación del modelo de diseño en otras zonas no interconectadas del departamento de Amazonas, priorizando establecimientos estratégicos como centros de salud, escuelas y estaciones de telecomunicaciones, contribuyendo así al cierre de la brecha energética rural.

Fomentar investigaciones complementarias orientadas a: Evaluar el comportamiento de las baterías de litio en ambientes de alta humedad y temperatura, típicos de la Amazonía. Analizar la eficiencia del sistema a lo largo del tiempo mediante indicadores de degradación de paneles. Estudiar la viabilidad de integrar tecnologías de gestión inteligente de energía (controladores remotos y almacenamiento de datos).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abubakar, A. (2021). *Sizing of battery energy storage systems in isolated photovoltaic plants using predicted solar radiation data* [Tesis de maestría, Universidad de São Paulo]. Repositorio Institucional USP. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-19012021-100846/publico/AhmadAbubakarCorr20

Alonso, M.A.; Sanchez, D.; Murillo, L.B. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la antena remota de banda ancha inalambrica punto a punto ubicada en el estado de Tabasco.* [tesis de pregrado, Instituto Politecnico Nacional]. Repositorio Institucional IPN. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/28175/Tesis%20Dise%C3%B1o%20Fotovoltaico%20Junio%2021%20CD.pdf

Alvarado, J. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf

Angulo, J., y Naquiche, K. (2023). *Implementación de la energía fotovoltaica para optimizar el diseño de una vivienda autosustentable en el Asentamiento Humano Ruta del Sol, Marcona, Ica 2023.* [tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8283

Arias, J. (2020). *Proyecto de Tesis,Guìa para la elaboración.* Jose Luis Arias Gonzales. https://doi.org/https://www.academia.edu/69034600/Proyecto_de_Tesis_Gu%C3%ADa_para_la_Elaboraci%C3%B3n_compressed

Autosolar. (s.f.). *Orientación de los paneles solares en Perú*. Obtenido de https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-orientacion-e-inclinacion-han-de-tener-los-paneles-solares-en-el-peru

Bel Fuse, Inc. (2020, 18 de julio). *Power factor and power factor correction*. Obtenido de https://www.belfuse.com/resource-library/tech-paper/power-factor-and-power-factor-correction

Canadian Solar Inc. (2024, julio). *CS-Datasheet TOPHiKu6 CS6.1-72TD v1.6 EN 595-625 W* [Hoja de datos]. Obtenido de https://natec.com/wp-content/uploads/2024/07/CS-Datasheet-TOPHiKu6_CS6.1-72TD_v1.6_F67_EN_595-625W.pdf

Castañeda, J., & Torres, J. (2017). *Evaluación de la radiación solar en Perú*. Revista Peruana de Física, 19(1). Obtenido de https://doi.org/10.18831/rpf.v19i1.9

Eaton Corporation. (2018). *Basics of power system design* (DG081001EN). https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/design-guides---consultant-audience/eaton-basics-of-power-system-design-dg081001en.pdf

Eltek. (2015). *High efficiency industrial rectifiers*. Obtenido de https://www.eltek.com/globalassets/imported-documents/open/ds-2104924.ds3-1-2-1.pdf

Eltek. (2019). *The original HE rectifier*. Obtenido de https://www.eltek.com/globalassets/imported-documents/open/datasheet-flatpack2-48v-he-rectifiers-ds-24111x.105.ds3-1-7-1.pdf

Hernández, R., Fernández, H., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación científica* (6.ª ed.). McGraw Hill. https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

IEEE Standards Association. (2021). *IEEE Recommended Practice for Sizing Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems (IEEE 1562-2021)*. IEEE. Obtenido de https://standards.ieee.org/ieee/1562/2300/

INTE PUCP. (2023, 31 de octubre). *Olas de calor en la Amazonía: ¿cómo y por qué repercuten en la salud pública?* Obtenido de https://inte.pucp.edu.pe/noticias-y-eventos/noticias/olas-de-calor-en-la-amazonia-como-y-por-que-repercuten-en-la-salud-publica

International Electrotechnical Commission. (2016). *Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements* (IEC 62548:2016). Obtenido de https://cdn.standards.iteh.ai/samples/22202/f8767a8d9ee94f3c8452018aaa563dc7/IEC-62548-2016.pdf

International Electrotechnical Commission. (2017, 6 de abril). *Electroacoustics: Specifications for personal sound exposure meters* (IEC 61252:1993/AMD2:2017). Obtenido de https://webstore.iec.ch/en/publication/34279

International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. Obtenido de https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023

International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC). (2019). *Building energy performance gap issues: An international review (BEET 9 Report)*. Australian Department of the Environment and Energy. https://www.energy.gov.au/sites/default/files/the_building_energy_performance_gap-an_international_review-december_2019.pdf

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016, septiembre). *Solar PV in Africa: Costs and Markets*. Onbtenido de https://www.irena.org/publications/2016/Sep/Solar-PV-in-Africa-Costs-and-Markets

López, C. (2025). *Evaluación de la demanda eléctrica*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/427905985/Sesion-9-1-Evaluacion-de-La-Demanda

Messenger, R., & Abtahi, A. (2017). *Photovoltaic Systems Engineering*. Taylor & Francis Group. Obtenido de

https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781498772785_A29597556/preview-9781498772785_A29597556.pdf

Ministerio de Energía y Minas. (2011, 5 de mayo). *Resolución Ministerial N.º 214-2011-MEM/DM: Aprueban el Código Nacional de Electricidad (utilización 2011)*. Obtenido de https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Mayo/05/RM-214-2011-MEM-DM.pdf

Nandi, S., Ghatak, S. R., Acharjee, P., & Lopes, F. (2023). *Non-iterative, unique, and logical formula-based technique to determine maximum load multiplier and practical load multiplier for both transmission and distribution systems*. *Energies, 16*(12), 4724. Obtenido de https://doi.org/10.3390/en16124724

Quispe, J. (2021). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico de 8kwp para el suministro de energía eléctrica del nodo de distribución cabanaconde-arequipa 2021.* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio Institucional UNTELS. http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/763/1/T088A_43081462_T.pdf

Razmjoo, A., Ghazanfari, A., & Østergaard, P. (2023). *Diseño y análisis de sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red para el desarrollo sostenible de zonas remotas. Energies, 16*(7), 3181. Obtenido de https://doi.org/10.3390/en16073181

Rosas, D. ; Ortiz, D.A. (2021, 12 de setiembre). *Energía fotovoltaica para los equipos de telecomunicaciones móviles (antenas) en ZNI (Zonas no Interconectadas), como alternativa a energías no renovables.* [tesis de especialización, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio Institucional udistrital. Obtenido de https://repository.udistrital.edu.co/items/14bde7e8-d391-4c99-8185-0d172515fe50

Sacred Sun Green Energy Solution Provider. (2020, 17 de noviembre). *Energy Storage Lithium, High Voltage Battery*. Obtenido de https://www.sacredsun.com/Product/Battery/2020/1117/Energy-Storage-Lithium.html

Sebastián, E. (2022, 9 de mayo). *Ángulo de inclinación de paneles solares*. Obtenido de https://eliseosebastian.com/angulo-de-inclinacion-de-paneles-solares/

U.S. Department of Energy. (s.f.). *Estimating appliance and home electronic energy use*. Obtenido de https://www.energy.gov/energysaver/estimating-appliance-and-home-electronic-energy-use

Ventura, E. A.; Delgado, L. B. (2020). *Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda Eléctrica de la Posta Medica, Centro Poblado Urakusa Provincia Condorcanqui, Amazonas-Perú.* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. Obtenido de http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/215

Villarear, J., y Cuji, C. (2024). *Diseño y Evaluación de un Sistema Fotovoltaico Aislado para Iluminación en Vías Rurales y Carga de Vehículos Eléctricos Basado En Un Enfoque*

Multipropósito. Revista Técnica energía(20), 47-57. https://doi.org/https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.614

Xiao, W. (2017). *Photovoltaic Power System: Modeling, Design, and Control*. John Wiley & Sons. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=DEHCDgAAQBAJ

Zamora, D., & Bolaños, A. M. (2023, 24 de diciembre). *Trabajo de investigación*. Obtenido de https://www.coursehero.com/file/221929216/Trabajo-de-Investigacion-Daniel-Zamora-y-Ana-Mar%C3%ADa-Bola%C3%B1ospdf/

Zhou, Q., & Mukhopadhyaya, P. (2020). *Design versus actual energy performance in social housing buildings*. BC Housing, University of Victoria. Obtenido de https://www.bchousing.org/publications/Design-vs-Actual-Energy-Performance-in-Social-Housing-Buildings-Report.pdf

DEDICATORIA

A mi madre, María Luzvina Zamora Gavidia, y a mi padre, Luciano Alvarado Coronel, por su ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia. Su apoyo incondicional, sus enseñanzas y su confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro académico.

Euler Alvarado Zamora

AGRADECIMIENTO

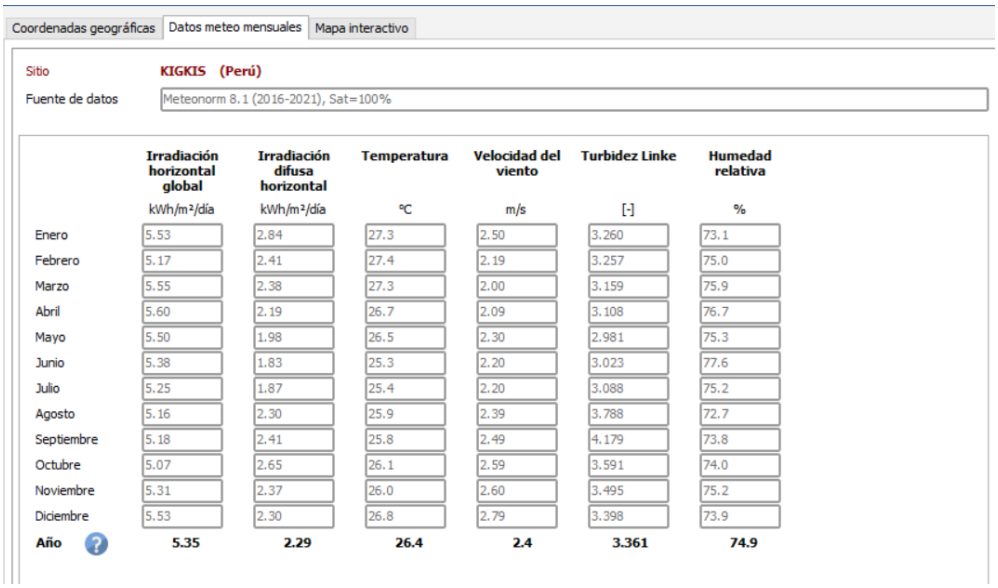
Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar este trabajo de investigación.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi familia, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y su constante motivación, que han sido fundamentales en mi formación personal y profesional.

Extiendo también mi sincera gratitud a mi asesor y a la Universidad por las orientaciones, conocimientos y facilidades brindadas durante el desarrollo de esta tesis.

ANEXOS

Anexo 1: Datos de irradiación solar Kigkis, Condorcanqui, Amazonas.



Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Sitio: KIGKIS (Perú)

Fuente de datos: Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100%

	Irradiación horizontal global kWh/m²/día	Irradiación difusa horizontal kWh/m²/día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	5.53	2.84	27.3	2.50	3.260	73.1
Febrero	5.17	2.41	27.4	2.19	3.257	75.0
Marzo	5.55	2.38	27.3	2.00	3.159	75.9
Abril	5.60	2.19	26.7	2.09	3.108	76.7
Mayo	5.50	1.98	26.5	2.30	2.981	75.3
Junio	5.38	1.83	25.3	2.20	3.023	77.6
Julio	5.25	1.87	25.4	2.20	3.088	75.2
Agosto	5.16	2.30	25.9	2.39	3.788	72.7
Septiembre	5.18	2.41	25.8	2.49	4.179	73.8
Octubre	5.07	2.65	26.1	2.59	3.591	74.0
Noviembre	5.31	2.37	26.0	2.60	3.495	75.2
Diciembre	5.53	2.30	26.8	2.79	3.398	73.9
Año	**5.35**	**2.29**	**26.4**	**2.4**	**3.361**	**74.9**

Fuente: Software PVsyst

Anexo 2: Datasheet del módulo Canadian Solar HiKu6 CS6.1-72TD-620W

ELECTRICAL DATA | STC*

CS6.1-72TD	595	600	605	610	615	620	625
Nominal Max. Power (Pmax)	595 W	600 W	605 W	610 W	615 W	620 W	625 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	43.8 V	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V	45.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.59 A	13.64 A	13.69 A	13.74 A	13.79 A	13.84 A	13.89 A
Open Circuit Voltage (Voc)	51.6 V	51.8 V	52.0 V	52.2 V	52.4 V	52.6 V	52.8 V
Short Circuit Current (Isc)	14.48 A	14.54 A	14.60 A	14.66 A	14.72 A	14.78 A	14.84 A
Module Efficiency	22.0%	22.2%	22.4%	22.6%	22.8%	23.0%	23.1%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 29 (UL 61730) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	25 A						
Protection Class	Class II						
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.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6.1-72TD	595	600	605	610	615	620	625
Nominal Max. Power (Pmax)	450 W	454 W	458 W	461 W	465 W	469 W	473 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	41.4 V	41.6 V	41.8 V	42.0 V	42.2 V	42.4 V	42.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.87 A	10.91 A	10.95 A	10.99 A	11.03 A	11.07 A	11.11 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.9 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V	50.0 V
Short Circuit Current (Isc)	11.68 A	11.73 A	11.77 A	11.82 A	11.87 A	11.92 A	11.97 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.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	TOPCon cells
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2382 × 1134 × 30 mm (93.8 × 44.6 × 1.18 in)
Weight	33.6 kg (74.1 lbs)
Front Glass	2.0 mm heat strengthened glass with anti-reflective coating
Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	300 mm (11.8 in) (+) / 200 mm (7.9 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	36 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.25 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

Fuente: https://natec.com/wp-content/uploads/2024/07/CS-Datasheet-TOPHiKu6_CS6.1-72TD_v1.6_F67_EN_595-625W.pdf

Anexo 3: Datasheet módulo rectificador Eltek Flatpack2 HE de 48 V y 2000 W

Rectificadores Flatpack2 48V HE

ELTEK
A Delta Group Company

Modelos	48V / 2000W HE	48V / 3000W HE
Número de Parte	241115.105	241119.105
ENTRADA		
Voltaje (nominal)	185 - 275 V_{AC} / 185 - 275 V_{DC}	176 - 277 V_{AC}
Voltaje (rango)	85 - 300 V_{AC} / 85 - 275 V_{DC}	85 - 305 V_{AC}
Frecuencia	45 - 66 Hz, 15-18.5 Hz[1] / 0 Hz	45 - 66 Hz
Corriente (máxima) @ entrada nominal, carga completa	11.6 A_{RMS}	19.2 A_{RMS}
Protección	Fusible en ambas líneas y desconexión para protección de transientes arriba de 300 $V_{AC/DC}$	Fusible en ambas líneas y desconexión para protección de transientes arriba de 305 V_{AC}
SALIDA		
Voltaje (default)	53.5 V_{DC}	
Voltaje (rango ajustable)	43.5 - 57.6 V_{DC}	
Potencia (máxima)	2000 W	3000 W
Potencia @ 85 V_{AC}	850 W	1380 W
Corriente (máxima) @ entrada nominal, carga completa	41.7 A	62.5 A
Rizo, Ancho de Banda 30MHz	< 100 mV_{pp}	< 150 mV_{pp}
Ruido Sofométrico	< 2 mV_{RMS}	< 2 mV_{RMS}
Regulación de Voltaje Estático	±0.5% para 10 - 100% de carga	
Regulación de Voltaje Dinámico	±5.0% para 10-90% o 90-10% variación de carga, tiempo de respuesta < 50ms	
Protección	Fusible contra corto circuito, protección de alta temperatura	

Fuente: https://www.eltek.com/globalassets/imported-documents/open/datasheet-flatpack2-48v-he-rectifiers_24111x.105.ds6.pdf

Anexo 4: Especificaciones técnicas rack de energía Eltek

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Model	IBF-DC/DC-1PR-Stand alone	IBF-DC/DC-2PR-Stand alone	IBF-DC/DC-1PR-Integrated	IBF-DC/DC-2PR-Integrated
Part number	CIE20405.xxx	CIE20806.xxx	CIE20405.xxx	CIE20806.xxx
INPUT DATA				
Voltage (range)	85 - 300 $_{DC}$			
4* Indivuduell DC feed	•	-	•	-
8* Individuell DC feed	-	•	-	•
Recommended input breaker	16 A for each individual input 1)			
Protection	Individual fuse in rectifier modules			
Connection	Individual screw terminal 6 mm^2 PE screw terminal, max 6 mm^2 and M5 cable lug directly to chassis			
OUTPUT DATA				
Voltage (default)	24-220 V_{DC}			
Power (maximum) @ nominal input	8000 W	16000 W	8000 W	16000 W
Current (maximum) @ nominal input	See previous page or applicable Flatpack2 datasheet			
Unprotected bulk output	•	•	•	•
Connection bulk output	M8 bolt			
Optional 2 pole load breaker 6-32 A	*Max 8 pcs 2 pole load breaker 6-32 A, B charateristics*			
Connection optional 2 pole load breaker	*Directly on output MCB up to 25 mm²*			
Output Protection in rectifiers	Blocking OR-ing FET or fuse, Short circuit proof & High temperature protection			
CONTROL AND MONITORING				
Monitoring Unit	Smartpack 2 Control System with Industrial Basic		Industrial Basic	
Local Operation	Display and keys, WEB interface via standard browser		-	
Remote Operation	WebPower (WEB Interface, SNMP protocol and email)			
Alarm Relays (Connection: clamp ≤ 1.5 mm^2)	3 x Potential free contacts (NO, NC, C) [Max 430 VDC/0.1 A]			
Inputs	3x NO/NC/Temperature: NTC Probe			
Current measurements	Load Current			
Alarms	Low & high output voltage alarms (Minor and major levels) Earth fault alarm, Temperature alarm, DC Input outage alarm, load breaker alarm and much more			
OTHER SPECIFICATIONS				
Isolation	3.0 kV_{AC} - input to output 1.5 kV_{AC} - input to earth 0.5 kV_{DC} - output to earth			
Operating temperature	-40 to +45°C (-40 to +113°F), humidity 5 - 95% RH non-condensing Output power de-rates at high temperature, see datasheet for applicable rectifier			
Storage temperature	-40 to +85°C (-40 to +185°F), humidity 0 - 99% RH non-condensing			
Dimensions [WxDxH]	482*432*222mm (5U)	482*432*267mm (6U)	482*432*222mm (5U)	482*432*267mm (6U)
Weight (without DC/DC Converters)	17 kg	16 kg	17 kg	16 kg
DESIGN STANDARDS				
Electrical safety	EN 60950-1			
EMC	ETSI EN 300 386 V.1.6.1 EN 61000-6-1 / -2 / -3 / -4 / -5 (Depending on module)			
Environment	ETSI EN 300 019, ETSI EN 300 132 - 2			

1) For 2kW Flatpack2 rectifiers or DC/DC Converters

Fuente: https://www.eltek.com/products/ibf-dcdc-hv/

Anexo 5: Datasheet bateria Sacredsun SCIFP48200 lithium-ion battery system

Nominal Characteristics		
Battery Model		SCIFP48200
Nominal Voltage		48V
Typical Capacity		200Ah(25℃,0.2C)
Typical Energy		9600 Wh
Volumetric Energy Density		172.4 Wh/dm³
Gravimetric Energy Density		117.8 Wh/kg
Dimensions	Width	440mm
	Height	222mm(5U)
	Depth	570mm
Reference Weight		81.5Kg
Electrical Characteristics		
Voltage Window		40.5~54.0V
Charge Voltage Range		52.5~54.0V
Max. Permanent Discharge Current		100A
Max.Permanent Charge Current		100A
Faradic Charge Efficiency		99% (+20°C)
Energy Charge Efficiency		94% (+20°C)
Communication Interface (optional feature)		Modbus/SNMP/TACP
Additional Features (optional feature)		LCD Display
Operation Environment		
Charge Temperature		0°C to +55°C
Discharge Temperature		-20℃ to +60°C
Storage Temperature		-20°C to +60°C

Fuente: https://www.sacredsun.com/uploads/soft/220826/1-220R6152156.pdf

Anexo 6: Datasheet Inversor RS PRO 48 V / 600 W

Electrical Specifications

Output Specifications	
AC Voltage	230V
Rated Power	600W
Peak Power	650W
Surge Power	1200 W
Current	5.22A
Waveform	Pure Sine Wave
Frequency Range	50Hz
Number of Output Connection	1
Output Electrical Phase	1
Efficiency	>90%

Input Specifications	
DC Voltage	48V
Maximum DC Current	25A

Fuente: https://cl.rsdelivers.com/product/rs-pro/power-inverter-pure-sine-wave-48v-600w/1793329?

Anexo 7: Precio de combustible Grifos Repsol

REPSOL

LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES

Página: 1 de 1
Fecha: 24/10/2025
Hora: 22:21:42

Vigencia: 21/10/2025

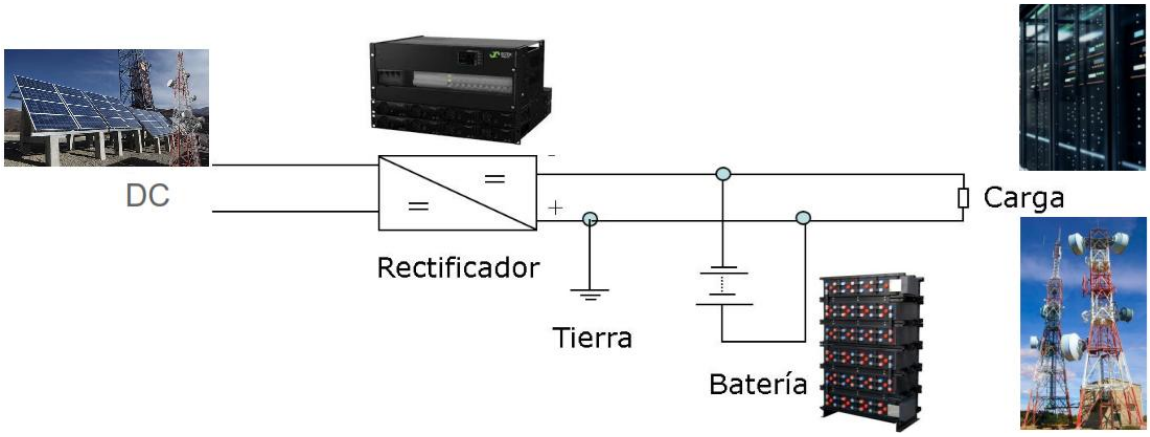
PRODUCTO	NETO	IMPUESTOS		SUB TOTAL	IMPUESTO IGV	UNIDAD MEDIDA	MONEDA	PRECIO DE LISTA
		RODAJE	SELECTIVO					
DIESEL B5 (S-50)	9.69		1.49	11.1800	18%	GAL	PES	13.19240
DIESEL B5-S50 UV	9.69		1.49	11.1800	18%	GAL	PES	13.19240
GASOHOL PREMIUM	8.17	8%	1.13	9.9536	18%	GAL	PES	11.74525
GASOHOL REGULAR	7.88	8%	1.16	9.6704	18%	GAL	PES	11.41107
GASOLINA PREMIUM	9.87	8%	1.17	11.8296	18%	GAL	PES	13.95893
GASOLINA REGULAR	7.56	8%	1.21	9.3748	18%	GAL	PES	11.06226
GLP GRANEL	1.94			1.9400	18%	KG	PES	2.28920
PETROLEO INDUSTRIAL 500	8.50		1.00	9.5000	18%	GAL	PES	11.21000
PETROLEO INDUSTRIAL 6	8.67		0.92	9.5900	18%	GAL	PES	11.31620
TURBO A-1	4.14			4.1400	18%	GAL	USD	4.88520

Comentarios:

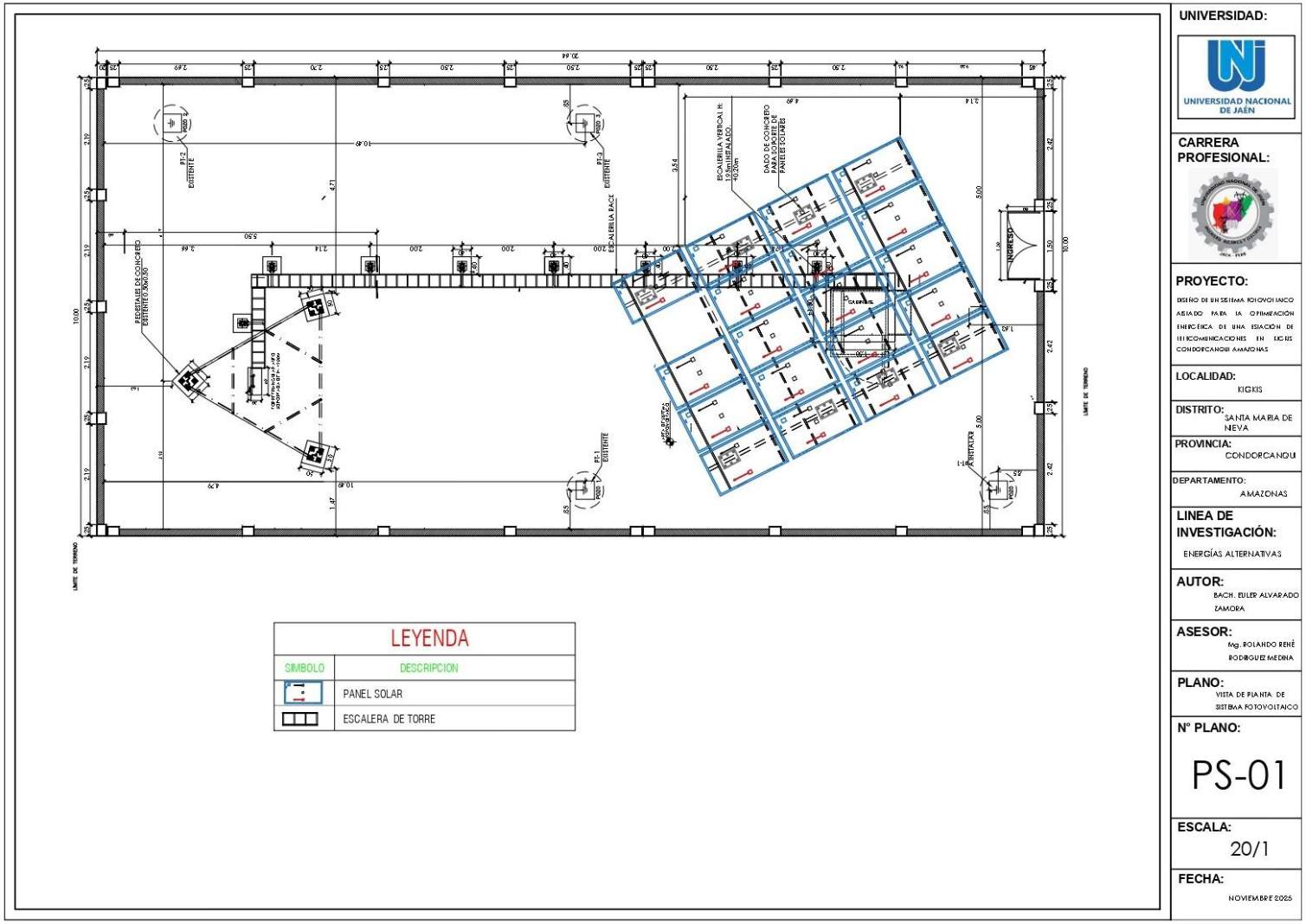
La Lista no incluye el recargo por FISE de 1.00 US$/Bbl (Ley N° 29852 y su reglamento DS N° 021-2012-EM; y Ley de Presupuesto del Sector Público N° 30114), pero será considerado en el momento de la Facturación en una línea aparte y no estará sujeto a I.G.V.

Fuente: https://relapasaa.cloudapp.repsol.com/Reportes/PrecioLima

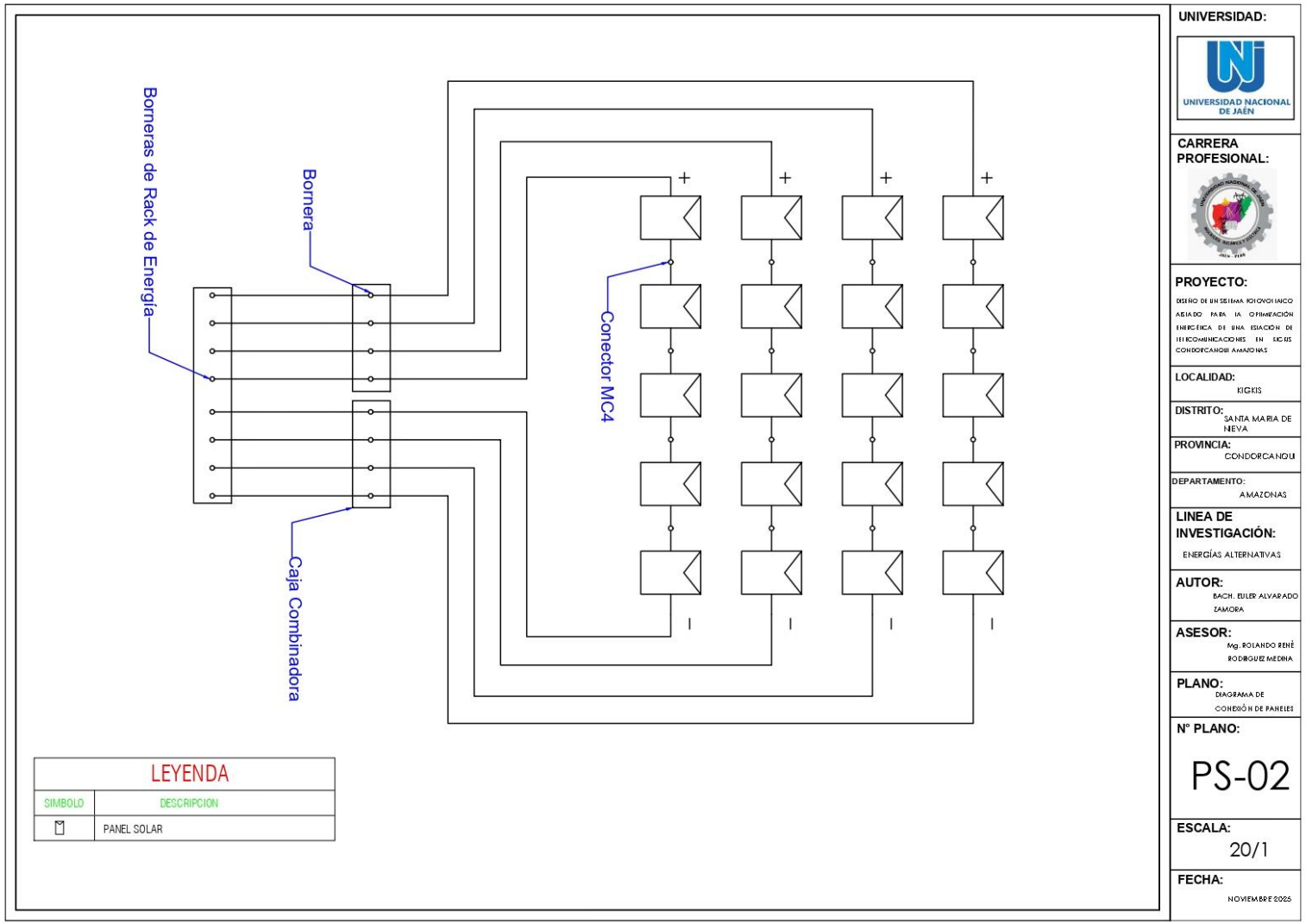
Anexo 8: Diagrama del sistema solar fotovoltaico



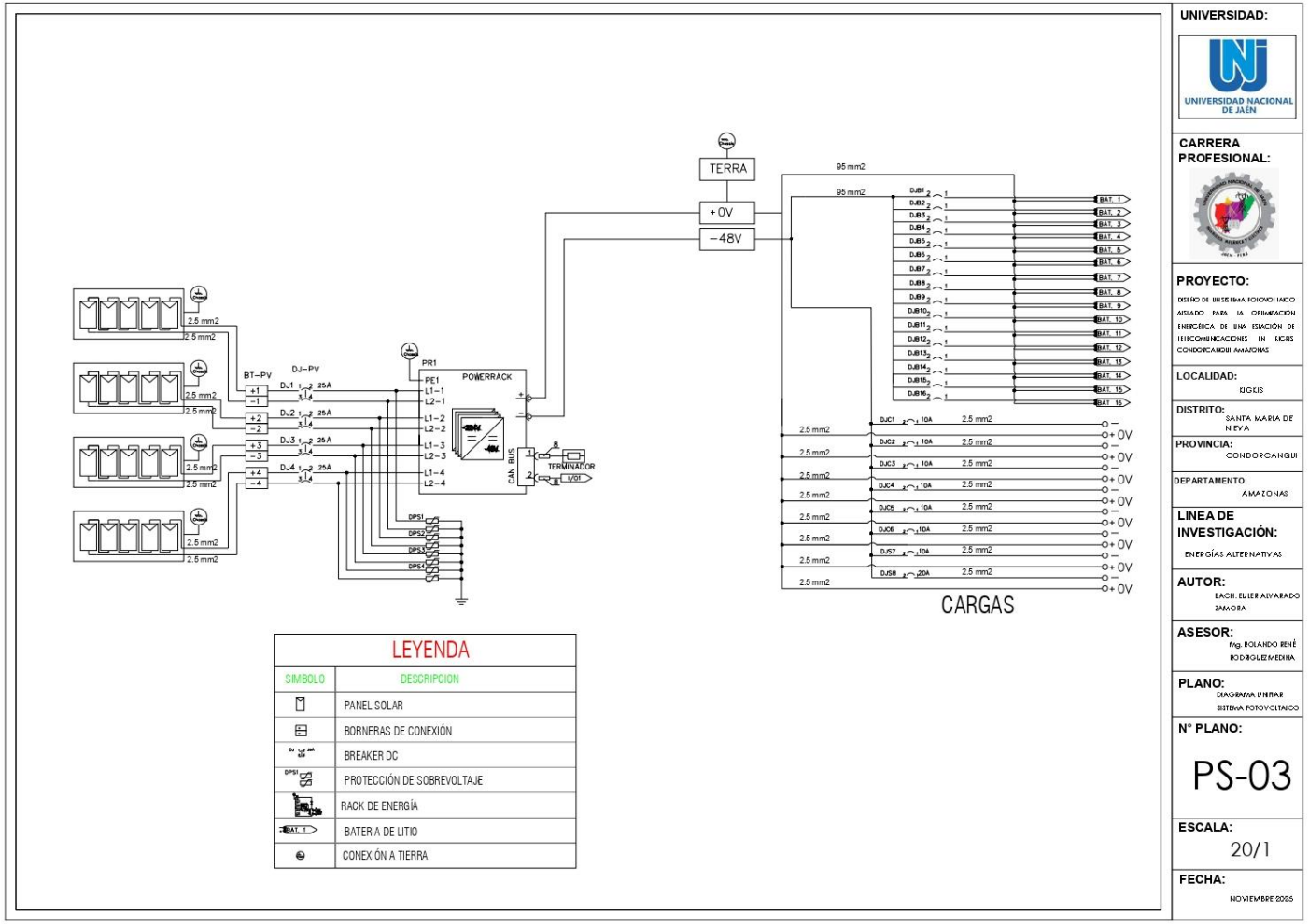
Anexo 9: Plano de Planta de estación fotovoltaica



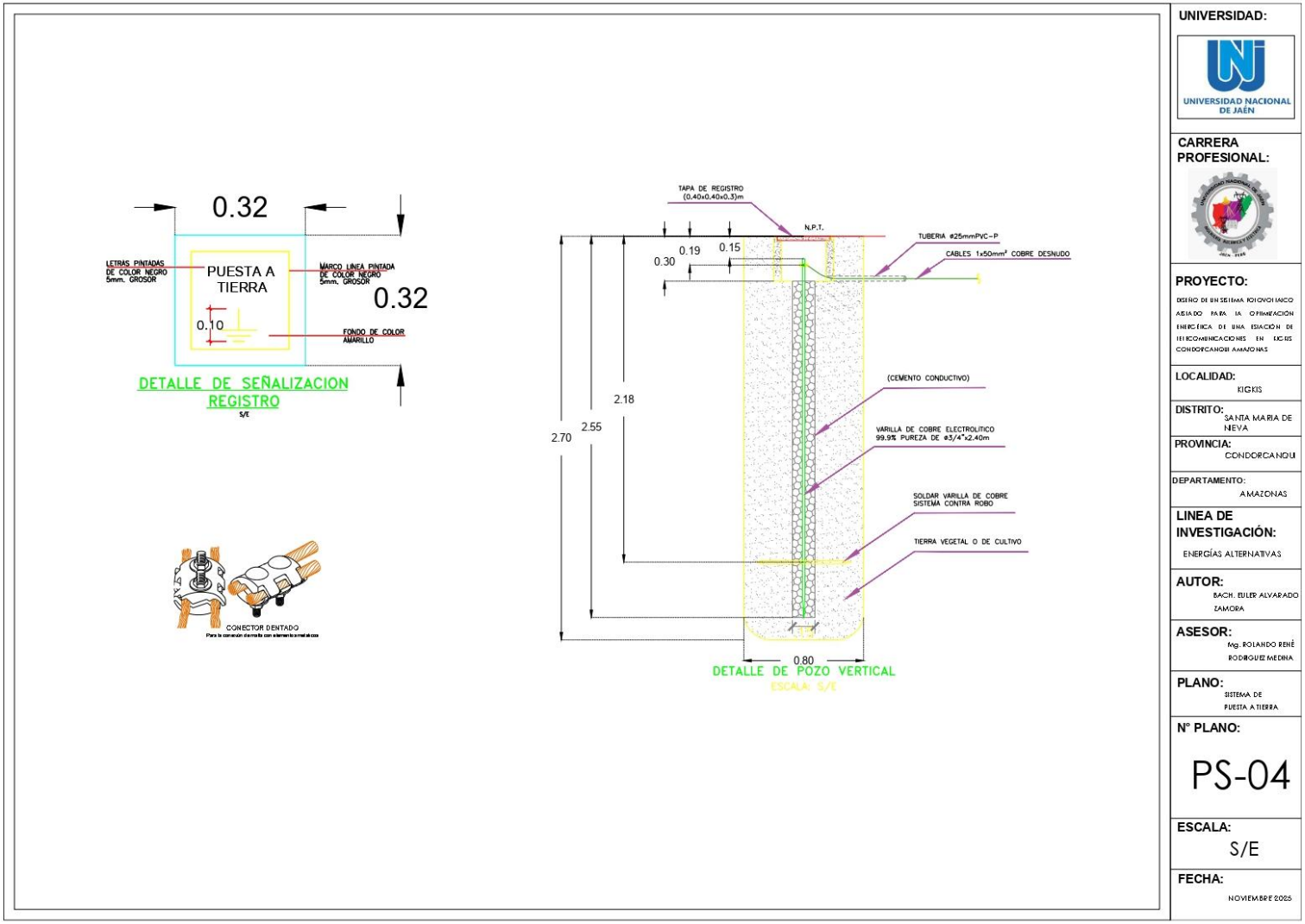
Anexo 10: Diagrama de conexiones para arreglo de 20 paneles solares



Anexo 11: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico



Anexo 12: sistema de puesta a Tierra



Anexo 13: Rentabilidad del proyecto

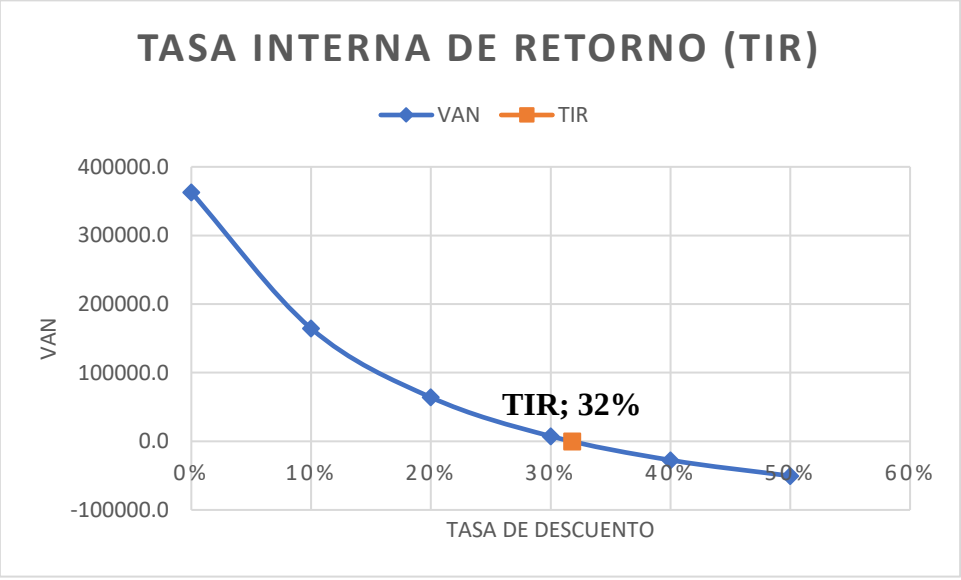
Rentabilidad del proyecto

Año	Inversión	Ingreso	C. Oper. y Mant.	Flujo de caja	Tasa de descuento	Flujo actual	FC acumulados
0	-151561.20	0.00	0.00	-151561.20	1.00	46761.35	-151561.20
1	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.10	42510.31	-104799.85
2	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.21	38645.74	-62289.54
3	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.33	35132.49	-23643.80
4	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.46	31938.63	11488.69
5	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.61	29035.12	43427.32
6	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.77	26395.56	72462.44
7	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	1.95	23995.96	98858.00
8	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	2.14	21814.51	122853.96
9	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	2.36	19831.38	144668.47
10	0.00	52958.28	1520.80	51437.48	2.59	46761.35	164499.85

VAN = **S/.** 164499.85

TIR = 32%

Figura 10: Gráfico de la Tasa Interna de Retorno (TIR)



Anexo 14: Fotografia de la estación de Telecomunicaciones en la localidad de Kigkis, Condorcanqui, Amazonas

