

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
FACULTAD DE MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO  
AISLADO PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD AL  
CAMPAMENTO MINA GIOCONDA EN LA PROVINCIA DE  
RECUAY, DEPARTAMENTO DE ANCASH”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA

AUTORES:

ASTUHUAMAN RUIZ ANTHONY SPRANNGER  
RUIZ PIMENTEL JOSE SANTOS DAVID

ASESOR:

VILA ARCE RENZO IVAN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA

Callao, 2022

PERÚ



## Document Information

<b>Analyzed document</b>	9. TESIS. ASTUHUAMAN RUIZ -RUIZ PIMENTEL.pdf (D142844921)
<b>Submitted</b>	2022-08-12 07:17:00
<b>Submitted by</b>	
<b>Submitter email</b>	investigacion.fime@unac.pe
<b>Similarity</b>	10%
<b>Analysis address</b>	investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://e-management.mx/2019/11/16/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/">https://e-management.mx/2019/11/16/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/</a> Fetched: 2022-08-12 07:18:00		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/11407252/09/21/La-crisis-energetica-se-expande-por-el-mundo-mas-inflacion-y-presion-para-las-cadenas-de-suministro.html">https://www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/11407252/09/21/La-crisis-energetica-se-expande-por-el-mundo-mas-inflacion-y-presion-para-las-cadenas-de-suministro.html</a> Fetched: 2022-08-12 07:18:00		<b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DVvLtsOZ2cMJ:expo-solar.com/+&amp;cd=14&amp;hl=es&amp;ct=clnk&amp;gl=pe">http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DVvLtsOZ2cMJ:expo-solar.com/+&amp;cd=14&amp;hl=es&amp;ct=clnk&amp;gl=pe</a> Fetched: 2022-08-12 07:18:00		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf">https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf</a> Fetched: 2022-08-12 07:18:00		<b>4</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-interruptor-termomagnetico.pdf">http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-interruptor-termomagnetico.pdf</a> Fetched: 2022-08-12 07:18:00		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/bombas-de-calor/">https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/bombas-de-calor/</a> Fetched: 2022-08-12 07:17:00		<b>7</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://prosinfer.com/producto/lampara-minera-wisdom-kl5m/">https://prosinfer.com/producto/lampara-minera-wisdom-kl5m/</a> Fetched: 2022-08-12 07:18:00		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://myabcm.com/es/descubra-las-diferencias-entre-capex-y-opex/">https://myabcm.com/es/descubra-las-diferencias-entre-capex-y-opex/</a> Fetched: 2022-08-12 07:17:00		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/regulador-mppt-o-pwm">https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/regulador-mppt-o-pwm</a> Fetched: 2022-08-12 07:17:00		<b>2</b>

## INFORMACIÓN BÁSICA

**FACULTAD:**

Ingeniería Mecánica y Energía

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

FIME

**TÍTULO DE TESIS:**

“Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para suministrar electricidad al campamento mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Áncash”

**AUTORES / CÓDIGO ORCID / DNI:**

Astuhuaman Ruiz Anthony Sprannger / 0000-0001-7255-5134 / 72860037

Ruiz Pimentel José Santos David / 0000-0001-7186-2554 / 73124025

**ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI:**

Ing. Vila Arce Renzo Iván / 0000-0002-4259-5167 / 10139787

**LUGAR DE EJECUCIÓN:**

Mina Gioconda

**UNIDAD DE ANÁLISIS:**

Suministro eléctrico Campamento Mina Gioconda

**TIPO / METODOLOGÍA / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

Aplicada / Sistémico / No Experimental

**TEMA OCDE:**

Ciencias del Medio Ambiente

(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

**ACTA N°092 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGÍA**

**LIBRO 001 FOLIO N° 118, ACTA N° 092 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL I CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

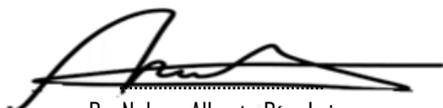
A los 20 días del mes de agosto, del año 2022, siendo las 13:32 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de Ingeniero en Energía de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

<b>Dr. Nelson Alberto Diaz Leiva</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas</b>	<b>: Secretario</b>
<b>Mag. Juan Adolfo Bravo Félix</b>	<b>: Miembro</b>
<b>Dr. Juan Manuel Palomino Correa</b>	<b>: Asesor</b>

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **ASTUHUAMAN RUIZ, ANTHONY SPRANNGER** quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN ENERGÍA**, sustenta la tesis titulada **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD AL CAMPAMENTO MINA GIOCONDA EN LA PROVINCIA DE RECUAY, DEPARTAMENTO DE ANCASH”** cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa de **BUENO** y calificación cuantitativa de **QUINCE (15)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 13:53 horas del día 20 del mes y año en curso.



Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva  
Presidente de Jurado



Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas  
Secretario de Jurado



Mg. Juan Adolfo Bravo Félix  
Miembro de Jurado



Dr. Juan Manuel Palomino Correa  
Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**

---

**INFORME N° 08**

Visto el ejemplar de la Tesis de los Bachilleres:

**ASTUHUAMAN RUIZ, ANTHONY SPRANNGER**  
**RUIZ PIMENTEL JOSE SANTOS DAVID**

Que lleva por título:

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD AL CAMPAMENTO MINA GIOCONDA EN LA PROVINCIA DE RECUAY, DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

**A QUIEN CORRESPONDA**

El jurado Revisor y evaluador de sustentación de Tesis del I Ciclo Taller de Tesis 2022, designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 250-2022-CF-FIME, manifestamos que la sustentación de tesis se llevo a cabo los días Sábado 20 y Domingo 21 de agosto de 2022, en el horario de 09.00 a 15.00 horas, vía Google Meet : <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn> y habiéndose levantado las observaciones realizadas al trabajo de tesis, la misma que en su oportunidad fue revisada cuidadosamente por los miembros del jurado en pleno a través de la sala de Google Meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn> damos la **respectiva conformidad** a la tesis presentada para que continúe con su trámite correspondiente.

Se emite el presente informe favorable para los fines que el interesado considere pertinentes.

Bellavista 22 de setiembre del 2022

Dr. Nelson Alberto Diaz Leiva  
Presidente

Msc. Gustavo Ordóñez Cárdenas  
Secretario

Mg. Juan Adolfo Bravo Félix  
Miembro

## DEDICATORIA

A Dios por su gracia y generosidad, por mantenerme concentrado en lo verdaderamente importante.

A mis padres Maribel y Manuel, por la vida, por el tiempo, y por el aguante. A mi tía María Esther por hacerme parte de su familia y tratarme como a un hijo más.

Con mucho amor y profundo cariño.

Anthony.

Mi dedicatoria está dirigido a todas aquellas personas que colaboraron en forjar mi camino en especial a Dios, que no me dejó caer, ayudándome cada día, fortaleciéndome y guiándome.

José.

Gracias por todo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a nuestra Alma Mater, la Universidad Nacional del Callao, a los distintos compañeros con los que compartimos grandes hazañas, a los profesores que nos encaminaron y dejaron su experiencia y conocimiento, a todos los que de alguna manera facilitaron el desarrollo de este proyecto.

Así mismo, un agradecimiento especial al Ing. Renzo Villa por su orientación, su convicción por el crecimiento profesional, el desarrollo investigativo y destacar el aporte social de este trabajo.

Agradecemos a nuestros padres, la empresa involucrada y persona motores.

# ÍNDICE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	10
1.2 Formulación del problema .....	14
1.2.1 Problema general.....	14
1.2.2 Problemas específicos .....	14
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos .....	14
1.4 Justificación .....	15
1.4.1 Justificación económica .....	15
1.4.2 Justificación social .....	15
1.4.3 Justificación técnica .....	16
1.5 Delimitantes de la investigación .....	16
1.5.1 Delimitación teórica.....	16
1.5.2 Delimitación temporal.....	16
1.5.3 Delimitación espacial .....	16
II. MARCO TEORICO .....	17
2.1 Antecedentes.....	17
2.2 Bases teóricas .....	24
2.2.1 Energía Renovable .....	24

2.2.2 Energía Solar .....	29
2.2.3 Estudio de la radiación.....	29
2.2.4 Energía solar Fotovoltaica .....	30
2.3 Marco Conceptual.....	42
2.3.1 Sistema fotovoltaico aislado.....	42
2.3.2 Suministro de energía eléctrica.....	50
2.4 Definición de términos básicos .....	52
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	53
3.1 Hipótesis.....	53
3.1.1 Operacionalización de variables .....	53
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	55
4.1 Diseño metodológico .....	55
4.1.1 Parámetro de diseño .....	55
4.1.2 Etapas de diseño.....	56
4.1.3 Ingeniería de detalle.....	57
4.2 Método de investigación.....	104
4.3 Población y muestra .....	104
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	104
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	105
4.6 Análisis y procesamiento de datos .....	106
4.7 Aspectos Éticos en Investigación .....	106
V. RESULTADOS .....	108
5.1 Resultados descriptivos.....	108
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	111
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	111
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	112
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes .....	112
CONCLUSIONES .....	113
RECOMENDACIONES .....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS .....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Ventajas e inconvenientes de la Energía Solar Fotovoltaica	30
Tabla 3.1 Operacionalización de variables	54
Tabla 4.1 Localización geográfica del campamento Mina Gioconda	57
Tabla 4.2 Radiación mensual proporcionada por la unidad minera en la Mina Gioconda	61
Tabla 4.3 Radiación mensual en las coordenadas de la Mina Gioconda	63
Tabla 4.4 Radiación solar según la NASA	64
Tabla 4.5 Determinación de la máxima demanda	67
Tabla 4.6 Especificación técnica del controlador SRNE	76
Tabla 4.7 Caídas máximas de tensión toleradas	82
Tabla 4.8 Conductores eléctricos NYY	84
Tabla 4.9 Selección de conductores eléctricos de tipo NYY para cada uno de los tramos	85
Tabla 4.10 Metrado y presupuesto de equipos del sistema fotovoltaico	88
Tabla 4.11 Metrado del Sistema Fotovoltaico	89
Tabla 4.12 Metrado del Sistema Fotovoltaico	89
Tabla 4.13 Metrado del sistema fotovoltaico aislado	90
Tabla 4.14 Costo de operación y limpieza anual del sistema fotovoltaico aislado	91
Tabla 4.15 Estimación de sustituciones a realizar en el futuro	92
Tabla 4.16 Inversión inicial y total para el sistema	92
Tabla 4.17 Costo del sistema fotovoltaico aislado Mina Gioconda	93
Tabla 4.18 Energía solar generada por sistema fotovoltaico	94
Tabla 4.19 Energía solar generada por sistema fotovoltaico a lo largo de 15 años	95
Tabla 4.20 Costo de energía producida del sistema fotovoltaico	96
Tabla 4.21 Consumo general Campamento minero	97
Tabla 4.22 Costo de mano de obra	98
Tabla 4.23 Costo de mantenimiento cada 250 hrs.	99
Tabla 4.24 Costo de operación Sistema convencional	100
Tabla 4.25 Ahorro del costo de servicio eléctrico (en soles)	102
Tabla 4.22 Determinación del VAN del Sistema Convencional vs Sistema fotovoltaico	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1	Conversión de la energía	26
Figura 2.2	Esquema de una celda solar y del efecto fotovoltaico	28
Figura 2.3	Interruptores Termomagnético Baja Tensión Corriente Alterna	32
Figura 2.4	Tablero Eléctrico Baja tensión	33
Figura 2.5	Cable de Baja Tensión DLO/RHH/RHW-2/RW90	34
Figura 2.6	Esquema bomba de calor Aire -Agua	35
Figura 2.7	Esquema bomba de calor Aire- Aire	36
Figura 2.8	Tipos de sistemas fotovoltaicos	43
Figura 2.9	Componentes de un sistema fotovoltaico aislado	44
Figura 4.1	Flujograma de las etapas del sistema fotovoltaico aislado	57
Figura 4.2	Ubicación y situación del campamento mina Gioconda	58
Figura 4.3	Terrenos disponibles para el sistema fotovoltaico	59
Figura 4.4	Fotografía del campamento mina Gioconda y área designada para la ubicación del sistema fotovoltaico aislado	59
Figura 4.5	Radiación solar	66
Figura 4.6	Análisis entre los proveedores	70
Figura 4.7	Trayectorias solares en Mina Gioconda	74
Figura 4.8	Cartucho fusible calibre 12 A	86
Figura 4.9	Portafusiles seccionable	86
Figura 4.10	Ubicación geográfica de la Mina Gioconda	106

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

		Página
Gráfico 1.1	Variación de precios del combustible entre los años 2011 -2021	13
Gráfico 4.1	Estadístico de la Radiación mensual en la Mina Gioconda	62
Gráfico 4.2	MeteoNORM Ghd[kWh/m <sup>2</sup> /día	63
Gráfico 4.3	Radiación solar según la NASA	64
Gráfico 4.4	Comparación de datos METEONORM-NASA-ATLAS SOLAR	65
Gráfico 4.5	Gráfico 4.5. Costo general de energía durante el año 2021 del campamento minero	98
Gráfico 4.6	Comparativa del costo por kWh generado entre el Sistema fotovoltaico y el sistema convencional de generación en la mina Gioconda	101
Gráfico 4.7	Flujo de caja	104

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo proponer el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado a la red para suministrar energía eléctrica al Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash. La metodología fue de tipo aplicada tecnológica, el diseño del presente proyecto fue no experimental. La muestra es igual a la población debido a que el tipo de investigación es aplicada, estando integrada por los módulos de vivienda del campamento mina Gioconda. Se obtuvo como resultado la propuesta de un arreglo fotovoltaico conformado por 20 unidades de paneles solares de la marca Jinko Solar de 545 Wp, con un voltaje nominal de 24V, tienen una inclinación de 11° respecto al plano horizontal y están orientados hacia el norte. El área delimitada para el sistema fotovoltaico es de 1 180,46 m<sup>2</sup> de los cuales el área ocupada por los módulos fotovoltaicos es de 52 m<sup>2</sup>. Se concluye que en la presente tesis se logró realizar la propuesta de dimensionamiento de un sistema fotovoltaico con una potencia en generación de 10,9 kWp, asimismo se realizó los cálculos para seleccionar los elementos del sistema fotovoltaico, logrando cubrir las cargas de iluminación y tomas de corriente. Todo ello fue con la ayuda de la información brindada por la Unidad Minera, así como también los datos meteorológicos recabados del área de medio ambiente de la mina Gioconda. Cuando el proyecto se implemente el sistema de energía convencional se concentrará en los procesos de extracción, ya que la energía fotovoltaica cubrirá la demanda eléctrica en la zona del campamento.

**Palabras Claves:** Panel solar, sistema fotovoltaico, energía solar, banco de baterías, suministro de energía.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to propose the sizing of a standalone photovoltaic system to supply electrical power to the Mina Gioconda Camp in the province of Recuay, Ancash department. The methodology employed was of a technological applied nature, and the design of this project was non-experimental. The sample size was equal to the population because the research type was applied, consisting of the housing modules within the Mina Gioconda camp.

The result was the proposal of a photovoltaic array composed of 20 units of Jinko Solar brand solar panels with a capacity of 545 Wp each, operating at a nominal voltage of 24V. These panels are inclined at an angle of  $11^\circ$  relative to the horizontal plane and are oriented to the north. The designated area for the photovoltaic system is  $1,180.46 \text{ m}^2$ , with the photovoltaic modules occupying an area of  $52 \text{ m}^2$ .

In conclusion, this thesis successfully accomplished the sizing proposal of a photovoltaic system with a generation capacity of 10.9 kWp. Additionally, calculations were performed to select the components of the photovoltaic system, ensuring coverage of the lighting and power outlet loads. All of this was achieved with the assistance of information provided by the Mining Unit, as well as meteorological data collected from the environmental area of Mina Gioconda. Once implemented, the conventional energy system will be concentrated on extraction processes, as the photovoltaic energy will meet the electrical demand in the camp area.

**Keywords:** Solar panel, photovoltaic system, solar energy, battery bank, power supply.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación trata sobre el “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD AL CAMPAMENTO MINA GIOCONDA EN LA PROVINCIA DE RECUAY, DEPARTAMENTO DE ANCASH”

El mundo enfrenta actualmente una crisis energética, provocada por el cambio climático y el aumento de la demanda ya es una realidad. Los gobiernos están bajo presión, algunos enfrentan apagones como en China e India y otros, como en Europa, han mantenido o incrementado la demanda del carbón, la fuente de energía fósil que más contamina, pero lo hace en un intento por darle solución a las necesidades. El consumo de energía a nivel mundial para el año 2019 se dividió entre combustibles fósiles, es decir petróleo, carbón y gas natural, representando el 80% del consumo, mientras la energía eólica solo significó el 2% y la energía solar tan solo el 1% (France24, 2021).

Este escenario plantea la necesidad de acelerar la diversificación de fuentes energéticas que ayuden a contrarrestar la demanda y a su vez sean más limpias para ayudar con el cuidado del medio ambiente. Por esta razón, el presente estudio de investigación tiene como objetivo dimensionar un sistema fotovoltaico aislado a la red para suministrar energía eléctrica al Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash.

Para ello, se ha estructurado el proyecto en ocho capítulos. En el capítulo I. Planteamiento del problema se aborda la descripción de la realidad problemática, se formula el problema, así como los objetivos de investigación, la justificación y las limitantes. El capítulo II. Marco teórico contiene los antecedentes internacionales y nacionales, las bases teóricas, conceptual y la definición de términos básicos. En el capítulo III. Hipótesis y variables, así como su operacionalización.

En el capítulo IV. Metodología del proyecto, se especifica el diseño metodológico, el método de investigación, la población y muestra, el lugar donde se realizará el estudio, las técnicas e instrumentos para la recolección de la información, el análisis y procesamiento de datos y así como aspectos éticos en investigación.

En el capítulo V se presentan los resultados, mientras que en el mismo capítulo se aborda la discusión de los hallazgos. En esta sección, se lleva a cabo la contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados obtenidos, además de comparar los resultados con otros estudios similares y abordar la responsabilidad ética. En el Capítulo VI se presentan las conclusiones, el capítulo VIII contiene las Recomendaciones y el capítulo VIII las referencias bibliográficas, finalizando con los anexos, dentro del cual se encuentra la Matriz de consistencia (Anexo 1) y otros que complementan la investigación.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

El mundo se encuentra en una difícil situación energética, por una parte, existe cada vez mayor demanda de energía y, por otra, las actuales fuentes tienen en su mayoría recursos limitados y su uso representa repercusiones ambientales indeseables. El crecimiento demográfico y económico en el mundo trae consigo que consumamos más energía, y las formas tradicionales en que la generamos, en su mayoría a través de los combustibles fósiles, trae consigo efectos negativos sobre el hábitat y el bienestar humano (Pinilla, 2019).

Actualmente, la crisis energética se expande, a los precios récord de la electricidad en Europa, ahora son China o Brasil los que se enfrentan a la escasez energética. Gran parte de las materias primas que se usan para generar energía están alcanzado precios muy altos, disparando los costes de producción, las facturas de los hogares y poniendo en peligro la recuperación económica y la vida misma de las personas (EIEconomista.es, 2021).

En el caso de América Latina, uno de los principales desafíos es la eficiencia energética. En la actualidad esta región del mundo basa su producción energética en las energías tradicionales, como los combustibles fósiles, particularmente porque depende de ella para producir energía eléctrica, a pesar de que se considera que la región tiene la capacidad suficiente para producir energías renovables (Jiménez et al., 2022).

A nivel mundial, las instalaciones solares fotovoltaicas registraron un crecimiento de dos dígitos en 2021 y se proyecta un 20% o más, para el 2022, lo que superaría por primera vez la barrera de los 200 GW CC, según un informe publicado por IHS Markit. La energía solar está uniformemente distribuida en Latinoamérica, ello debido a que gran parte de la región se encuentra dentro de la zona denominada “Cinturón del Sol”, zona con la más alta radiación solar (ExpoSolarPerú, 2022).

De acuerdo a CEPAL (2021), plantea para América Latina, la urgencia de la transición hacia energías renovables. Siendo el sector energético renovable un poderoso motor de crecimiento, generación de empleo e innovación. Se debe empezar por dar acceso a electricidad a 20 millones de latinoamericanos que aún no lo tienen. Utilizando tecnología renovable (es decir, solar y eólica) en línea con las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 7 sobre el acceso a energía asequible y limpia (ODS 7), se puede cerrar las brechas de cobertura y llegar a una matriz eléctrica de la región con más del 86% de energías renovables. Con esto se podrían generar 7 millones de empleos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En el caso de Perú, de acuerdo a Osinergmin (2019) el 55% de nuestra energía eléctrica es generada por hidroeléctricas, el 37% por centrales térmicas a base de gas natural, y la energía generada a partir de recursos energéticos renovables (RER) alcanzó casi un 8%. Sin embargo, basta revisar la matriz de energía primaria para constatar que el 47% de la energía proviene del petróleo. Esta fuente, resulta contaminante y es afectada por las fluctuaciones en su precio, generando impactos en la salud de los ciudadanos y en la economía nacional. Ante esto, la solución a largo plazo es la electrificación de nuestra matriz, sobre la base de energías limpias que permitan de manera simultánea reducir los efectos negativos que tienen los combustibles fósiles en el ambiente.

Asimismo, cuenta con una enorme capacidad para generar electricidad con energías renovables no aprovechadas. Sin duda, una nueva generación de electricidad con energías renovables emerge en el país, donde el sol es una de las principales fuentes de abastecimiento energético.

En el contexto de la minería, la cual “es una actividad extractiva y descentralizada que se realiza en zonas inhóspitas, por lo general de mucha altura y en condiciones climáticas muy extremas en el Perú. Las empresas que sostienen operaciones formales, principalmente las de mediana y gran minería ubicadas en zonas despobladas, deben de implementar campamentos mineros para sus

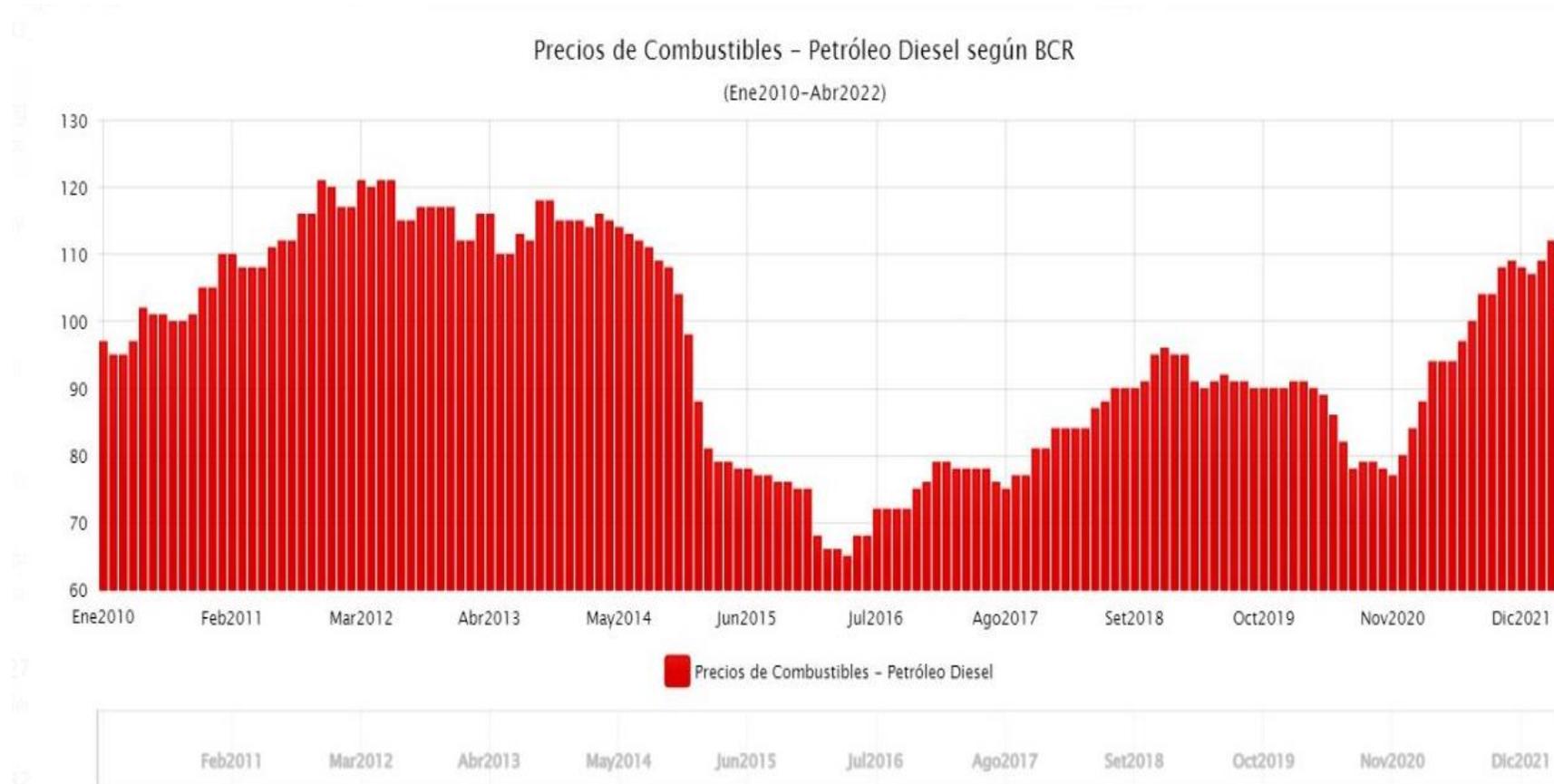
trabajadores” (Arispe et al. 2021). La falta de tendido eléctrico en las zonas de explotación minera es debido a su ubicación remota, donde la posibilidad de acceder a un flujo eléctrico confiable y seguro es un reto.

“En áreas remotas del mundo, las redes de suministro eléctrico locales, si es que existen, puede que no tengan la capacidad de respaldar una nueva mina hambrienta de energía eléctrica, y establecer una estación generadora puede ser la única opción” (Walker, 2015, párr. 1). Los grupos electrógenos son la alternativa más común para cubrir las necesidades energéticas para las distintas etapas de la explotación minera. Estos generadores en su mayoría consumen Petróleo Diesel, cuyo alto costo y precio impredecible se puede constatar en el gráfico 1.1.

Diversos trabajos de tendencias y volatilidad han analizado el modelo estadístico del problema del precio del petróleo, donde la especulación financiera y los conflictos políticos a nivel mundial son causas potenciales de alta inestabilidad en su costo (Gallardo et al., 2005, p. 18).

El estudio se realizará en el Campamento Mina Gioconda, el cual está ubicado a 25 km al sur de la ciudad de Huaraz, Provincia de Recuay, Departamento de Ancash a una altura de 4750 msnm, actualmente se encuentra en una zona sin electrificación rural, ello conlleva al uso de generación eléctrica convencional (generación de energía eléctrica con Diesel) para alimentar de energía eléctrica al campamento. Por lo cual se dimensiona un sistema fotovoltaico aislado, con la finalidad de generar energía eléctrica mediante una fuente de generación de energía renovable que sea cueste menos que el actual sistema de generación de energía, aprovechando la energía del sol que incide en la superficie de la zona.

Gráfico 1.1. Variación de precios del combustible entre los años 2011 -2021



Fuente: Estadísticas Mensuales BCRData – BCR

Frente a lo expuesto, se formula la siguiente interrogante:

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo dimensionar un sistema fotovoltaico aislado para generar energía a el Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash?

### **1.2.2 Problemas específicos**

1. ¿Cuál es la energía solar disponible que se registra en el campamento Mina Gioconda?
2. ¿Cuáles son los componentes requeridos del sistema fotovoltaico aislado en el Campamento Mina Gioconda?
3. ¿Cuál es la demanda de energía eléctrica promedio diario en el campamento Mina Gioconda?
4. ¿Cuál es la conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado en comparación con el sistema convencional?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado a la red para suministrar energía eléctrica al Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la energía solar disponible que se registra en el campamento Mina Gioconda.
2. Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico aislado en el Campamento Mina Gioconda.
3. Determinar la *demand*a de energía eléctrica promedio diario en el campamento Mina Gioconda.
4. Comparar la conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado versus sistema convencional.

## **1.4 Justificación**

Este estudio es justificado por encontrarse dentro del marco del plan de electrificación rural, el cual hace referencia al promoción y uso de las energías renovables en el país en zonas donde no llega el tendido eléctrico. Por la versatilidad de su abastecimiento, y la alta radiación promedio en la costa, sierra y selva del país este puede ser aprovechado para diversos usos tales como el bombeo e iluminación con paneles solares, colectores térmicos, etcétera. Cuando el proyecto se implemente, éste, permitirá que el sistema actualmente en funcionamiento (sistema convencional) se concentre exclusivamente a los procesos extractivos y de producción en la unidad minera, ya que la energía solar renovable cubrirá la demanda eléctrica en la zona de campamento.

### **1.4.1 Justificación económica**

La existencia del proyecto se justifica económicamente porque permitirá que la minera Lincuna consuma menos energía generada por combustión, cuyos residuos gaseosos son contaminantes para el medio ambiente. Se reducirá costos de consumo de energía por considerarse más rentable respecto del sistema actualmente instalado. La inversión en tecnología solar fotovoltaica tiene, por lo general, un retorno de cinco años y una vida útil aproximada de veinticinco años, haciendo factible la posible consideración de proyecciones en otras áreas de consumo energético en la industria minera.

### **1.4.2 Justificación social**

Después de la implementación del este proyecto fotovoltaico se tendrá un beneficio en la calidad de vida de los trabajadores del campamento minero Gioconda, solucionando el abastecimiento de energía eléctrica en una zona sin tendido eléctrico. Que influirá en su bienestar, comodidad y el aumento de productividad y rendimiento para la empresa involucrada.

El mundo actualmente apuesta por la disminución de la contaminación y el cambio climático, cada vez se desarrollan leyes e incentivos para desarrollar más proyectos que favorezcan al medio ambiente. Para nuestro caso la presente

investigación se justifica en la reducción del consumo de combustible no renovable para abastecer la demanda eléctrica del campamento minero Lincuna, que se traduce en una menor cantidad de gases producto de la combustión vertidos a la intemperie rural donde el sistema fotovoltaico aislado estará ubicado.

#### **1.4.3 Justificación técnica**

Esta investigación es justificada por encontrarse dentro del marco del plan de electrificación rural, el cual hace referencia al promoción y uso de las energías renovables en el país en zonas donde no llega el tendido eléctrico.

### **1.5 Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1 Delimitación teórica**

Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que aproveche la incidencia de la radiación solar y suministro de energía eléctrica al Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay – Ancash.

Los datos teóricos y la información que se usan en esta investigación son de acceso público y puede ser fácilmente verificadas en la web.

#### **1.5.2 Delimitación temporal**

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico que aproveche el recurso solar para suministrar electricidad se identificó los fenómenos naturales como la lluvia, en los meses de diciembre a marzo, y la granizada que suele caer esporádicamente entre los meses de febrero a marzo y pueden acortar la eficacia de los módulos fotovoltaicos.

#### **1.5.3 Delimitación espacial**

El dimensionamiento tendrá desarrollo en Perú, departamento de Ancash, Provincia de Recuay, unidad minera Gioconda.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes

#### Internacionales

**Lajones (2022)** en Ecuador, realizó la tesis “Dimensionamiento de sistema fotovoltaico aislado en la comunidad masa 2 considerando factores sociodemográficos”. El objetivo fue desarrollar e implementar un sistema fotovoltaico domiciliario en la comunidad de “MASA 2” ubicada al sur de Guayaquil. Se recurrió a métodos de investigación exploratorio, cuantitativo y sistemático. Este sistema fue diseñado para entregar energía limpia, renovable, y sostenible, renunciando a la utilización de generadores de combustión portátiles.

Esta tesis aporta en los conceptos metodológicos de investigación y aplicación, así como el reemplazo de energía limpia a cambio de la energía convencional.

**Mestre (2021)**, en Colombia, desarrolló la tesis “Sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a una vivienda rural”. El objetivo fue diseñar un sistema solar fotovoltaico aislado tipo (Off Grid), para el suministro de energía eléctrica a una vivienda del área rural. Concluyendo que el sistema solar fotovoltaico, es un gran método de obtención de energía, debido a su manera de suministrar esta misma, ya que se beneficia de la luz solar y así mismo no afectando al medio ambiente, también teniendo la ventaja de poder establecerse en cualquier sector donde no hay maneras de llegar, a menos que sea de formas costosas o que dañan al ecosistema. El proyecto además beneficia mucho económicamente, a cada vivienda que cuente con ella, debido a que se hace de este servicio y el capital invertido se recupera en poco tiempo, siendo este proyecto un referente donde ya puede llegar la energía eléctrica, y dar un aporte más en lo económico y ambiental.

Esta tesis aporta en la aplicación de un sistema fotovoltaico aislado en un ambiente rural alejado de las redes eléctricas. En lo económico, la forma y el tiempo de recuperación del capital invertido y el ahorro que genera el sistema.

**Pesantez (2021)**, en Cuenca, Ecuador, investigó la “Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro”. El objetivo fue analizar la integración de sistemas solares fotovoltaicos en las redes de distribución para el suministro eléctrico directo a usuarios industriales permite reducir significativamente los costos de operación e incrementar la competitividad de los sectores productivos. En este sentido, los sistemas solares fotovoltaicos podrían suministrar un importante porcentaje de las necesidades eléctricas de las empresas camaroneras de forma económica y fiable. Las fincas camaroneras se localizan generalmente en sitios remotos, cerca de las costas e incluso en islas, sin conexión al sistema eléctrico nacional. La construcción de redes eléctricas de suministro eléctrico resultaría excesivamente costosa. Así, los motores diésel de combustión interna se encargan de garantizar el suministro de la demanda energética en esta industria. Los resultados del estudio demuestran que la integración de sistemas fotovoltaicos de generación solar puede satisfacer parcialmente la demanda eléctrica de los cultivos intensivos y extensivos de camarones de la provincia de El Oro. El estudio se lo realiza en Puerto Pitahaya perteneciente al cantón Arenillas, donde se comprueba la existencia de un excepcional recurso solar en promedio 133.02 kWh/m<sup>2</sup>- mes, el costo de inversión por cada kW de esta tecnología es de \$415,8 lo cual representa un precio competitivo, así mismo la madurez de la tecnología solar garantizan una rápida recuperación de la inversión, un suministro eléctrico de elevada fiabilidad y una sustancial mejora de la eficiencia energética de la producción de las empresas del sector camaronero del Ecuador.

De esta tesis se utilizó la parte económica y la forma en que se realiza la comparación de los precios de energía convencional vs energía renovable.

**Puco (2020)**, en Ecuador, realizó la tesis “Diseñar un sistema fotovoltaico para el uso en casas flotantes en la ciudad de Babahoyo”, este trabajo de investigación tuvo como objetivo, analizar, calcular y diseñar un sistema fotovoltaico. Los datos de la ubicación y la potencia instalada se procesan en el programa METRONORM, donde se obtiene una proyección de las horas de sol

pico (HSP) necesaria para el dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico.

De esta tesis rescatamos en el uso del programa METEONORM como referencia para procesar los datos de Irradiación en la provincia de Recuay, en el departamento de Ancash.

**Guerrero (2018)** en Chile, desarrolló un sistema fotovoltaico para tres villorios de la pampa, que se encuentran a 4.000 m.s.n.m. y que alimenta un sistema de agua potable. Para ello, analizaron los datos de radiación de los lugares a instalar el sistema de potabilización de agua alimentado por energía solar fotovoltaica, en donde se puede ver que es un lugar privilegiado para el uso de este tipo de energía. Para dimensionar el sistema eléctrico es necesario conocer los consumos que este tiene, es aquí donde se tiene especial cuidado con los elementos que componen el sistema de potabilización, como la bomba eléctrica y los consumos extras que pueda tener la instalación como la iluminación, enchufes y todo elemento necesario, se seleccionaron los elementos que se utilizan en la instalación acorde al mercado nacional, la marca, los parámetros, y las cantidades de acuerdo a lo analizado en capítulos anteriores. Para finalizar se determinaron los costos involucrados en este proyecto. Concluyendo que el costo total del proyecto asciende a cerca de 29 millones de pesos y se estima que el tiempo en la instalación en las tres localidades sea de aproximadamente 15 días, 5 días para cada villorio. Chile como país debe potenciar el uso de este tipo de energías, y por sobre todo en lugares donde las redes eléctricas no llegan, ya sea por su distancia o los grandes costos que estos se refieren.

Esta tesis sirve como orientación para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos tomando en cuenta el factor de derrateo producido por la altura.

**Gomez (2017)** en Colombia, realizó un estudio sobre la “Viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro eléctrico de una mina en el municipio de Sardinata”. Con la finalidad de mejorar la calidad del servicio eléctrico, ahorro de energía, aprovechamiento de los recursos naturales y con el objetivo de aportar una solución a un problema crucial como lo es la contaminación ambiental a consecuencia de la generación de electricidad a partir

de fuentes convencionales de energía. El método consiste en conocer qué parte de la energía utilizada en la Mina la Piragua puede ser captada a través de la energía solar FV, con el objeto de proponer el reemplazo de los grupos electrógenos actuales y conseguir a mediano plazo un desarrollo industrial parcial sostenible. Este estudio se realizó para 3 secciones diferentes de la mina donde a partir de los resultados del análisis financiero se concluye que es posible implementar los sistemas para cada una de las secciones, pero sólo se lograría la recuperación de la inversión realizada y obtener unos ahorros por concepto de pago de la factura de energía durante la vida útil del sistema para la sección de equipos eléctricos del socavón de la mina. Finalmente se presentan especificaciones técnicas para la implementación de estos sistemas.

Esta tesis aportó en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para suministrar energía a un campamento minero en la Mina Piragua en Colombia.

### **Nacionales**

**Vásquez (2020)**, en Lambayeque, en su estudio “Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico aislado con PVSYST 6.7 en el Centro Poblado Boca Chinganaza en Condorcanqui–Amazonas” tiene como objetivo analizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado utilizando el software PVSyst 6.7 para una energía promedio de 19kWh, se consiguió con 24 paneles solares, dos controladores de 4kW, un banco de batería de 16 unidades almacenadoras con un costo total de inversión de s/. 228535. Su fin principal es proporcionar electricidad a un centro poblado en Amazonas para evitar los gastos en iluminación con velas, mecheros y lámparas a batería.

Podemos rescatar de esta tesis su estudio eléctrico, el análisis de carga y las anotaciones importantes respecto al proyecto y la implementación de una red secundaria. El diagrama unifilar y el metrado del sistema fotovoltaico es detallado y servirá como referencia para esta investigación.

Podemos rescatar de esta tesis su estudio eléctrico, el análisis de carga y las anotaciones importantes respecto al proyecto y la implementación de una red

secundaria. El diagrama unifilar y el metrado del sistema fotovoltaico son detallados y servirá como referencia para esta investigación.

**Quintanilla (2020)**, realizó la tesis “Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para suministrar de energía eléctrica la localidad de Patahuasi - Pampa Cañahuas”. Con el objetivo de diseñar un Sistema Solar Fotovoltaico Aislado para suministrar de energía eléctrica la localidad de PATAHUASI – PAMPA CAÑAHUAS, se tomó como base el número de pobladores del lugar y su consumo eléctrico plasmándolo en un cuadro de cargas general, obteniendo un consumo de energía total de 325.86 kWh/día. Seguidamente se procedió a determinar el campo fotovoltaico, realizando en el proceso diferentes comparaciones de las mejores tecnologías y de esta manera seleccionar los componentes más adecuados para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Finalmente realizando el análisis económico y la viabilidad del diseño, se arribó a la conclusión que con la propuesta de emplear paneles solares Policristalinos y baterías de Plomo- Ácido obtuvimos el mejor Valor Actual Neto (VAN) siendo este de S/. 442645.07, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 5% y un periodo de recuperación de la inversión de 17 años.

Esta tesis rescatamos los pasos utilizados para realizar el proyecto, cálculo de la demanda o cuadro de cargas, determinación del campo fotovoltaico y finalmente el análisis económico.

**Venegas et al. (2019)** en Trujillo, realizó la investigación “Evaluación de la factibilidad de instalación de energía fotovoltaica para la iluminación en un campamento minero de La Libertad”. El estudio de la factibilidad de instalación de energía fotovoltaica para la iluminación en un campamento minero satisface la demanda mediante el uso de energía solar ya que, esta fuente de energía ha empezado a entrar en línea como alternativas comercialmente realizables. Ciertamente, su finalidad es lograr ahorro monetario en proporción al gasto mensual por (KWH) un kilovatio hora consumido, así mismo va a contribuir en el aspecto ambiental, económico y social e incluso diversificar la matriz energética de la minería. Esta nueva elección tecnológica, realizó un estudio desde el punto de vista del ordenamiento territorial refiriendo el espacio geográfico, factores

climatológicos puesto que, dicha zona es de provecho al captar la energía, permitiendo el paso de los rayos solares con facilidad, además se identifican los materiales y métodos a utilizar: el estudio de sombras, la cantidad de los paneles, la energía que se requiere en un día y la potencia instalada (watt) con el fin de demostrar en impacto, el ahorro energético que obtiene la empresa debido a la correcta aplicación de este mismo, adicional a lo anterior. En síntesis, resulta rentable la implementación de energía fotovoltaica y cubrir el total de energía consumida en el campamento.

Esta tesis apporto en el estudio de la factibilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a un campamento minero en La Libertad.

**López (2019)**, en Huancayo, en la tesis titulada “Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para la electrificación de las estaciones base celular de la empresa Viettel Perú S.A.C, en zonas rurales de la provincia de Huancayo, 2019”, se desarrolló un modelo matemático para el cálculo de la radiación, se realizó la simulación del sistema fotovoltaico con el software PVsyst. Para el análisis económico se realizó un cálculo de flujo de caja anual y el costo por kilowatt hora producido por el sistema fotovoltaico, también se puede rescatar el análisis de impacto ambiental que se realiza con el cálculo de la emisión anual de CO<sub>2</sub>. De esta tesis se puede concluir que para una geografía accidentada la implementación de redes convencionales produce muchas dificultades técnicas y económicas. Que el uso de un sistema fotovoltaico es económicamente rentable en un periodo útil de 20 años, con un retorno de 12 años aproximados. Y que los impactos ambientales producidos por la implementación del sistema fotovoltaico son minúsculos, si los comparamos con cualquier otro sistema convencional de redes.

De esta tesis rescatamos el uso de un sistema fotovoltaico aislado en zona rural en Huancayo, así como el uso del software PVsyst para su dimensionamiento.

**Champoñan (2018)** realizo la tesis “Dimensionamiento de un sistema de generacion fotovoltaico aislado para suministrar energia electrica a la localidad de Cruz de Pañala – Morrope Lambayeque”. El objetivo fue el dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaica aislada (selección de paneles fotovoltaicos, reguladores, baterías, inversores, etc.), 38 viviendas para uso doméstico, además de 01 iglesia, 01 local comunal, 01 colegio; para la localidad de Cruz de Pañala, ubicado en el Distrito de Morrope, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque. Se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual de todo un año por medio de datos estadísticos brindados por la página de la NASA y del atlas del SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo 4,01 kWh/ día, para así no tener problemas con el sistema de generación de energía para la localidad de Cruz de Pañala. La mini central eléctrica fotovoltaica estará compuesta por 60 paneles fotovoltaicos de 185 Wp de potencia cada uno, 48 baterías de acumuladores, 3 reguladores de carga y 3 inversores. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 11,10 kWp. Se diseñó el sistema de bombeo fotovoltaico implementado con 9 paneles fotovoltaicos de 190 Wp, controlador, bomba sumergible PS1800 LORENTZ. Se diseñó el sistema de distribución en baja tensión en 220 V. Se presupuestó referencial el sistema del sistema generación y distribución, incluido los sistemas fotovoltaicos para bombeo tiene un total de S/.470 029,95. Si se aprovecha la radiación solar entonces con el dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaica aislada permitirá suministrar energía eléctrica en la localidad de Cruz de Pañala ubicado en el Distrito de Morrope, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque.

De esta tesis rescatamos el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado con un nivel de radiación solar más bajo de 4 KWh/día que es muy similar al nivel de radiación utilizada para nuestra tesis.

**De Dios (2018)**, en Huancayo, realizo la tesis “Propuesta de diseño del sistema solar fotovoltaico para el sistema electrico en el anexo de Tinco, distrito de Alis, provincia de Yauyos y departamento de Lima”. El objetivo principal es elaborar una alternativa de diseño de un sistema solar fotovoltaico. Se logró diseñar la propuesta, mediante la caracterización socioeconómica de la población en

estudio, un análisis técnico de los requerimientos para un sistema fotovoltaico in situ, un análisis de viabilidad mediante encuestas aplicadas a los pobladores y un análisis de rentabilidad para poder demostrar que es posible y sostenible la propuesta. Entre los principales resultados se tiene que un sistema de 500W de potencia con 1 x Inversor de onda modificada HAMI SOLAR 12V 600W, 1 x Controlador de carga 20A, 1 x Batería solar descarga profunda 100Ah, sería el ideal considerando el consumo medio diario de energía de 1287 Wh/día, que es fácilmente abastecido por este sistema que puede entregar hasta 3000 Wh/día.

Esta tesis aporta en la evaluación de una propuesta de sistema fotovoltaico, nos sirvió al inicio de nuestra tesis, para evaluar una propuesta viable y factible.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Energía Renovable**

De acuerdo a Schallenbert et al. (2008), la energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía.

Por su parte, Jarabo et al. (2010) la define como “la medida de la capacidad de un sistema para proporcionar trabajo por medios mecánicos o calor por medios no mecánicos. La energía eléctrica, asociada a un flujo de cargas eléctricas o a su acumulación” (p. 5).

La electricidad es la forma más sofisticada de energía que existe en la actualidad y permite su transporte entre lugares lejanos de forma económica y eficaz (Schallenbert et al., 2008).

“Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado” (Schallenbert et al., 2008).

Las energías renovables comprenden todas aquellas que se extraen de fuentes que se regeneran de manera natural, lo que garantiza que no se agoten y que se consideren en principio limpias o verdes, porque contaminan muy poco, y no emiten los gases que producen el efecto de invernadero (Pereira, 2015).

Es decir, de la definición anterior de energías renovables se resaltan varios elementos a saber: 1. Se extraen de fuentes que se regeneran de manera natural, 2. Son inagotables 3. Energías limpias 4. No emiten GEI.

Según Vega (2015) la energía renovable es cualquier forma de energía de origen solar, geofísico o biológico que se renueva mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior a su tasa de utilización. Se obtiene de los flujos continuos o repetitivos de energía que se producen en el entorno natural y comprende tecnologías de baja emisión de carbono, como la energía solar, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz y del oleaje, y la energía térmica oceánica, así como combustibles renovables tales como la biomasa.

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de contribuir al desarrollo social y económico, a un mayor acceso a las fuentes de energía, a un suministro de energía seguro, a la mitigación del cambio climático y a la reducción de los impactos medioambientales y sanitarios negativos

De acuerdo con Hernández (2013), el principal beneficio que producen las energías renovables frente a las energías tradicionales, es que disminuyen la dependencia de estas, las van sustituyendo de forma progresiva y contribuyen a mantener la calidad de vida de las personas actuales, garantizando un ambiente ecológicamente más equilibrado, lo que permite preservar el ambiente sano de las generaciones futuras y contribuir a la disminución del calentamiento global.

Algunos tipos de energía renovable permiten suministrar electricidad y energía térmica y mecánica, y producir combustibles capaces de cubrir las múltiples necesidades de los servicios energéticos. Algunas tecnologías de la energía renovable pueden ser adoptadas en el lugar de consumo (en régimen descentralizado) en medios rurales y urbanos, mientras que otras son implantadas principalmente en redes de suministro de gran tamaño (en régimen

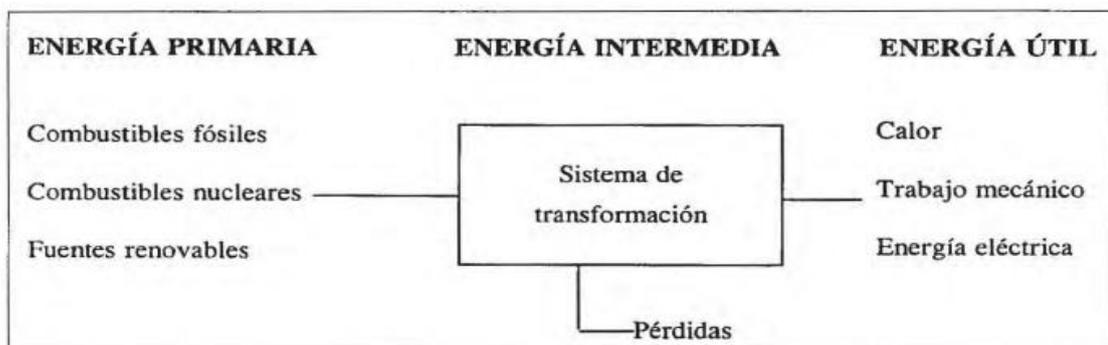
centralizado). Aunque es cada vez mayor el número de tecnologías de la energía renovable técnicamente avanzadas que han sido adoptadas en mediana escala, otras se encuentran en una fase menos evolucionada y su presencia comercial es más incipiente, o bien abastecen nichos del mercado especializados (IPCC, 2018).

### Conversión y utilización de la energía

Jarabo et al. (2010) señala que desde el punto de vista de la utilización de la energía, es necesario distinguir entre aquella que se obtiene directamente de la naturaleza, antes de cualquier transformación por medios técnicos (energía primaria o recursos energéticos) y que, por tanto, corresponde a un tipo de energía almacenada, de aquellas otras que deben sufrir una o varias transformaciones (energía secundaria o energía intermedia), para alcanzar la forma de la energía deseada por el consumidor (energía útil o energía final).

La conversión de las diferentes energías primarias (combustibles fósiles, combustibles nucleares o fuentes renovables) en las formas de energía útil (calor, trabajo mecánico, iluminación), entraña una serie de operaciones o procesos, formando cadenas energéticas (Figura 2.1). Toda cadena energética, de acuerdo con el Segundo Principio, trae consigo una pérdida de energía, siendo ésta función de los sistemas de transformación (nivel tecnológico) seleccionados para el tipo de energía primaria utilizada. Al ser las pérdidas dependientes de la cadena energética, la producción de una cantidad dada de energía útil exige diferentes consumos de energía primaria.

Figura 2.1. Conversión de la energía



Fuente: Jarabo et al. (2010)

En efecto, con una determinada fuente de energía puede producirse una cantidad de energía útil muy inferior a otra, debido a que las tecnologías disponibles para cada cadena energética a partir de diferentes energías primarias son también distintas. Así, la importancia relativa de las diferentes energías primarias sólo puede apreciarse mediante el conocimiento de su utilización y posibilidades de sustitución. Importancia que, a su vez, depende del desarrollo de las tecnologías (Jarabo et al., 2010).

La conversión de los diferentes tipos de energía está determinada por los dos Principios de la Termodinámica, los cuales limitan estos procesos:

1. La energía no se puede crear ni destruir, solo puede transformarse de una de sus formas a otra.
2. La energía se degrada continuamente hacia una forma de energía de menor calidad.

### **Principios de la conversión fotovoltaica**

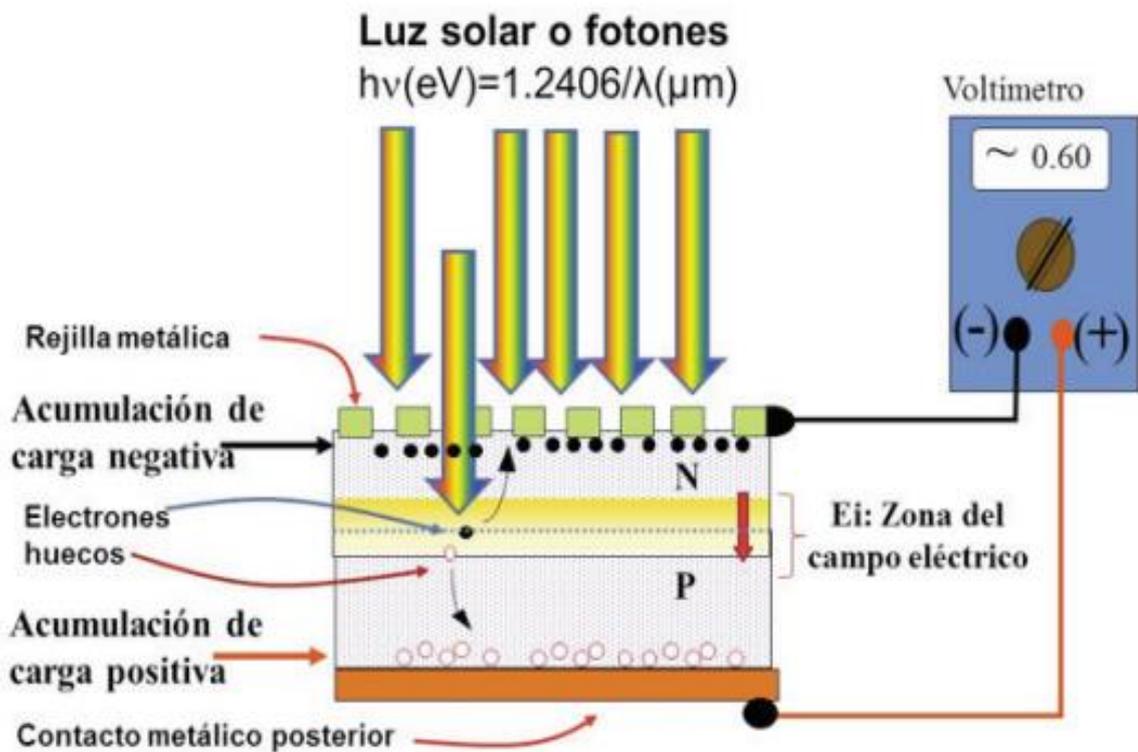
Sánchez et al. (2017) refiere que la materia está constituida por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de una carga eléctrica positiva y los electrones, con carga eléctrica negativa que compensa la del núcleo, formando de esta manera un conjunto eléctricamente neutro. Los electrones más externos se conocen como electrones de valencia. Por su estado, los materiales se clasifican en sólidos, líquidos y gases; y con respecto a sus propiedades eléctricas, hay conductores, aislantes y semiconductores.

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen a la luz solar. Cuando la luz solar incide sobre el semiconductor, sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera (carga negativa), aparece un hueco (ausencia de carga negativa), los que se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor

se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una fotogeneración de portadores de carga negativos y positivos, los que contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias (Sánchez et al., 2017).

Cuando la energía de los fotones,  $h\nu$  (radiación luminosa) es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben de ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores fotogenerados viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión en donde son separados por efecto del campo eléctrico  $E_1$ . Esta separación envía electrones fotogenerados a la capa n y huecos fotogenerados a la capa p, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas (ver Figura 2.2).

Figura 2.2. Esquema de una celda solar y del efecto fotovoltaico



Fuente: Sánchez et al. (2017)

## **2.2.2 Energía Solar**

Prácticamente toda la energía de que disponemos proviene del Sol. El Sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, etc. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural (Schallenbert et al., 2008, p. 33).

Como indica Alonso (2002) la energía solar “es una tecnología que genera corriente continua por medio de semiconductores cuando están iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre una célula solar se genera potencia eléctrica cuando la luz o se extingue, la electricidad desaparece” (p. 2).

## **2.2.3 Estudio de la radiación**

Schallenbert et al. (2008) explican que: “La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo”.

Asimismo, especifican que para medir la radiación solar que llega a la superficie terrestre se utilizan los siguientes instrumentos:

- Piranómetro: que mide la radiación global o la difusa, según se le ponga un anillo de sombra (difusa) o no (global).
- Pirheliómetro: que mide la radiación directa.
- Pirgeómetro (o albedómetro): que mide la radiación reflejada o albedo”.

## **Recorrido de la radiación**

Schallenbert et al. (2008) sostiene que “La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente

al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta” (p. 50)

### **Pico de la radiación solar**

Sobre el pico de la radiación solar, Sánchez et al. (2017) indica que éste “consiste en el valor máximo de irradiancia que puede ser percibido un captador representado por el símbolo  $G_p$ ”.

### **2.2.4 Energía solar Fotovoltaica**

De acuerdo a Alonso (2002), la energía solar fotovoltaica “es la tecnología que genera corriente continua por medio de semiconductores cuando estos son iluminados con un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre una célula solar, se genera potencia eléctrica” (p. 2).

Tabla 2.1. Ventajas e inconvenientes de la Energía Solar Fotovoltaica

Ventajas	Inconvenientes
Limpia, renovable, infinita, silenciosa	Gran inversión inicial
Retribuida económicamente la producción para venta a red	Difícil almacenamiento
Subvenciones	Proceso de fabricación de módulos complejo y caro
Corto pay-back de la energía	No competitiva con otras energías en la actualidad
Sin partes móviles y modular	Producción variable según climatología y época del año

Fuente: Alonso (2002)

La Energía Solar Fotovoltaica presenta ventajas e inconvenientes tanto técnicas como no técnicas. A menudo, las ventajas y desventajas son diametralmente opuestas a las de las centrales convencionales de fuel. Por ejemplo, las plantas de combustibles fósiles provocan emisiones peligrosas para el medio ambiente, usan una fuente limitada, su coste tiende a crecer y no son modulares, es decir,

no se pueden hacer plantas pequeñas. La Energía Solar Fotovoltaica no tiene ninguno de esos problemas; por el contrario, tiene la desventaja de su difícil almacenamiento. Por último, coinciden en ser ambas tecnologías muy fiables (Alonso, 2002).

### **Segmentos de aplicación: Sistema modular fotovoltaico móvil**

Son Sistemas fotovoltaicos adecuados a un contenedor marítimo con un precableado y de un preconectado de los componentes electromecánicos de tal forma que su instalación no requiera de mano de obra calificada y sea rápidamente ejecutada con un tiempo estimado de 2 horas (KPN Energy Solutions, 2021).

Estos sistemas modulares móviles son fácilmente montables y desmontables, permitiendo así, su rápida reubicación para su uso conveniente (Ver anexo 2).

### **Protecciones en baja tensión Corriente Alterna**

#### **• Interruptores Termomagnéticos**

Un interruptor termomagnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente en un circuito: el magnético y el térmico. El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga (Gereda, 2017).

El interruptor termomagnético es un elemento de protección, que corta el paso de la corriente eléctrica de un circuito automáticamente frente a una falla. Actúa cuando el flujo de corriente sobrepasa el valor nominal establecido en las especificaciones del equipo.

Se utiliza para proteger las instalaciones eléctricas frente a fallas de:

- Protección contra sobrecarga (**L**): Esta protección actúa en caso de sobrecarga con intervención retardada a tiempo largo inverso, de acuerdo a la norma IEC 60947-2.

- Protección contra cortocircuito selectivo (**S**): Esta función de protección actúa en caso de cortocircuito, con intervención retardada a tiempo corto inverso o a tiempo independiente.
- Protección contra cortocircuito instantáneo (**I**): Esta función de protección actúa de forma instantánea en caso de cortocircuito.

Son de uso obligatorio según lo estipula el Código Nacional de Electricidad del Perú (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

Figura 2.3. Interruptores Termomagnético Baja Tensión Corriente Alterna

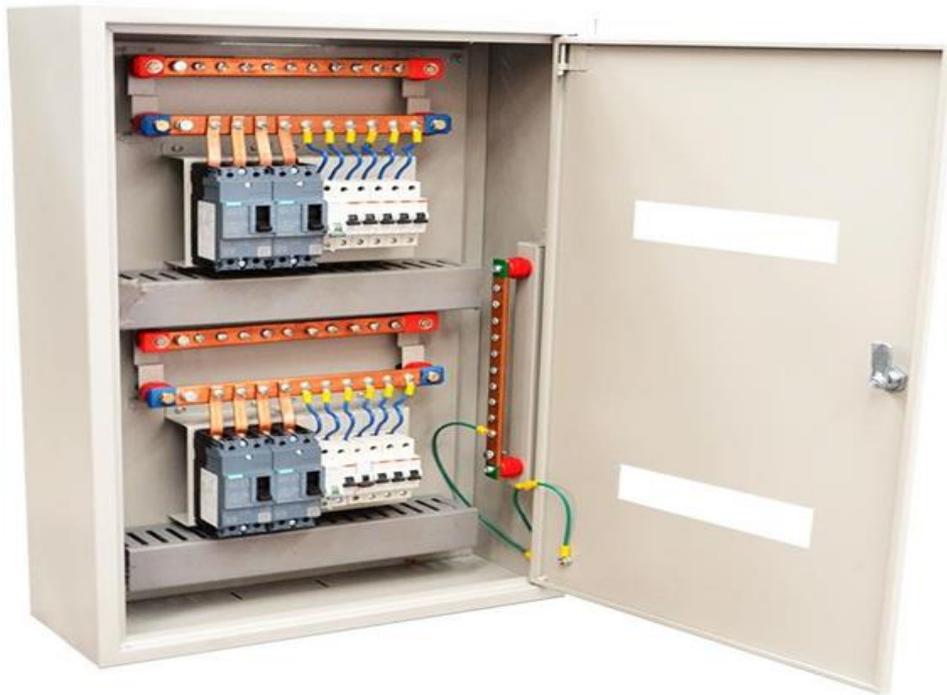


Fuente: Asea Brown Boveri (2015)

#### • **Tablero Eléctrico**

Molina (2020) explica que los tableros eléctricos son equipos pertenecientes a los sistemas eléctricos y están destinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones: medición, control, maniobra y protección. La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados.

Figura 2.4. Tablero Eléctrico Baja tensión



Fuente: IGM (2020)

- **Cable de baja tensión tipo DLO/RHH/RHW-2/RW90**

Lappgroup (2019) indica que es un cable monoconductor, diseñado para aplicaciones de trabajo pesado que requieren cables de alimentación flexibles y resistentes. Su cubierta es resistente al ozono, luz solar, grasa, químicos y abrasión. Se utiliza en instalación portátiles o fijas.

En cuanto a las normas de referencia señala las siguientes:

UL 44, ICEA S-95-658 / NEMA WC70 ICEA – S-75-381 / NEMA WC58, CSA C22.2 No. 38, ASTM B 8, ASTM B 33 AAR MSRP Sección M, RP – 588 RP-586.

Figura 2.5. Cable de Baja Tensión DLO/RHH/RHW-2/RW90



Fuente: LAPPGROUPT (2019)

- **Obra Civil**

La obra civil, está vinculada al desarrollo de infraestructura para la población, donde se aplican nociones de física, la química, la geología y el cálculo para la creación de construcciones relacionadas con el transporte, la hidráulica, etc. Los operarios que trabajan en operaciones de montaje de un módulo de placas fotovoltaicas, deben estar al corriente de la normativa de seguridad a aplicar, los medios y herramientas que son adecuados para este tipo de trabajo, y el equipamiento personal y colectivo con que deben equipar al personal (Roldán, 2013).

En el caso del estudio, se requiere la realización de los trabajos de obra civil siguiente:

- Movimiento de tierras incluyendo la adecuación del terreno, explanaciones hasta dejar a cota la plataforma sobre la que se montara el “modulo fotovoltaico”.
- Arquetas y canalizaciones para el paso de cables.

### **Bombas de calor**

De acuerdo a Rey et al. (2015) una bomba de calor se combina la refrigeración y la calefacción en una sola máquina térmica. En invierno obtiene el calor de un

medio a baja temperatura (el exterior) y lo transfiere a otro que está a mayor temperatura (interior). En verano realiza el ciclo habitual de una enfriadora, trasladando el calor de un foco a baja temperatura (el lugar que quieres climatizar) a un foco de alta temperatura (el exterior del edificio).

## Tipos de bomba de calor

### Aire-Agua

La bomba de calor aire-agua usa también el aire exterior y sigue teniendo las limitaciones de temperatura de exterior que las bombas aire-aire. Se usa en sistemas con un apoyo de otro sistema de calefacción o de agua caliente sanitaria (efENERGIA, 2020).

Este sistema es adecuado en aquellos lugares donde por su rango de temperatura es necesaria la calefacción en invierno y la refrigeración en verano. Al ser usado para generar agua caliente sanitaria (ACS) su rendimiento anual es óptimo.

Figura 2.6. Esquema bomba de calor Aire -Agua



Fuente: Academia DII (2022)

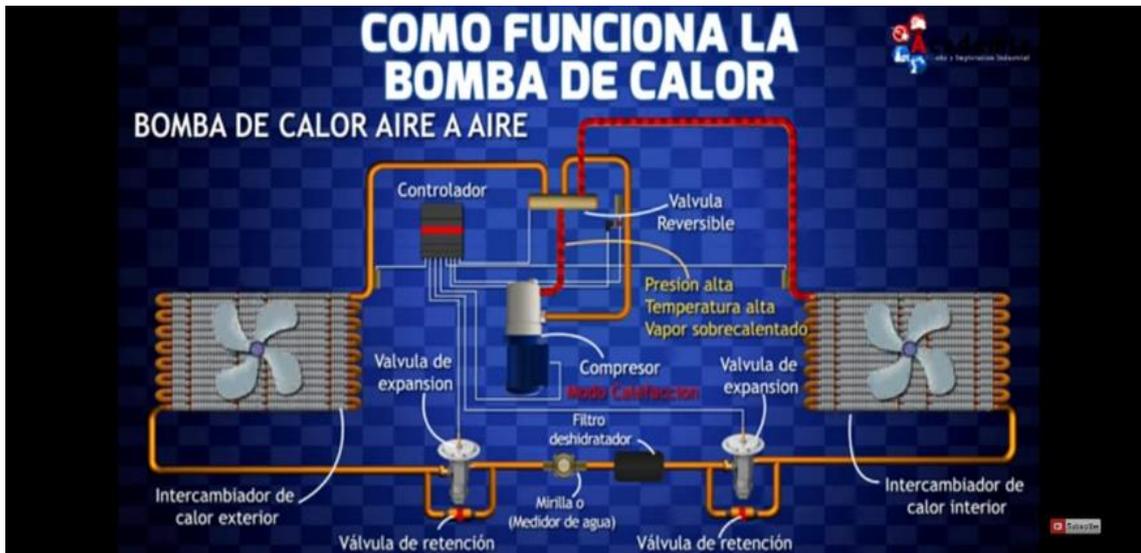
## Aire-Aire

Muy usada en aire acondicionado doméstico puesto que su instalación es muy sencilla y se toma el aire del exterior y del interior como focos. Las unidades tipo split o partido son las más usadas en las viviendas con supervise construidas entre 60-120 m<sup>2</sup> (efENERGIA, 2020).

Se componen de una unidad interior y otra exterior con dos funcionamientos diferentes que aprovechan el cambio de fase del refrigerante:

- Verano: toma el calor del interior y lo transporta al exterior.
- Invierno: coge el calor del aire exterior y lo bombea al interior.

Figura 2.7. Esquema bomba de calor Aire- Aire



Fuente: Academia DII (2022)

## Agua-Aire

El calor se extrae de una fuente de agua constante, pozos o ríos y lo transfiere al circuito de aire. Sólo se pueden instalar en edificaciones con un agua abundante muy próxima (efENERGIA, 2020).

## Lámpara minera

La lámpara minera es un componente vital del equipo de protección personal en minería subterránea y en tunelería. Es útil para alumbrar en el interior de la mina;

actualmente se usa la lámpara eléctrica de acumuladores, se compone de pila, y el foco, instalado este último en el casco, unidos por un cable (Murias, 2010).

Se utiliza en ambientes donde la luz es escasa, y, a veces, la humilde lámpara del minero puede ser la única ayuda visual confiable. Los colaboradores del campamento minero utilizan la lámpara minera WISDOM KL5M. Dicha lámpara cuenta con un novedoso sistema brightness que da mucha más luminosidad logrando llegar a 18000 Luxes con un tiempo de trabajo de 13 horas y cargado de 6 horas (Prosinfer, 2020) (ver anexo 3).

### **Luminarias led**

Un led es un diodo que emite luz, LED (Light Emittin Diode), lo que traducido al español sería 'diodo emisor de luz'. Los ledes empezaron utilizándose para señalización, pero los avances en su utilización le han convertido en la fuente de luz más eficiente y versátil de que se dispone en la actualidad (Alfred et al., 2020).

Fillipo et al. (2010) señala que una bombilla led es una lámpara de estado sólido que utiliza diodos emisores de luz como fuente lumínica. Los diodos tienen la particularidad de que conducen la corriente eléctrica más fácilmente en un sentido que en otro, por ello se les considera elementos direccionales (permiten el flujo de portadores de carga en una sola dirección).

Además, refiere que los beneficios que trae la tecnología de LED para la iluminación son: el menor consumo de energía, menor riesgo eléctrico, mayor velocidad de conmutación, mejor continuidad de operación, mayor duración y manejo del color.

En el campamento minero se utilizan las luminarias led de la marca Philips A21 E27 (ver anexo 4).

### **Estación meteorológica**

Una estación es un conjunto de instrumentos y/o sensores que realizan mediciones de tipo: meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológicas, hidrológicas, de vigilancia atmosférica, los cuales están agrupadas en una

ubicación geográfica con mediciones representativas del entorno. Dichas mediciones son tomadas en superficies y de instalación fija (Senamhi, 2021).

Una estación meteorológica es un conjunto de dispositivos o instrumentos que recoge los datos de distintas variables atmosféricas que son de interés para la meteorología y la climatología. Pueden estar instaladas en cualquier terreno y parte del mundo y como veremos posteriormente existen varios tipos.

En las estaciones, los primeros elementos a instalar son los radiómetros, piranómetros, células, tras los sensores de viento. La radiación incidente será la misma a 1 metro que a 2 o a 3, pero instalándolos en la parte superior, se evita cualquier situación de reflejo sobre el sensor. Cualquier sensor para medir la radiación, debe ir orientado al Sur (al norte en el hemisferio Sur). Montar primero el sensor/es con su placa sobre el soporte utilizando los tres tornillos de nivelación y posteriormente, fijar el soporte al mástil nivelando.

El piranómetro termoeléctrico es el más usado comercialmente, se caracteriza por tener una alta precisión y sensibilidad plana (le afectan en menor medida las condiciones exteriores como nubosidad, contaminación, etc.), por otro lado, no es muy sensible a pequeñas irregularidades en el nivel de radiación debido a la inercia térmica (Quimisur, 2020).

El piranómetro, es el instrumento ideal para mediciones de radiación solar, planificación del riego y automatización de invernaderos. El sensor de radiación solar mide la radiación global, con un amplificador de señal interno y una carcasa impermeable que no requiere mantenimiento solo limpieza incidentalmente del domo de cuarzo (Netafim, 2020).

Los piranómetros, al disponer de una cúpula de cristal, habitualmente irán embalados de forma independiente al resto de componentes de la estación. Si se suministrará, con el conexionado eléctrico ya conectado, de forma que solo haya que conectar manualmente el cable al sensor.

### **Evaluación económica**

Vigo et al. (2018) refiere que los proyectos cuyos beneficios pueden ser expresados en términos monetarios, pueden ser evaluados mediante la

aplicación del método denominado Análisis de Costo-Beneficio. Este análisis se expresa en determinados indicadores de rentabilidad, siendo las más importantes el VAN, la TIR y el IRE para evaluar la viabilidad de una inversión.

### **Valor Actual Neto (VAN)**

El VAN, también conocido como valor presente neto (VPN), es el valor actual de los beneficios netos que genera el proyecto. Mide, en moneda de hoy, cuánto más bienestar económico tendría la sociedad con la ejecución del proyecto, en lugar de colocar su dinero en la actividad que tiene como rentabilidad la tasa de descuento adoptada. La tasa con la que se descuenta el VAN representa el costo de oportunidad del capital (COK), que es la rentabilidad que estaría ganando el dinero de utilizarlo en la mejor alternativa de inversión (Vigo et al., 2018).

El VAN se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Dónde:

$I_0$ : Inversión inicial.

$BN_t$ : Beneficio neto del periodo  $t$ .

$n$ : Horizonte de evaluación.

$r$ : Tasa social de descuento.

El criterio de decisión al utilizar el VAN es el siguiente:

Si el VAN es positivo: es conveniente ejecutar el proyecto.

Si el VAN es igual a 0: es indiferente ejecutar el proyecto.

Si el VAN es negativo: no es conveniente ejecutar el proyecto.

## TIR

Asimismo, Vigo et al. (2018) indica que la tasa interna de retorno, universalmente conocida como TIR, es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea cero. La TIR es un número que no depende de la tasa de interés que rige en el mercado de capitales. Por eso se llama tasa interna de rentabilidad; el número es interno o inherente al proyecto y no depende exclusivamente de los flujos de caja del proyecto. La TIR indica la rentabilidad de realizar un proyecto y la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Su fórmula es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2)$$

Dónde:

VPN: Valor presente neto VAN.

FEt: Flujo de efectivo en el periodo t.

TIR: Tasa interna de retorno.

t: Tiempo

n: Número de periodos.

La regla general de la TIR es:

Se acepta el proyecto si la TIR es mayor que la tasa de descuento.

Se rechaza el proyecto si la TIR es menor que la tasa de descuento.

## CAPEX y LCOE

CAPEX y LCOE constituye una nueva opción para la base de datos *Power Plant Tracker de Enerdata*. Se trata de la herramienta más potente e informativa para tomar decisiones bien fundamentadas a la hora de elegir en qué tecnologías invertir y dónde hacerlo (Enerdata, 2021).

**CAPEX**, Analiza la evolución de los costes instantáneos derivados de la inversión en activos fijos, por tecnologías y desglosados por países o regiones. Así podrá efectuar comparaciones con los costes de sus propios proyectos.

Los costes instantáneos representan la inversión inicial que requiere un activo de generación. Es decir, el coste que acarrea invertir en una planta de generación sin tomar en consideración los costes financieros (tasas de interés) ni la estructura de la financiación (comparativa entre CMPC de la financiación mediante emisión de acciones y los préstamos). Dentro de la economía de la energía, los costos instantáneos representan un concepto común.

### **CAPEX y OPEX**

El acrónimo CAPEX se deriva de la expresión “Gastos de Capital” y, por lo tanto, se desarrolla a los gastos e inversiones asociados con bienes físicos. En otras palabras, es todos los bienes comprados por la empresa. OPEX, por otro lado, significa “Gasto Operativo”. Por lo tanto, se relaciona al costo relacionado con las operaciones y servicios (ABCM, 2021).

**LCOE**, Analiza la evolución de los costes normalizados de la generación de electricidad, por tecnologías y desglosados por países o regiones.

El LCOE (coste normalizado de la energía) representa la suma de los costes de un activo de generación de energía durante su periodo de vida. Se supone que el coste es constante a lo largo de los años y se expresa en USD/MWh o EUR/MWh.

El cálculo del LCOE sirve también para comparar el coste de producir electricidad con distintas tecnologías (Enerdata, 2021).

## **2.3 Marco Conceptual**

### **2.3.1 Sistema fotovoltaico aislado**

#### **A. Definición**

Según Alonso (2002) un sistema fotovoltaico consiste en más cosas que sólo módulos fotovoltaicos que contienen las células. Requiere otros elementos que se conocen genéricamente como BOS. Lo constituyen, típicamente, el acumulador electroquímico en caso de algunos sistemas aislados de la red, la unidad de control y el inversor (equipo electrónico), la estructura mecánica de soporte, el cableado eléctrico y los dispositivos de protección (fusibles, tomas de tierra e interruptores).

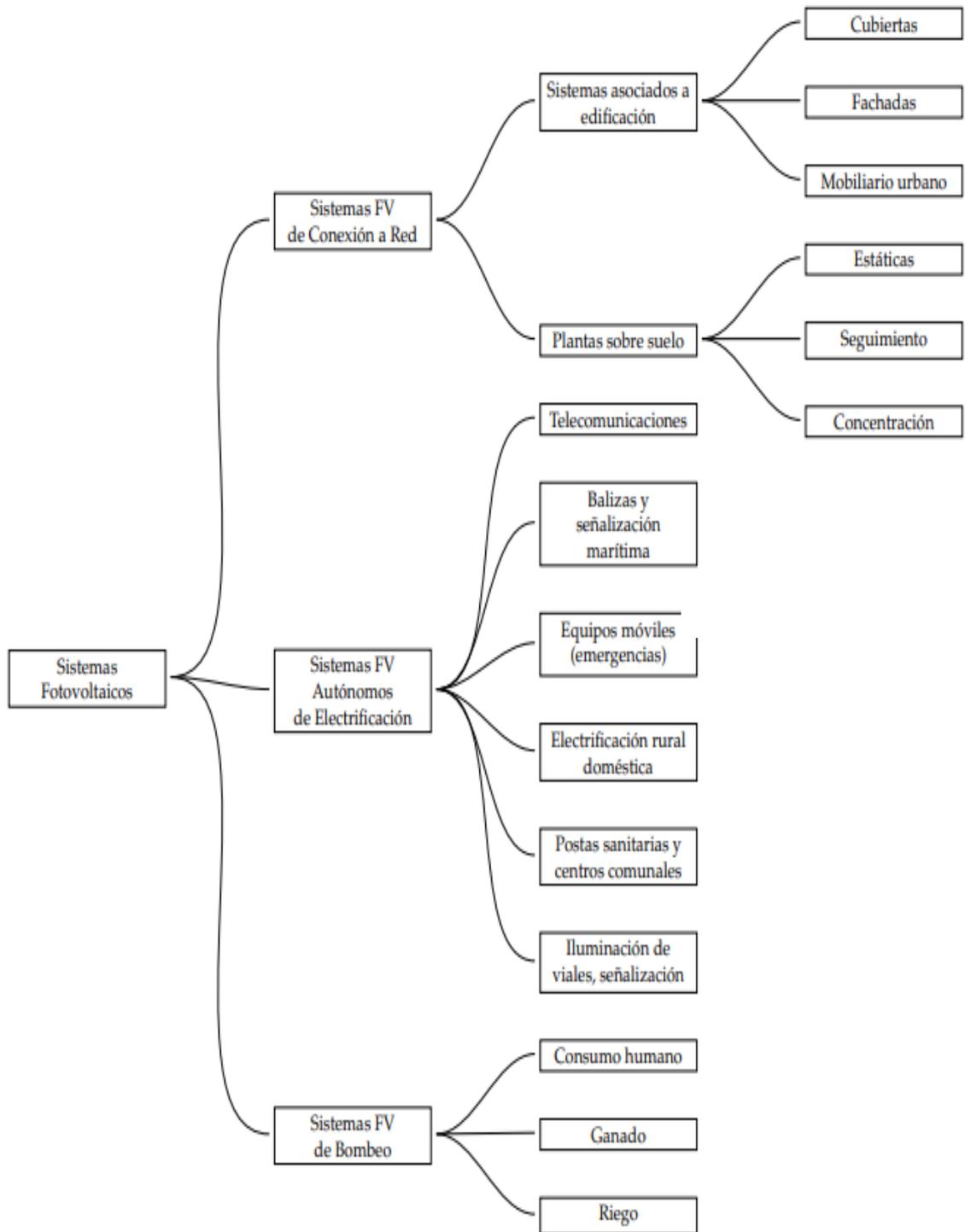
De acuerdo a Petrel (2021), los sistemas fotovoltaicos aislados, son aquellos en los cuales no hay conexión del sistema fotovoltaico a la red y se hace fundamental el uso de baterías, para almacenar la energía que no se utiliza en el día y usarla en la noche.

Coincidiendo con la anterior definición, Schallenbert et al. (2008) define un sistema fotovoltaico aislado como “un sistema autónomo sin conexión a red eléctrica, se puede utilizar en: Zonas rurales que se encuentran aisladas, Áreas de países en vías de desarrollo sin conexión a red eléctrica, para iluminar áreas aisladas y carreteras” (p. 61).

#### **B. Tipos de Sistemas fotovoltaicos**

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grandes grupos: Conectados a red (*grid connected*), autónomos (*off-grid*) y de bombeo.

Figura 2.8. Tipos de sistemas fotovoltaicos

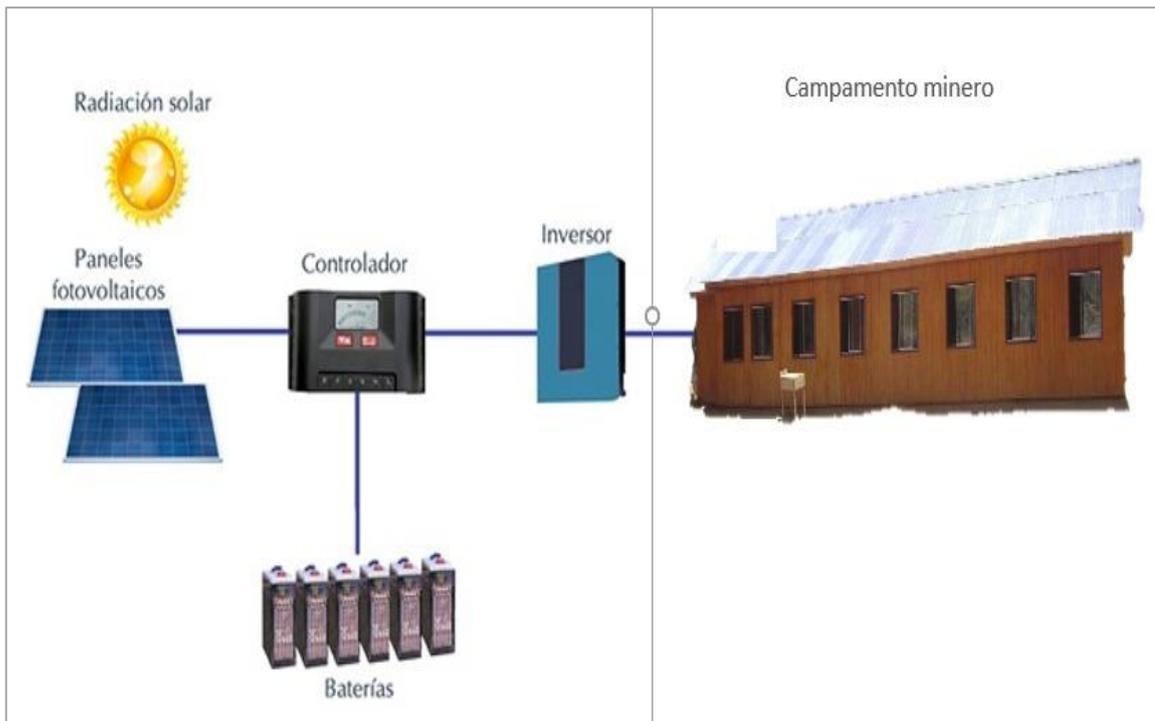


Fuente: Perpiñán (2020)

### C. Componentes principales de un sistema fotovoltaico aislado

Schallenbert et al. (2008) indica que los componentes principales de un sistema fotovoltaico aislado constan de: Módulos fotovoltaicos, Baterías. Reguladores de carga, Inversores”.

Figura 2.9. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado



#### Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos son los encargados de la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Están formados por un conjunto de células fotovoltaicas, que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico. El principio de funcionamiento de este tipo de generación se basa en un proceso químico que transforma la radiación solar en energía eléctrica, donde se obtiene corriente continua (Petrel, 2021).

Los paneles solares fotovoltaicos transforman la radiación solar directamente en electricidad. Las plantas o centrales solares fotovoltaicas están constituidas por una serie de paneles fotovoltaicos conectados en serie y/o en paralelo, que vierten la electricidad producida a la red eléctrica (Schallenbert et al., 2008).

### **Cálculo del número mínimo de captadores necesarios.**

Según Castejon (2010) para evitar sobredimensionar la generación se comprobará que con la potencia máxima del módulo que no se sobrepasa el 20% de la  $E_{elec}$  entonces tendremos la siguiente desigualdad:

$$\frac{E_{elec}}{HSP} \leq P_G \leq 1,20 \times \frac{E_{elec}}{HSP} \quad (3)$$

Sabiendo que:  $P_G = N_{mf} \times P_{pico}$

Considerar:

$N_{mf}$ : Número mínimo de generadores fotovoltaico

$E_{elec}$ : Consumo de energía eléctrica (kWh/día)

$HSP$ : Hora Solar Pico (h)

$P_{pico}$ : Potencia pico del generador fotovoltaico (W)

### **Cálculo del número de módulos conectados en serie**

Para este cálculo consideraremos la siguiente formula:

$$N_{smf} = \frac{V_T}{N_{smf}} \quad (4)$$

Donde:

$N_{smf}$ : Número de paneles en serie

$V_T$ : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico

$V_{mf}$ : Tensión nominal de un módulo fotovoltaico

### **Cálculo de ramas conectadas en paralelo**

$$N_{pmf} = \frac{N_{mf}}{N_{pmf}} \quad (5)$$

Donde:

$N_{pmf}$ : Número de ramas en paralelo

$N_{mf}$ : Número de módulos fotovoltaicos

$N_{pmf}$ : Número de módulos fotovoltaicos en serie

## **Baterías**

Las baterías tienen como objetivo acumular la energía eléctrica generada por las placas solares para suplir la demanda durante la noche o en momentos que se presenten variaciones del recurso solar (Baselga, 2019).

## **Reguladores o controlador de carga**

Su función es proteger la batería para que no entre en situaciones de comportamiento extremo que puedan llegar a dañarla. Su funcionamiento consiste en tomar información del estado de carga del sistema, por ejemplo, usando el voltaje de la batería, y compararlo con los valores mínimos y máximos admisibles para que la batería solar no entre en procesos de sobrecarga o descarga extrema que puedan dañarla (Baselga, 2019).

## **Tipos de reguladores de corriente eléctrica MPPT y PWM.**

En el mercado destacan los reguladores de carga MPPT y los reguladores de carga PWM.

Los reguladores MPPT maximizan su corriente a la salida de las baterías. Son capaces de adaptar la entrada fotovoltaica a la tensión de las baterías. Esto lo que permite es hacer funcionar la placa solar en su punto de máxima potencia para así obtener la máxima eficiencia de producción en cada instante (AutoSolar, 2021).

- Los reguladores MPPT se dimensionan dependiendo de la potencia fotovoltaica y la tensión de las baterías.
- Se averían cuando se sobrepasa la tensión máxima de entrada fotovoltaica.
- Pueden trabajar con paneles de 36 células, 72 células y paneles de conexión a red.

Los reguladores PWM únicamente pueden ser utilizados si la tensión de las placas solares y las baterías es la misma, es decir, si los paneles son de 24V y las baterías también. Si los paneles fueran de 24V y las baterías de 12V la única opción posible sería un regulador de carga MPPT (AutoSolar, 2021).

- Los reguladores PWM se caracterizan por tener un precio inferior a los reguladores MPPT.
- Se dimensionan dependiendo de la intensidad máxima de las placas y la tensión de las baterías.
- Se averían al sobrepasar su intensidad nominal.
- Solo pueden trabajar con placas de 36 y 72 células, es decir, módulos de 12V y 24V.

### **Dimensionamiento del regulador.**

Ahora determinaremos los parámetros respecto del regulador/controlador:

#### **Cálculo de la Máxima corriente que debe soportar el regulador**

Para eso usaremos la siguiente ecuación:

$$I_{REG} = 1,25 \times I_{ccmf} \times N_{p_{mf}} \quad (6)$$

Donde:

$I_{REG}$ : Corriente máxima que debe soportar el regulador (A)

$I_{ccmf}$ : Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico (A)

$N_{p_{mf}}$ : Numero de ramas conectadas en paralelo

#### **Cálculo del número de reguladores**

Usaremos la siguiente expresión:

$$N_{p_{REG}} = \frac{I_{REG}}{I_{reg}} \quad (7)$$

Donde:

$N_{p_{REG}}$ : Número de reguladores

$I_{REG}$ : Corriente máxima que debe soportar el regulador (A)

$I_{reg}$ : Corriente de cada regulador (A)

## **Inversores**

Los inversores son equipos que se encargan de transformar la tensión de entrada DC, producida en una instalación fotovoltaica en una tensión AC, con el objetivo de que los dispositivos conectados por el usuario puedan funcionar de forma correcta (Baselga, 2019).

### **Cálculo de potencia del inversor.**

Se define con la formula descrita a continuación:

$$Potencia_{entrada}^{Inversor} = \frac{Potencia_{carga}}{Rendimiento_{inversor}} \quad (8)$$

## **D. Dimensiones del sistema fotovoltaico aislado**

### **Dimensión 1. Energía solar disponible para la generación**

De acuerdo a Roldán (2018), el sol, es una fuente de energía constante que participa de una manera automática en el funcionamiento y regulación del planeta. La energía solar, es una energía renovable, limpia y gratuita, que está siempre a nuestra disposición, con las restricciones que impone el tiempo que haga (despejado o cubierto) y si se trata del día o de la noche.

### **Niveles de radiación solar global**

Baselga (2019) indica que es “la energía liberada por el sol por medio de una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa del sol la cual se transforma en energía. Este fenómeno presenta varias pérdidas al momento de hacer contacto con los paneles solares ya sea por polvo o por el ángulo de deflexión del panel, entre otros”.

Así existen 3 tipos de radiación:

Radiación directa: Proporciona mayor energía ya que no posee cambios al ingresar a la superficie terrestre.

Radiación difusa: Presenta obstáculos debido a la nubosidad, polución o partículas contenidas en la atmósfera, lo que ocasiona su desviación.

Radiación reflejada: Es la energía que proviene del Sol, que al chocar con la superficie terrestre rebota o se refleja.

### **Potencia eléctrica**

Para el cálculo de la producción energética de una instalación fotovoltaica es fundamental conocer la irradiación solar en el plano correspondiente a la instalación y la trayectoria solar en el lugar en las diferentes épocas del año. La situación del sol en un lugar cualquiera viene determinada por la altura y el azimut del sol (Fonthal et al., 2019).

### **Ángulo de inclinación óptima**

Según Fonthal et al. (2019), el valor de irradiación que incide sobre un módulo fotovoltaico depende de la inclinación que adopte el panel y por lo tanto del ángulo de incidencia  $\theta$  entre la normal a la superficie del módulo y el haz de radiación solar. Si la radiación solar es perpendicular a la superficie del módulo fotovoltaico, la captación de energía será máxima. Para recolectar la mayor cantidad posible de energía se puede recurrir a sistemas de seguimiento del sol para hacer que la superficie de los paneles siempre esté perpendicular a la radiación solar, pero es un sistema costoso que requiere de mantenimiento continuo. Así la orientación del panel puede ser norte o sur, en los países del hemisferio sur se orienta hacia el norte, y su inclinación óptima va a depender de la latitud en la que se encuentre el proyecto.

### **Módulo Fotovoltaico**

El módulo fotovoltaico, es un conjunto de múltiples células fotovoltaicas conectadas entre ellas mismas y alojadas en un mismo marco. Las células fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de intensidad y tensión requeridos, dando forma así a los nodulos fotovoltaicos (Schallenbert et al., 2008).

## **Efecto fotovoltaico**

“Es el efecto que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica” (Schallenberg et al., 2008).

## **Célula Fotovoltaica**

Las células fotovoltaicas son dispositivos, en el cual se lleva a cabo la conversión de luz en energía eléctrica esto gracias a las propiedades de los semiconductores y a las estructuras que extraen los electrones excitados de la célula hacia un circuito externo, realizando así un trabajo (Alonso, 2002).

Las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada “banda de valencia”. Cuando se aplica un cuanto, de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada “banda de conducción”. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso (Alonso, 2002).

### **2.3.2 Suministro de energía eléctrica**

#### **A. Definición**

Es la energía eléctrica obtenida de la transformación de la energía solar mediante las células solares, que forman parte esencial de los sistemas fotovoltaicos que posibilitan el uso de esta energía eléctrica en distintas aplicaciones (Hualpa, 2008, p.27.)

#### **B. Dimensiones**

Dimensión 1. Cálculo de consumo de la energía eléctrica promedio diario según el campamento minero

## **Campamento Minero**

Los campamentos mineros buscan convertirse, actualmente, en lugares donde los colaboradores encuentren bienestar, además de ser un lugar para dormir. Por ello, los proveedores del sector están maximizando el confort y su sustentabilidad.

## **Efecto de la altura en los controladores e inversores del sistema fotovoltaico**

El impacto del comportamiento normal de los controladores e inversores en ubicaciones geográficas de altura es importante. Las siguientes son consideraciones a tener en cuenta para poder funcionar a nivel de la mina Gioconda.

Los componentes electromecánicos, como controladores e inversores, se fabrican normalmente a altitudes de hasta 2000 m.s.n.m., mientras que la mina Gioconda se encuentra a una altitud de 4200 metros sobre el nivel del mar. Por lo tanto, se realiza un derating, o degradación o penalización del rendimiento, para dimensionar correctamente estos elementos del sistema.

El decremento se debe a tres motivos: la tensión aplicada, la altitud de la instalación y la temperatura. A grandes alturas, se producen dos efectos: una disminución de la tensión de ruptura del aislador gaseoso (la tensión de ruptura es función de la presión y de la distancia entre los electrodos) y una disminución de la densidad del aire.

A 5000 metros sobre el nivel del mar, la presión atmosférica es casi la mitad del nivel del mar. El aire tiene masa y una columna de aire de una pulgada cuadrada pesa 14,7 libras a nivel del mar, lo que equivale a 1 atmósfera. La altura de la columna de aire disminuye a medida que aumenta la altura. En otras palabras, el peso es más ligero y la presión obtenida es menor.

Un inversor y/o regulador genera calor debido a las pérdidas internas y necesita que este calor se vaya al ambiente, por eso es necesario de una masa de aire frío actúe como vehículo para la transferencia de calor. Estos elementos contienen un ventilador acoplado para su enfriamiento y la potencia que gasta en impulsar la masa de aire externo es proporcional a la densidad del aire. Por lo tanto, la potencia diseñada para ventilar una cierta masa de aire es insuficiente

a grandes alturas, porque el aire es menos denso y la masa de aire que entra como medio de refrigeración es menor provocando una baja en su eficiencia.

Entonces, al enfriar menos el inversor y/o regulador, si bien gasta menos potencia de ventilación (y disminuye las pérdidas netas en la máquina) no se puede exigir que de él la misma potencia que a nivel del mar, por eso es necesario “castigar” la potencia pico en su dimensionamiento. Similar al uso del factor de derrateo de la potencia de los motores instalados en altura.

De esta forma, al instalar en altura un regulador y/o inversor capaz de entregar una determinada potencia real a nivel del mar, sólo se podrá lograr una potencia menor debido a las limitaciones ya descritas. Con ello, la carga real del regulador/inversor es menor en altura que a nivel del mar, por lo que se tiene que la eficiencia en ambos casos es diferente.

## **2.4 Definición de términos básicos**

### **Fotovoltaica**

Se basa en la producción de energía eléctrica por la incidencia de la radiación solar sobre un material semiconductor.

### **Panel o módulo solar**

Dispositivo semiconductor que recibe los fotones del sol y es el elemento encargado de convertir esa radiación solar en electricidad de corriente continua.

### **Irradiancia solar**

La irradiancia solar o la intensidad de la radiación es la energía radiante por unidad de área por unidad de tiempo que atraviesa una superficie imaginaria de área, perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

## III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 3.1 Hipótesis

#### Hipótesis general

Si se dimensiona un sistema fotovoltaico aislado se logrará suministrar fluido eléctrico al campamento minero Gioconda.

#### Hipótesis específica

1. Si la energía solar disponible medida en niveles de radiación en la zona involucrada es suficiente se cubrirá la energía eléctrica requerida por el campamento minero a través del sistema solar fotovoltaico aislado.
2. Los componentes requeridos por el sistema fotovoltaico aislado son: Módulo fotovoltaico, Regulador, Inversor, banco de baterías y los elementos de protección que permitirán suministrar energía eléctrica al campamento Mina Gioconda.
3. La demanda de energía eléctrica promedio diario podrá ser suministrada de energía eléctrica por el sistema fotovoltaico aislado en el campamento Mina Gioconda.
4. La conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado y por sistema convencional está en función al costo por kWh generado.

#### 3.1.1 Operacionalización de variables

**Variable Independiente:** Dimensionado del sistema fotovoltaico aislado

**Definición:** compuesto por un conjunto de módulos solares que suministran de energía eléctrica al campamento minero.

**Variable Dependiente:** Suministro de energía eléctrica

**Definición:** Flujo eléctrico que el campamento minero necesita para cubrir su demanda de consumo de energía.

Tabla 3.1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	TÉCNICA
VI: Sistema fotovoltaico aislado	Una instalación solar fotovoltaica aislada es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica que proporciona al propietario energía procedente de la luz del sol. Normalmente requiere el almacenamiento de la energía fotovoltaica generada en acumuladores solares -o baterías- y permite utilizarla durante las 24 horas del día. (Hernández et al. 2010, p.17)	Un sistema fotovoltaico es un grupo de equipos eléctricos que convierten la energía de la radiación solar a energía eléctrica, gracias al efecto fotovoltaico. La energía producida es corriente directa y pasa al controlador de energía que la direcciona a las baterías de almacenamiento, luego al inversor que transformará la corriente directa en corriente alterna.	Energía Solar disponible para la generación in situ	Coordenadas geográficas	<i>grados altitud y grados latitud</i>	Observación GPS
				Niveles de radiación solar Global	kW/m2	Documental Registro de radiación solar global (Piranómetro)
				Potencia eléctrica	kW	Documental ficha técnica
				Ángulo de inclinación optima	°	Documental Ficha bibliográfica
			Dimensionamiento y selección de componentes del sistema fotovoltaico	Dimensionamiento y calidad de los paneles solares	kWp	Documental Ficha técnica
				capacidad de acumuladores	A.h	Documental Ficha técnica
				Tipo de regulador/controlador	A	Documental Ficha técnica
				Características del inversor	kW	Documental Ficha técnica
VD: Suministro de energía eléctrica	Es la energía eléctrica obtenida de la transformación de la energía solar mediante las células solares, que forman parte esencial de los sistemas fotovoltaicos que posibilitan el uso de esta energía eléctrica en distintas aplicaciones. (Hualpa, 2008, p.27.)	Es la energía convertida de la radiación del sol en energía eléctrica útil, suficiente para cubrir las necesidades de consumo eléctrico del campamento minero Gioconda durante un determinado periodo.	Cálculo de demanda de la energía eléctrica promedio diario	Potencia eléctrica	kW	Documental Registro de datos
				Máxima demanda	kWh	Documental Registro de datos
				tiempo de consumo de potencia	Hora	Empírica observación
				tipo de corriente	AC/DC	Ficha técnica
			Comparación económica con el actual sistema de generación convencional.	Valor Actual Neto; Tasa de Interna de Retorno	Retorno de Inversión (S/.)	software guía
					energía generada (kWh)	software guía

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1 Diseño metodológico**

El tipo de investigación es tecnológica y el nivel es aplicada.

Espinoza (2014), afirma que “la investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad”. Entonces es tecnológica porque tiene como propósito aplicar los cálculos, parámetros eléctricos y datos meteorológicos para dimensionar un sistema fotovoltaico con el fin de suministrar electricidad a la unidad minera en Ancash. También es aplicada porque tiene como propósito transformar los conocimientos existentes (modelos, teorías) en objetos útiles para la sociedad.

El diseño de investigación del presente proyecto es No experimental.

“En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos” (Hernández et al., 2014). Entonces el proyecto se realizará sin alterar o manipular intencionadamente las variables de estudio. Lo que quiere decir que no habrá intención de manipular la variable independiente.

#### **4.1.1 Parámetro de diseño**

Los parámetros de diseño utilizados en este apartado del Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al campamento minero Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash, se relacionan directamente con las variables de la investigación.

- La energía solar disponible para la generación la obtendremos con la radiación solar en las coordenadas: L, A.

- La potencia pico mínima necesaria del sistema fotovoltaico para suministrar energía continua al campamento minero.
- La conveniencia económica del proyecto y su comparativa respecto de la generación convencional de la mina Gioconda.

#### **4.1.2 Etapas de diseño**

En este apartado contamos con tres etapas tales como **la de recolección de datos**, los **cálculos efectuados en concordancia con los datos disponibles** y **cálculo de la conveniencia económica** de la implementación del sistema fotovoltaico aislado (energía generada y ahorro mensual respecto del sistema convencional).

##### **Recolección de datos**

- A.** Se determina la potencia solar disponible. La cantidad de horas sol pico por cada mes y la inclinación apropiada para lograr captar la máxima energía disponible.
- B.** Se determina la demanda de energía por día del campamento minero a suministrar (Obtención de información de parámetros eléctricos y costos de generación energética).

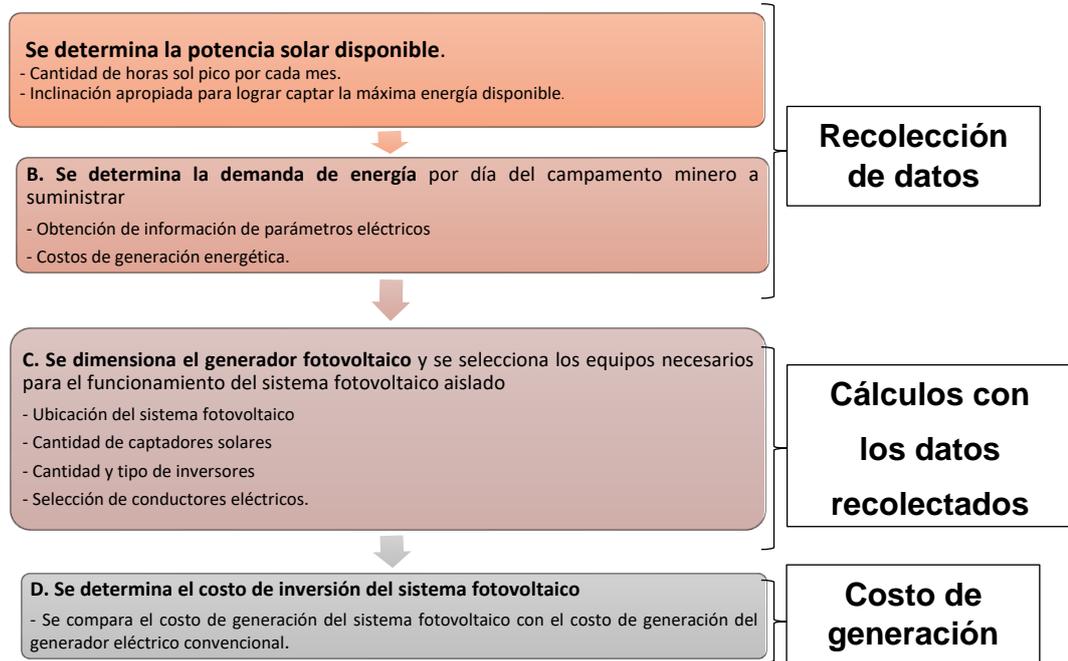
##### **Cálculos efectuados con los datos disponibles**

- C.** Se dimensiona el generador fotovoltaico y se selecciona los equipos necesarios para el funcionamiento del sistema fotovoltaico aislado (ubicación del sistema fotovoltaico, cantidad de captadores solares, cantidad y tipo de inversores, selección de conductores eléctricos).

##### **Costo de generación y conveniencia de económica**

- D.** Se determina el costo de inversión del sistema fotovoltaico y se compara el costo de generación del sistema fotovoltaico con el costo de generación del generador eléctrico convencional.

Figura 4.1. Flujograma de las etapas del sistema fotovoltaico aislado



Fuente: Elaboración propia

### 4.1.3 Ingeniería de detalle

#### Determinación del recurso solar

#### Evaluación de la radiación solar

#### Ubicación Geográfica del sistema fotovoltaico

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el Campamento Minero Gioconda se desarrolló en la provincia de Recuay a 25 Km al sur de la ciudad de Huaraz, Departamento de Ancash a una altura aproximada de 4750 msnm.

Tabla 4.1. Localización geográfica del campamento Mina Gioconda

	Valores
<b>Latitud</b>	-9.741188
<b>Longitud</b>	-77.508318
<b>Elevación</b>	4800 m.s.n.m.
<b>T° promedio</b>	10.32 °C

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo las coordenadas de latitud y longitud del campamento Mina Gioconda haciendo uso del GPS y ubicándolo en el aplicativo Maps de Google. El objetivo de esta recopilación fue obtener mediante el uso de las coordenadas la radiación solar del campamento minero involucrado los diferentes escenarios posibles para alcanzar la producción del sistema fotovoltaico en el peor escenario climático posible (mes crítico).

Esta determinación se hace en base al peor mes, es decir el mes que tiene un menor valor de radiación durante el año, y en base a la tabla de radiación mensual.

Figura 4.2. Ubicación y situación del campamento mina Gioconda



Fuente: Elaboración propia

### **Plano de ubicación de la planta**

La unidad minera cuenta con disponibilidad de terreno para instalar el sistema fotovoltaico.

Figura 4.3. Terrenos disponibles para el sistema fotovoltaico



Fuente: Google Earth

Figura 4.4. Fotografía del campamento mina Gioconda y área designada para la ubicación del sistema fotovoltaico aislado



Fuente: Elaboración propia

## **Descripción de campamento Mina Gioconda**

El campamento minero Gioconda cuenta con un total de 336 m<sup>2</sup>, un área techada de 165.24 m<sup>2</sup>, dividida en 3 bloques 1 para la zona habitacional de 144 m<sup>2</sup>, otro para la cocina y el comedor de 27 m<sup>2</sup> y un último bloque para la oficina del campamento de 18 m<sup>2</sup>.

El campamento minero cuenta con 15 módulos habitacionales que están adecuados para la estadía de los trabajadores siendo 4 personas por modulo habitacional, se tiene un total de 60 personas conviviendo en el campamento minero (ver Anexo 5).

El comedor cuenta con un aforo total de 15 personas el cual se usa por turnos y horarios

- Desayuno: 5 am – 6 am, 7 am – 8 am
- Almuerzo: 12 pm – 1 pm, 1 pm – 2 pm
- Cena: 6 pm – 7 pm , 7 pm – 8 pm

La oficina cuenta con 2 personales a jornada completa (jefe turno y encargado administrativo)

El campamento minero Gioconda cuenta con instalaciones eléctricas que serán alimentadas por el sistema fotovoltaico aislado.

El área disponible para la implementación del sistema fotovoltaico aislado comprende 1 180,46 m<sup>2</sup> de superficie.

## **Evaluación del recurso solar**

En este caso, se utilizan los valores de radiación solar promedio mensual que se encuentran en las siguientes fuentes: Estación meteorológica de la Mina Gioconda (medición in situ), Software METEONORM, Centro de datos de ciencia atmosférica de la NASA.

El fin de estos datos meteorológicos es obtener la radiación solar disponible en el emplazamiento donde se ubicará el sistema fotovoltaico aislado.

La unidad minera cuenta con una estación meteorológica para medir: Velocidad del viento (Km/h); Precipitaciones(mm); Radiación solar global (W/m<sup>2</sup>); Índice UV. La estación meteorológica esta provista de los instrumentos adecuados para realizar observaciones del tiempo atmosférico, tales como pluviómetro, termómetro, anemómetro, veleta, piranómetro, y un sensor de radiación UV (Radiómetro). De nuestro interés es la radiación global para determinar el recurso solar disponible.

Se contó con información del piranómetro, LPPYRA03 de la marca Deltaohm, que ha tomado datos en periodos de 15 minutos desde el 1/01/2021 con 00:00:00 horas hasta el 31/12/2021 con 23:45:00 horas.

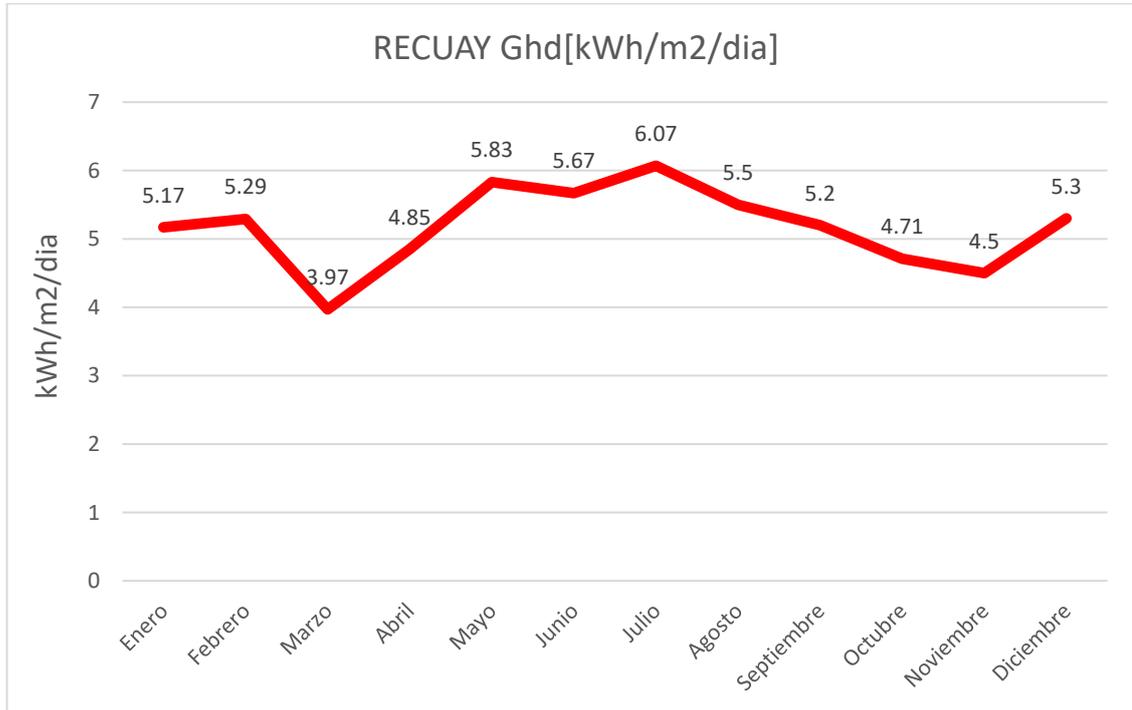
Tabla 4.2. Radiación mensual proporcionada por la unidad minera en la Mina Gioconda

<b>MES</b>	<b>RECUAY Ghd[kWh/m<sup>2</sup>/día]</b>
Enero	5.17
Febrero	5.29
Marzo	3.97
Abril	4.85
Mayo	5.83
Junio	5.67
Julio	6.07
Agosto	5.5
Septiembre	5.2
Octubre	4.71
Noviembre	4.5
Diciembre	5.3
Annual Average	
<b>Menor Ghd</b>	<b>3.97</b>

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los datos brindados.

De la Tabla 4.2 se considera que el menor de esos valores de radiación solar es de 3,97 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Gráfico 4.1. Estadístico de la Radiación mensual en la Mina Gioconda



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.1 notamos que el mes crítico es marzo, con 3,97 kWh/m<sup>2</sup>/día y el mes de mayor radiación es Julio con 6,07 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### Datos de Software MeteoNORM

Los siguientes datos fueron obtenidos mediante el software MeteoNORM y se importó los datos de radiación mensual del año 2021 que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Radiación mensual en las coordenadas de la Mina Gioconda

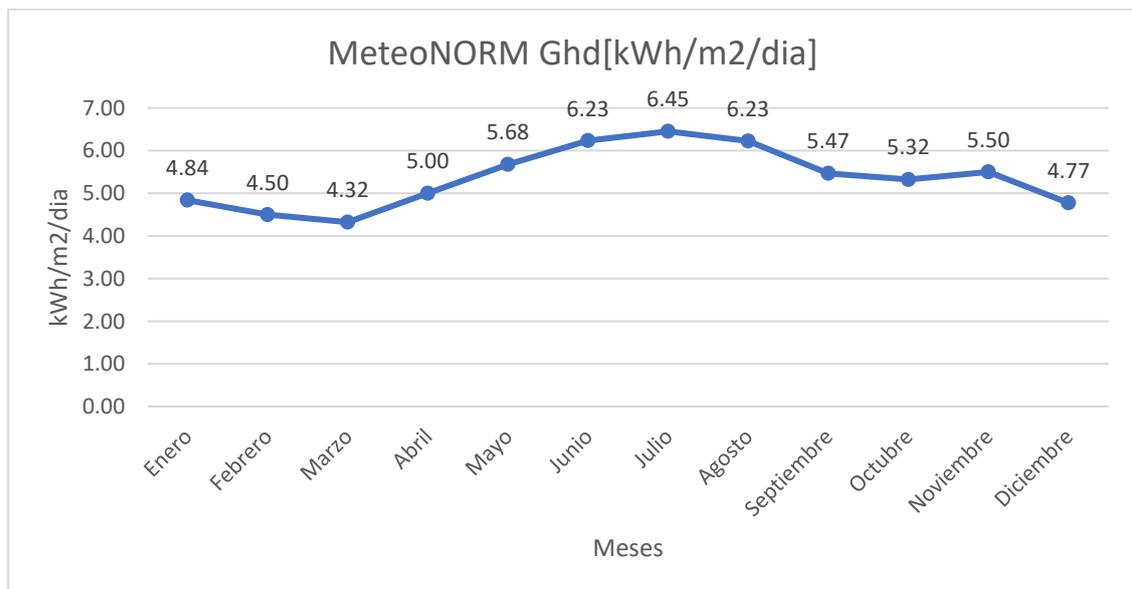
MES	Gh[kWh/m <sup>2</sup> ]	Días al mes	MeteoNORM Ghd[kWh/m <sup>2</sup> /día]
Enero	150	31	4.84
Febrero	126	28	4.50
Marzo	134	31	4.32
Abril	150	30	5.00
Mayo	176	31	5.68
Junio	187	30	6.23
Julio	200	31	6.45
Agosto	193	31	6.23
Septiembre	164	30	5.47
Octubre	165	31	5.32
Noviembre	165	30	5.50
Diciembre	148	31	4.77
<b>Menor Valor de Ghd</b>			<b>4.32</b>

Fuente: Software Meteonorm (2022)

De la Tabla 4.3 se considera que el menor de esos valores de radiación solar en la ubicación de la Mina Gioconda es de 4,32 kWh/m<sup>2</sup>/día.

A partir de los datos anteriores confeccionamos el siguiente gráfico, con lo cual obtenemos la radiación solar promedio diaria.

Gráfico 4.2. MeteoNORM Ghd[kWh/m<sup>2</sup>/día]



Fuente: Elaboración propia en base al software MeteoNorm

## Datos de la Nasa

Con los datos de latitud y longitud de la tabla 4.1., obtenidos del GPS, ingresamos a la página de la NASA y valiéndonos de la herramienta virtual que proporciona los promedios de radiación solar mensual para una data configurada en 25 años, tal como se muestra en la siguiente tabla 4.4.

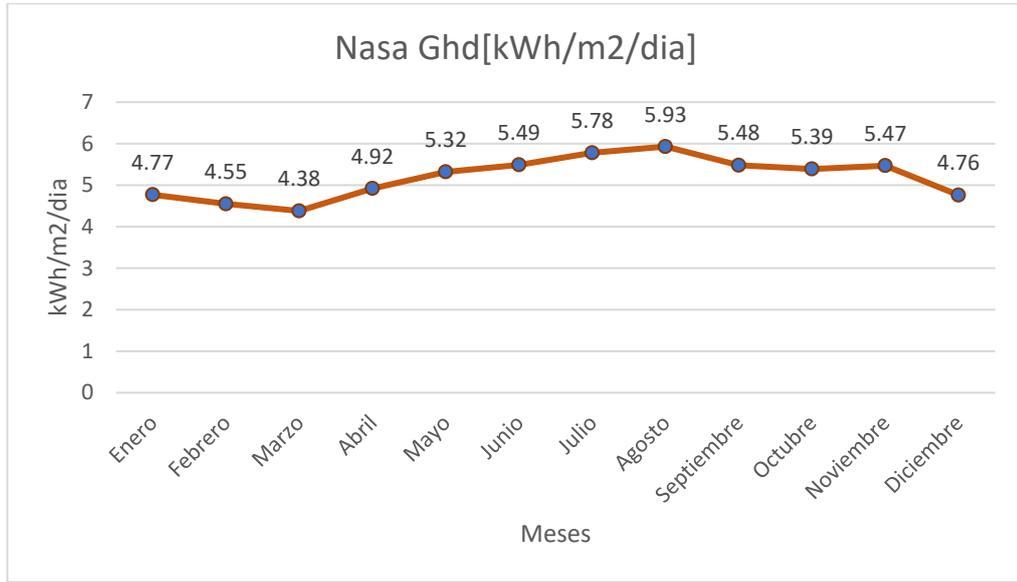
Tabla 4.4. Radiación

<b>MES</b>	<b>Nasa Ghd[kWh/m<sup>2</sup>/día]</b>
Enero	4.77
Febrero	4.55
Marzo	4.38
Abril	4.92
Mayo	5.32
Junio	5.49
Julio	5.78
Agosto	5.93
Septiembre	5.48
Octubre	5.39
Noviembre	5.47
Diciembre	4.76
Annual Average	4.08
<b>Menor Ghd</b>	<b>4.38</b>

Fuente: NASA (2022)

La radiación solar menor de los datos proporcionado para la ubicación del campamento mina Gioconda es de 4,38 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Gráfico 4.3. Radiación solar según la NASA

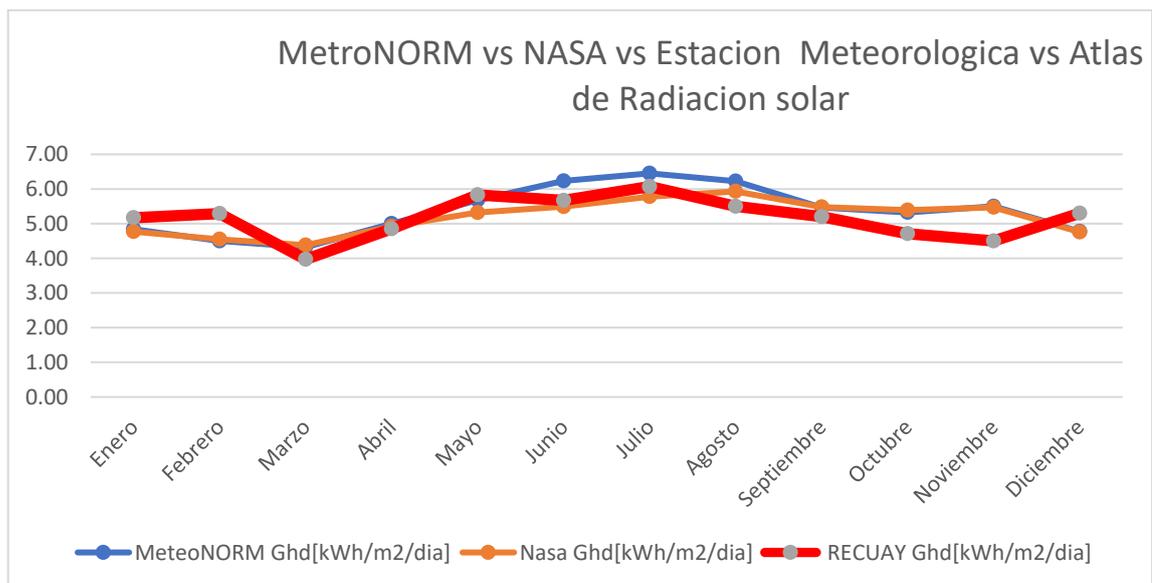


**Comparativa final de los datos de radiación solar de diferentes fuentes.**

De la comparación de las fuentes mencionadas líneas arriba obtenemos el siguiente grafico comparativo, tal que consideramos la menor radiación de entre estas fuentes para obtener un dimensionamiento en la peor situación climatológica para generar energía.

Comparando tenemos:

Gráfico 4.4. Comparación de datos METEONORM-NASA-ATLAS SOLAR



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4.4. notamos una tendencia de las líneas de radiación a conservar sus formas para distintas fuentes, lo que nos da confiabilidad en el tiempo, es decir, se puede esperar poca variabilidad y que la radiación conserve su forma.

En conclusión, de la Figura 4.5., la radiación solar que se considera en la Mina Gioconda es de 3,97 kWh/h/día en el mes de marzo, que es el valor que se considera para el dimensionamiento.

Por lo tanto:

Figura 4.5. Radiación solar

Radiación solar considerada en el emplazamiento	3,97	kWh/m <sup>2</sup> /dia
---	------	-------------------------

Fuente elaboración propia

Con la radiación solar hallada podemos determinar las horas solares pico.

$$HSP = \frac{G_{hd}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{3,97 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 3,97 \text{ h} \quad (9)$$

Entonces: HSP=3.97

### **Cálculo de la Demanda de energética**

Para determinar la cantidad de energía requerida por el campamento Mina Gioconda vamos a identificar las cargas eléctricas y como su uso consume la energía.

Los principales usos de la energía son:

#### **-Iluminación de campamentos**

El campamento mina Gioconda cuenta con un total de 31 luminarias led para iluminación, 21 luminarias led para interiores y 10 luminarias led para los pasadizos. (ver anexo 6). El encendido de las luminarias en los pasadizos empieza desde las 6 pm hasta las 6 am. En las habitaciones se considera el uso de las luminarias, desde las 6 pm hasta las 10 pm.

### -Cargadores de celulares

Se considerará la carga de celulares del personal que se encuentra en horas de descanso tanto en turno día como en turno noche. Se estimó un cargador de celular estándar para todos los trabajadores.

La forma de uso y tiempo se determinó según la dinámica de trabajo del campamento siendo así 15 personales en turno día y 15 personales en turno noche.

### -Bombas de calor

En el campamento Mina Gioconda se tiene una bomba de calor marca LASIAN modelo AERIA 5 (ver anexo 7), utilizada durante la noche para la calefacción de la oficina, desde las 00 horas hasta las 6 am.

### -Otras cargas

Se tomó en consideración el uso de cargas menores como parlantes, 1 televisor en la cocina y otros.

A continuación, mostraremos las cargas y determinaremos la máxima demanda necesaria para el campamento mina Gioconda.

Tabla 4.5. Determinación de la máxima demanda

DESCRIPCIÓN	AREA (m2)		Potencia Instalada [W]	Factor de Demanda	Demanda [W]	MD [W]	Horas de uso (hr)	Total horas diarias [kWh]
Primer nivel	182.34							
<b>Área Total</b>	182.34							
<b>CARGAS DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES</b>								
<b>CONSUMO (W) CANTIDAD</b>								
Tomacorriente		17	1000	1.00	1000	<b>1000</b>		
LED	13.5	17	229.5	1.00	229.5	<b>229.5</b>	12	14.754
<b>CARGAS DE CALEFACCIÓN [cargas especiales]</b>								
<b>CONSUMO (W) CANTIDAD</b>								
BOMBA DE CALOR	990	1	990	1.00	990	<b>990</b>	6	5.94
<b>[CARGAS NECESARIAS]</b>								
<b>CARGAS &lt; 1500 W</b>								
CARGADOR LAMPARA	12	60	720	0.5	360	360	5	1.8
CAGADOR CELULAR	10	60	600	1	600	600	2	1.2
CARGADOR LAPTOP	65	2	130	1	130	130	8	1.04
<b>TOTAL POTENCIA INSTALADA</b>			<b>3669.5 W</b>					
<b>TOTAL MÁXIMA DEMANDA</b>						<b>3309.5</b>		<b>24.73</b>
<b>POTENCIA INSTALADA</b>	<b>3669.5</b>		<b>W</b>					
<b>MÁXIMA DEMANDA</b>	<b>3309.5</b>		<b>W</b>					

Carga a suministrar	MD	FS	TOTAL	
	3309.5	0.80	2650.53	W
3.3095	2.65		kw	

Fuente: elaboración propia.

### Dimensionado del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico aislado se dimensionó teniendo en cuenta la demanda de energía del campamento mina Gioconda. Entonces, el suministro eléctrico debe cubrir la demanda total de energía diaria determinada en la Tabla 6 con el valor de 24,73 kWh.

La metodología aplicada en esta tesis sigue el procedimiento propuesto por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en su manual de instalaciones aisladas a la red.

### Elección del tipo de sistema

- *Necesidad de acumulación:* Si, debido a que se va a requerir suministro eléctrico en horas de ausencia solar.
- *Tipo de Corriente:* Teniendo en cuenta las fichas técnicas de los aparatos consumidores de energía, sabemos que los consumos se hacen en corriente alterna a una baja tensión de 230 V. Debido a los bajos consumos del campamento (No se cuentan con muchos aparatos de alto consumo eléctrico) la corriente será monofásica. Según Castejón (2010) “en instalaciones con cargas eléctricas en corriente alterna la tensión nominal del sistema está determinada por el inversor seleccionado”: Diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos e interconectados a la red (p. 18).
- *Tensión nominal para los acumuladores:* De acuerdo a Castejón (2010) debido a que la potencia máxima a suministrar en el campamento Mina Gioconda está dentro del rango de  $1600 < P \leq 3300 \text{ W}$  la tensión nominal de los acumuladores del sistema tomará el valor de 48 V. Porque a esta tensión las secciones de los conductores en corriente continua tienen valores reducidos (p. 198).

Según Castejón (2010) para determinar la **potencia mínima necesaria** debemos considerar las pérdidas de todos los elementos del sistema solar

fotovoltaico (inversor, regulador, baterías, pérdidas de potencia por efecto Joule, etcétera).

El autor recomienda que para simplificar el cálculo de la **potencia mínima necesaria** de los módulos se use un coeficiente que agrupe todas esas pérdidas del sistema (Performance Ratio). Considerando 0,6 como un valor típico para un sistema fotovoltaico con inversor, batería y regulador de carga.

$$E_{elec} = \frac{24,76 kWh}{0,6} = 41,26 kWh \quad (10)$$

La **potencia mínima necesaria** a generar por el sistema fotovoltaico la vamos a denominar **potencia pico**, que según Castejón (2010) es el cociente del consumo de energía diario y la hora solar pico (p.137).

$$Potencia_{pico} = \frac{E_{elec}}{HSP} = \frac{41,26}{3,97} = 10,39 kW \quad (11)$$

### **Cálculo de los generadores fotovoltaicos.**

Los datos necesarios para este cálculo son el consumo eléctrico del campamento mina Gioconda y la radiación solar determinada en la evaluación del recurso solar. El mes de menor radiación recibida en el campamento minero se considera como el periodo de diseño.

Periodo de diseño: Marzo con  $3,9 kW/m^2/día$ .

Para la selección de los módulos fotovoltaicos se hizo un análisis entre los proveedores: AutoSolar, Trina Solar, PanelSolarPerú, NovumSolar, Proviento Solar, Energía Solar Perú. Escogiéndose la marca con menor costo de inversión y menor número de módulos que puedan cubrir la potencia de carga que necesita el sistema. Luego de evaluar las cotizaciones se escogió dimensionar con la marca Jinko Solar Tiger Pro 72HC 530-550 (ver anexo 8).

De los cuales rescatamos los siguientes datos:

Figura 4.6. Análisis entre los proveedores

Especificaciones técnicas del módulo solar Jinko 545 Wp										
Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4	
	JKM530M-72HL4-V	JKM535M-72HL4-V	JKM540M-72HL4-V	JKM545M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Fuente: Jinko Solar

Dimensiones: 2274 × 1134 mm, Área del panel: 2.58 m<sup>2</sup>

$$P_{max} = 545 \text{ W}$$

$$V_{mp} = 40,80 \text{ V}$$

$$I_{mp} = 13,36 \text{ A}$$

$$V_{oc} = 49,52 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 13,94 \text{ A}$$

$$\% = 21,36 \%$$

### Cálculo del número mínimo de módulos necesarios.

Según Castejón para evitar sobredimensionar la generación se comprobará que la potencia mínima necesaria (potencia pico) de los módulos Jinko Solar 545Wp no sobrepasen el 20% de su valor entonces tendremos la siguiente desigualdad:

$$\frac{E_{elec}}{HSP} \leq P_G \leq 1,20 \times \frac{E_{elec}}{HSP} \quad (12)$$

Sabiendo que:  $P_G = N_{mf} \times P_{pico}$

Considerar:

$N_{mf}$ : Número mínimo de generadores fotovoltaico

$E_{elec}$ : Consumo de energía eléctrica (kWh/día)

$HSP$ : Hora Solar Pico (h)

$P_{pico}$ : Potencia pico del generador fotovoltaico (W)

$$\frac{E_{elec}}{HSP} \leq N_{mf} \times P_{pico} \leq 1,20 \times \frac{E_{elec}}{HSP} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{41,26 \text{ kWh}}{3,97} &\leq N_{mf} \times P_{pico} \leq 1,20 \times \frac{41,26 \text{ kWh}}{3,97} \\ 10392,94 \text{ W} &\leq N_{mf} \times P_{pico} \leq 1,20 \times 10392,24 \text{ W} \\ 10392,94 \text{ W} &\leq N_{mf} \times 545 \text{ W} \leq 12471,53 \text{ W} \\ 19,06 &\leq N_{mf} \leq 22,8 \end{aligned}$$

El número mínimo de módulos a usar según la desigualdad es de 19, pero para asegurar que sistema cubra la potencia necesaria se redondea al inmediato superior. Considerándose 20 módulos fotovoltaicos para el sistema fotovoltaico asilado.

Se comprueba que no se sobrepase el 20% del valor de la potencia pico:

$$20 \times 545 \text{ W} < 1,2 \times 10392,94 \text{ W}$$

$$10900 < 12471,528 \text{ Ok.}$$

Se comprueba la tensión de circuito abierto de los módulos fotovoltaicos:

$$U_{G_{oc}} = N_s \cdot U_{oc} = 2 \cdot 49,52 = 99,04 \text{ V}$$

Se comprueba la intensidad de cortocircuito de los módulos:

$$I_{G_{sc}} = N_p \cdot I_{sc} = 20 \cdot 13,94 = 278,8 \text{ A}$$

Se comprueba la tensión máxima de los módulos:

$$U_{G_{mp}} = N_s \cdot U_{mp} = 2 \cdot 40,80 = 81,6 \text{ V}$$

Se comprueba la intensidad máxima de un módulo

$$I_{mp} = 13,36 \text{ A}$$

Se comprueba la intensidad máxima de los módulos:

$$I_{G_{mp}} = N_p \cdot I_{mpp} = 20 \cdot 13,36 = 267,2 \text{ A}$$

Con un área total de  $20 \times 2,578 = 51,57 \approx 52 \text{ m}^2$ , y un peso de 28,9 kg por módulo y un peso total de 578 kg.

Se debe tener en cuenta para los siguientes cálculos que por las condiciones del régimen (potencia máxima a suministrar está en el rango de  $1,6 < P \leq 3,3 \text{ kW}$ ) se recomienda una tensión de trabajo del sistema fotovoltaico a 48 V debido a que, si estos sistemas suministran electricidad a cargas en AC, deben adaptarse al voltaje del inversor seleccionado, por lo tanto se procuró seleccionar un inversor a la tensión recomendada por Castejón.

### **Cálculo del número de módulos conectados en serie**

Para este cálculo consideraremos la siguiente fórmula:

$$N_s = \frac{V_{Trabajo}}{V_{modulo\ fotovoltaico}} \quad (14)$$

Donde:

$N_s$ : Número de módulos fotovoltaicos en serie

$V_{Trabajo}$ : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico

$V_{modulo\ fotovoltaico}$ : Tensión nominal de un módulo fotovoltaico

Reemplazando nuestros valores tendremos:

$$N_s = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}}$$

$$N_s = 2$$

Por lo tanto, el arreglo del sistema fotovoltaico tendrá 2 módulos en serie.

### **Cálculo de ramas conectadas en paralelo**

$$N_p = \frac{N_{mf}}{N_p} \quad (15)$$

Donde:

$N_p$ : Número de módulos fotovoltaicos en paralelo

$N_{mf}$ : Número mínimo de módulos fotovoltaicos

$N_p$ : Número de módulos fotovoltaicos en serie

Resolviendo:

$$N_p = \frac{N_{mf}}{N_p}$$

$$N_{p_{mf}} = \frac{20}{2}$$

$$N_{p_{mf}} = 10$$

Por lo tanto, el arreglo del sistema fotovoltaico tendrá 10 módulos en paralelo.

- **Orientación y ángulo óptimo de operación de los paneles fotovoltaicos (depende del objetivo de la instalación, considerar factor de corrección)**

Si pretendemos maximizar la captación de energía solar, nuestro sistema fotovoltaico aislado se debe orientar de cara al norte porque el Perú está por debajo y muy cerca de la línea ecuatorial, es decir, se encuentra en el hemisferio sur (=180°) y su ángulo óptimo debe rondar por los 10° y 30°.

Para determinar la inclinación óptima de los paneles solares de superficie fija se usa una fórmula basada en el análisis estadístico de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares diferentes. Dicha fórmula posee un valor constante que depende de la latitud de la ubicación del sistema.

$$\beta_{optimo} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \quad (16)$$

Donde:

$\beta_{optimo}$ : Es el ángulo de inclinación óptimo.

$|\varphi|$ : Latitud del lugar sin signo

Entonces:

$$\beta_{optimo} = 3,7 + (0,69 \times |-9,757750|)$$

$$\beta_{optimo} = 3,7 + (0,69 \times 9,757750)$$

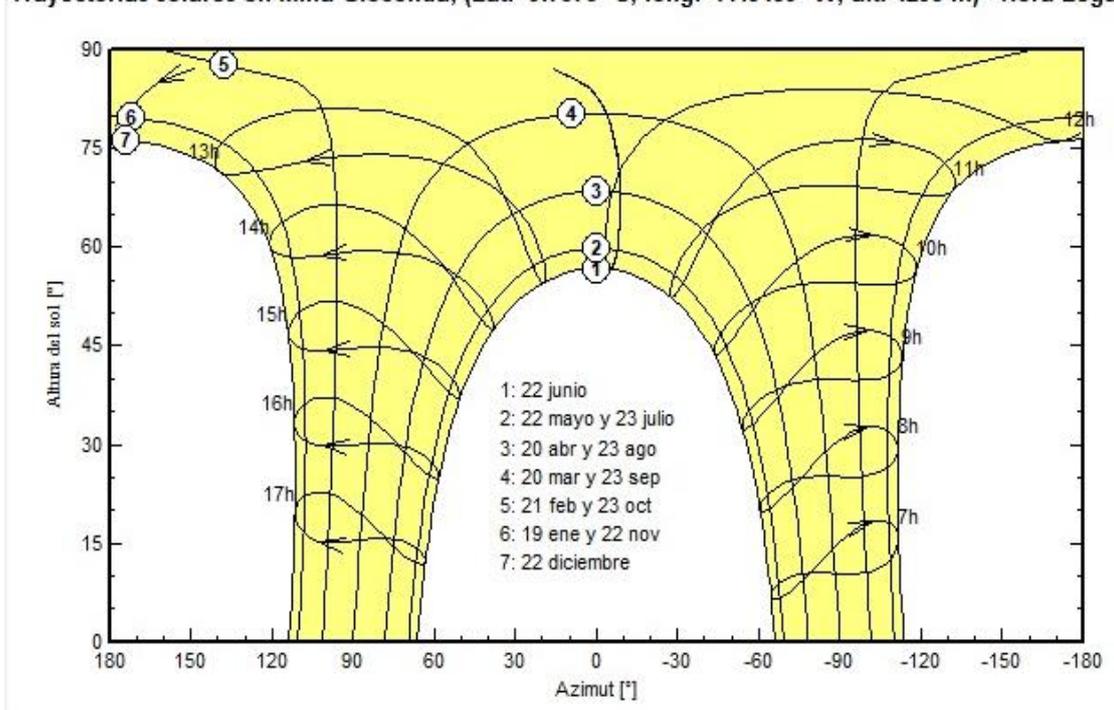
$$\beta_{optimo} = 10,43^\circ$$

Por lo tanto, de acuerdo a la fórmula planteada, el ángulo óptimo es de 10,43° para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día en el periodo

de menor radiación. De acuerdo a Cayotopa (2021) se recomienda una inclinación entre los 10° y 15° grados con la finalidad de que las aguas de las precipitaciones puedan circular adecuadamente sobre la superficie del módulo fotovoltaico, además de evitar la retención del polvo en suspensión. Como nuestro resultado está dentro del rango recomendado por dicho autor, el ángulo de inclinación del sistema fotovoltaico aislado para suministrar energía eléctrica a la mina Gioconda es de 11° con respecto a la horizontal y está orientada de cara al Norte.

Figura 4.7. Trayectorias solares en Mina Gioconda

Trayectorias solares en Mina Gioconda, (Lat. -9.7578° S, long. -77.5459° W, alt. 4295 m) - Hora Legal



Fuente: PVsyst 7.2

### Dimensionamiento del regulador

Se determinan los parámetros del regulador de corriente teniendo en cuenta que la potencia de suministro necesaria por el sistema es de 10,9 kWp, por lo tanto, conviene utilizar un controlador de corriente con rastreador MPPT (seguidor del punto de máxima potencia) para trabajar con una tensión en los módulos fotovoltaicos superior a la del sistema de acumulación o baterías.

## Cálculo de la Máxima corriente que debe soportar el regulador

Para eso usaremos la siguiente ecuación:

$$I_{REG} = 1,25 \times I_{sc_{mf}} \times N_{p_{mf}} \quad (17)$$

Donde:

$I_{REG}$ : Corriente máxima que debe soportar el regulador (A)

$I_{cc_{mf}}$ : Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (A)

$N_{p_{mf}}$ : Numero de ramas conectadas en paralelo

$$I_{REG} = 1,25 \times 13,94 \times 10$$

$$I_{REG} = 174,25 \text{ A}$$

Se considera el ajuste de altitud con un **aumento de 23%** de la corriente máxima determinada, entonces tendremos como valor de corriente máxima:

$$I_{REG} = 1,23 \times 174,25 \text{ A}$$

$$I_{REG} = 214,33 \text{ A}$$

Las condiciones que tiene que cumplir el regulador fotovoltaico para su correcta selección, según Castejón (2010, p. 143), responden a los siguientes cálculos:

**Tensión Nominal  $U_R$ :**  $U_R = 48 \text{ V}$  Ok.

**Intensidad Nominal  $I_R$ :**  $I_R = 1,25 \times 13,94 \times 20 = 348,5 \text{ A}$  Ok.

**Tensión Máxima de entrada  $U_R$**  no debe ser excedida por la tensión máxima del circuito abierto del módulo fotovoltaico a condiciones desfavorables:

$$U_R \geq U_{G_{oc(-10^\circ C)}} = U_{G_{oc}} + \beta(T - 25) \quad (19)$$

de la ficha técnica del módulo fotovoltaico Jinko Solar 545W rescatamos:

$$U_{G_{oc}} = 46,50 \text{ y } \beta = -0,28 \text{ V}/^\circ\text{C}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc(-10^\circ C)}} = 46,50 + (-0,28)(-10 - 25) = 63,3 \text{ V Ok.}$$

Para la selección de los controladores de corriente se hizo un análisis entre los proveedores: AutoSolar, SUN PERÚ, Alibaba.com, NovumSolar, Silo.Tips,

EnergiaSolarPerú. Luego de evaluar las cotizaciones y que sus productos cumplan con  $U_R$ ,  $I_R$  y  $U_R \geq U_{G_{oc}(-10^\circ C)}$  resueltas líneas arriba se escogieron dimensionar con el regulador **SRN solar** de 85<sup>a</sup> (ver Anexo 9).

Tabla 4.6. Especificación técnica del controlador SRNE

Parámetro	Valor del parámetro	
Tipo	MC4885N25	MC48100N25
Voltaje del sistema	0.54 W	
Pérdida del sistema	9V ~ 64V	
Voltaje de la batería	240V	
Máxima tensión del circuito abierto FV	Voltaje de la batería +2 180V	
Corriente de carga nominal	85 100A	100A 100A
Corriente de carga ajustable	0-85A	0-100A
Potencia del panel solar (12 V)	1100W	1320W
Potencia del panel solar (24 V)	2200W	2640W
Potencia del panel solar (48 V)	4400W	5280W
Eficiencia de conversión de carga	</ = 98%	
Eficiencia de rastreo de MPPT	>99%	

Fuente SRNE

### Cálculo del número de reguladores

Usaremos la siguiente expresión:

$$N_{pREG} = \frac{I_{REG}}{I_{reg}} \quad (20)$$

Donde:

$N_{pREG}$ : Número de reguladores

$I_{REG}$ : Corriente máxima que debe soportar el regulador (A)

$I_{reg}$ : Corriente de cada regulador (A)

Reemplazando valores:

$$N_{pREG} = \frac{214,33 \text{ A}}{85 \text{ A}}$$

$$N_{pREG} = 2,52$$

$$N_{pREG} \approx 3$$

El sistema fotovoltaico aislado cuenta con 3 reguladores de 85 A cada uno.

Cálculo de número de ramas de módulos que deben conectarse a cada regulador

$$Ramas\ por\ regulador = \frac{N_{pmf}}{N_{preg}} \quad (21)$$

$$Ramas\ por\ regulador = \frac{10}{3}$$

$$Ramas\ por\ regulador = 3,3 \approx 4$$

Entonces tendremos 4 ramas de módulos fotovoltaicos por regulador.

### **Cálculo de potencia del inversor.**

El inversor que se utilizará en el sistema fotovoltaico será de la marca ABB 3,3 kW. (ver Anexo 10).

Tener en cuenta que el factor de altitud influye en el rendimiento del inversor en **un 23%**.

Consideramos:

$$Potencia_{carga} = \frac{Total\ horas\ diarias\ kWh}{HSP} \quad (22)$$

$$Potencia_{entrada\ Inversor} = \frac{Potencia_{carga}}{Rendimiento_{inversor}}$$

$$Potencia_{entrada\ Inversor} = \frac{6,23\ kW}{0,97 - 0,23}$$

$$Potencia_{entrada\ Inversor} = 8,42\ kW$$

### **Cálculo del número de inversores**

$$Numero_{Inversores} = \frac{8,42\ kW}{3,3\ kW}$$

$$Numero_{Inversores} = 2,551$$

$$Numero_{Inversores} \approx 3$$

Se utilizarán 3 inversores en el sistema fotovoltaico aislado.

### **Dimensionamiento del banco de baterías.**

Se ha optado por configuración básica de almacenamiento que el sistema fotovoltaico use un banco de baterías del tipo mixta o híbrida, es decir contará con arreglos en serie que a la vez estarán conectadas en paralelo.

Tener en cuenta que, en una conexión de baterías en serie, si hay algún cable defectuoso, se daña todo el seriado. Una conexión corroída o sulfatada (común en las baterías plomo-acido) disminuye la eficiencia del banco. Es preferible que las baterías elegidas sean del mismo fabricante, mismo modelo y empiecen a funcionar al mismo tiempo para que tengan la misma vida útil.

En una conexión de baterías tener en cuenta que, si se afecta alguno de los arreglos en conexión paralelo, el banco sufrirá la pérdida de aporte de ese arreglo y afectará su capacidad para cubrir la energía necesaria por el campamento.

### **Características de las baterías seleccionadas**

Por un tema económico optaremos por una batería inundada de plomo-acido. Y asumiremos un día de autonomía para nuestro sistema fotovoltaico.

Entonces:

*Número de días de autonomía = 1*

$$N_D = 1 \quad (23)$$

### **Cálculo de la capacidad mínima del banco de baterías**

Para determinar este valor usaremos la siguiente ecuación:

$$C_T = \frac{N_D \times E_{ELEC}}{P_{Dmax} \times V_T \times n_{inv} \times n_{rb}} \quad (24)$$

Donde:

$C_T$ : Capacidad mínima necesaria para el Banco de Baterías por rama

$N_D$ : Número de días de autonomía

$E_{ELEC}$ : Energía eléctrica total diaria

$P_{Dmax}$ : Profundidad máxima de descarga profunda

$V_T$ : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico aislado

$n_{inv}$ : Eficiencia del inversor

$n_{rb}$ : Eficiencia del conjunto regulador de batería

Reemplazando valores tendremos

$$C_T = \frac{N_D \times E_{ELEC}}{P_{Dmax} \times V_T \times n_{inv} \times n_{rb}} \quad (25)$$

$$C_T = \frac{1 \times \frac{24760}{3}}{0,7 \times 48 \times 0,74 \times 0,8}$$

$$C_T = 316,53 \text{ Ah}$$

Comprobación de la capacidad mínima de necesaria del banco de baterías

$$C_T < 25 \times 9(I_{sc}) \quad (26)$$

Donde:

$I_{sc}$ : Intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico.

Entonces:

$$C_T < 25 \times 9(13,94)$$

$$C_T < 3136,5 \text{ Ah}$$

Sea:

$$C_T = 316,53 \text{ Ah} < 3136,5 \text{ Ah}$$

Se cumple la desigualdad.

Para este apartado se seleccionó la batería TROJAN SOLAR SAGM 12 205 que cuenta con una diferencia de potencial de 12V y una capacidad de 205 Ah (ver Anexo 11).

### **Cálculo de número de baterías en serie**

Para determinar el número de baterías conectadas en serie usaremos la siguiente expresión del libro/autor:

$$N_{s_{bateria}} = \frac{V_T}{V_{bat}} \quad (27)$$

Donde:

$N_{s_{bateria}}$ : Número de baterías conectadas en serie

$V_T$ : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (V)

$V_{bat}$ : Tensión Nominal batería (V)

$$N_{s_{bateria}} = \frac{48}{12}$$

$$N_{s_{bateria}} = 4$$

### **Cálculo de numero de baterías en paralelo**

Para determinar el número de baterías conectadas en paralelo usaremos la siguiente expresión del libro/autor:

$$N_{P_{bateria}} = \frac{C_T}{C_{bat}} \quad (28)$$

Donde:

$N_{P_{bateria}}$ : Número de baterías conectadas en paralelo

$C_T$ : Capacidad total del banco de baterías (Ah)

$C_{bat}$ : Capacidad individual de una batería (Ah)

$$N_{P_{bateria}} = \frac{316,53 \text{ Ah}}{205 \text{ Ah}}$$

$$N_{P_{bateria}} = 1,54$$

$$N_{P_{bateria}} \approx 2$$

### **Cálculo del total de baterías a usar el sistema fotovoltaico aislado**

$$N_{total_{grupo}} = N_{s_{bat}} \times N_{p_{bat}} \quad (29)$$

$$N_{total_{grupo}} = 2 \times 4$$

$$N_{total_{grupo}} = 8$$

Entonces el número total de baterías del sistema fotovoltaico es:

$$N_{total} = 3 \times N_{total_{grupo}} \quad (30)$$

$$N_{total} = 3 \times 8$$

$$N_{total} = 24$$

Por lo tanto, para nuestro sistema usaremos un total de 24 baterías.

### **Cálculo y selección de conductores para el sistema fotovoltaico.**

Procurar que la longitud de los cables sean lo más corto posibles, para disminuir la caída de tensión y se encuentre en los rangos tolerados.

Se va a determinar la intensidad máxima por tramo del sistema fotovoltaico, para los cuales tendremos la siguiente separación:

Panel Solar → Regulador  
 Regulador → Inversor  
 Batería → Inversor

### Determinación de la Intensidad máxima tramo: Panel solar → regulador

Usaremos la siguiente expresión del libro – normativa - autor

$$I_{max_{mf}} = 1,25 \times I_{cc_{mf}} \times N_{ramas\ en\ paralelo} \quad (31)$$

Donde:

$I_{max_{mf}}$ : Corriente máxima de la línea panel solar – regulador (A)

$I_{cc_{mf}}$ : Corriente cortocircuito del panel solar seleccionado

$N_{ramas\ en\ paralelo}$ : Número de ramas de paneles que deben conectarse por cada regulador.

$$I_{max_{mf_{paralelo}}} = 1,25 \times 13,64 \times 4$$

$$I_{max_{mf_{paralelo}}} = \mathbf{68,2\ A}$$

Para la línea de cables conectadas en serie de este tramo:

$$I_{max_{mf_{serie}}} = 1,25 \times I_{cc_{mf}}$$

$$I_{max_{mf_{serie}}} = 1,25 \times 13,64$$

$$I_{max_{mf_{serie}}} = \mathbf{17,05\ A}$$

### Determinación de la Intensidad máxima tramo: regulador → Inversor

Dada la expresión:

$$I_{max_{inversor}} = \frac{1,25 \times P_{inversor}}{V_{minimo\ trabajo} \times n_{inversor}} \quad (32)$$

Donde:

$I_{max_{inversor}}$ : Corriente máxima de la línea Batería – inversor (A)

$P_{inversor}$ : Potencia de cada inversor en servicio continuo (A)

$V_{minimo\ trabajo}$ : Voltaje de trabajo del sistema fotovoltaico (V)

$n_{inversor}$ : Rendimiento del inversor

$$I_{maxinversor} = \frac{1,25 \times (3300)}{48 \times 0.74}$$

$$I_{maxinversor} = \mathbf{68,35 A}$$

Para los siguientes cálculos debemos considerar la siguiente tabla con las caídas máximas de tensión toleradas en un sistema solar fotovoltaico aislado.

Tabla 4.3. Caídas máximas de tensión toleradas

<b>Tramo del sistema fotovoltaico</b>	<b>Caída de tensión máxima</b>
Panel solar → regulador	1% - 3%
Regulador → batería	0.5% - 1%
Batería → inversor	1%
Regulador → inversor	1%
Línea eléctrica	3%

Con esta consideración se calcula la sección mínima del conductor para cada tramo con la siguiente formula:

$$S_{cable} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \quad (33)$$

También calcularemos la caída de tensión para cada tramo así:

$$\Delta V = \frac{V_T \times V_{caida\%}}{100} \quad (34)$$

Donde:

$\Delta V$ : caída de tensión máxima para cada tramo

$V_T$ : tensión de trabajo del sistema

$V_{caida\%}$ : caída de tensión en tanto por ciento para cada tramo.

También calcularemos las secciones mínimas del conductor así:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad ; \quad R = \frac{L}{\sigma \times S} \quad ; \quad R = \frac{\Delta V}{I}$$

$$S = \frac{L \times I}{\sigma \times V} \quad (35)$$

Donde:

$R$ : Resistencia ( $\Omega$ )

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

$L$ : Longitud (m)

$S$ : Sección del conductor

$\sigma$ : conductividad

$\Delta V$ : caída de tensión

$I$ : Intensidad eléctrica

Para aplicaciones como sistema fotovoltaico es usual usar el conductor de cobre, entonces el valor de su resistividad para hilo estirado es de:

$$\rho = 0,01786 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \quad (36)$$

Entonces para mayor practicidad en los cálculos consideraremos:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \text{ luego } \rho = \frac{1}{0,001786} = 56$$

Ahora asumiendo el factor 2 por la distancia real del conductor en su ida y vuelta:

$$S_{\text{cable}} = \frac{2 \times L \times I_{\text{max}}}{\sigma \times V}$$

$$S_{\text{cable}} = \frac{2 \times L \times I_{\text{max}}}{56 \times V}$$

Donde:

$S_{cable}$ : Sección mínima recomendable ( $mm^2$ )

$L$ : Longitud de tramo ( $m$ )

$I_{max}$ : Corriente máxima para cada tramo ( $A$ )

$V$ : Caída de tensión máxima para cada tramo ( $V$ )

Por consiguiente:

**Caída de tensión: Panel → regulador**

$$\Delta V = \frac{V_T \times V_{caida\%}}{100}$$

$$\Delta V = \frac{48 \times 3}{100} = 1,44 V$$

**Sección mínima: Panel → regulador**

$$S_{cable} = \frac{2 \times L \times I_{max}}{56 \times V}$$

$$S_{cable} = \frac{2 \times 8 \times 68,2}{56 \times 1,44} = 13,53 mm^2$$

**Caída de tensión: Regulador → Batería**

$$\Delta V = \frac{48 \times 1}{100} = 0,48 V$$

**Sección mínima: Regulador → Batería**

$$S_{cable} = \frac{2 \times 3 \times 68,2}{56 \times 0,48} = 15,22 mm^2$$

**Caída de tensión: Batería → Inversor**

$$\Delta V = \frac{48 \times 1}{100} = 0,48 V$$

**Sección mínima: Batería → Inversor**

$$S_{cable} = \frac{2 \times 3 \times 68,35}{56 \times 0,48} = 15,25 mm^2$$

Con estos valores podemos seleccionar correctamente el tipo de conductor a usar en el sistema fotovoltaico que será el conductor NYY dúplex: 2—1x25mm<sup>2</sup> para cada tramo en el sistema (Panel-Regulador, Regulador Batería, Batería-Inversor).

Tabla 4.4. Conductores eléctricos NYY

Calibre N° x mm <sup>2</sup>	N°	Espesores		Diámetro exterior mm	Peso (Kg/Km)	Capacidad de corriente (*)		
		Aislamiento mm	Cubierta mm			Enterrado A	Aire A	Ducto A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.9	880	205	175	170

Fuente: INDECO

### Determinación de capacidad de corriente

De la tabla anterior se selecciona el conductor de 25 mm<sup>2</sup> del tipo NYY dúplex, con una capacidad de corriente de operación de 140 A.

Aplicando factor de corrección:

Por temperatura ambiente <42°C: 0,9;

Por agrupamiento de conductores al ambiente: 0.9

Entonces  $140 \times 0,9 \times 0,9 = 113,4 A$

Este valor es mayor que la corriente consumida por la carga para alimentar las corrientes de 68,2 A y 68,5 A.

Tabla 4.5. Selección de conductores eléctricos de tipo NYY para cada uno de los tramos

TRAMO	Tensión del sistema (V)	Corriente Eléctrica (A)	Longitud (m)	Caída de tensión permitida (V)	Sección Teórica (mm <sup>2</sup> )	Sección Seleccionada (mm <sup>2</sup> )
Panel - Regulador	48	68,2	8	1,44	13,53	25
Regulador - Batería	48	68,2	3	0,48	15,22	25
Batería - Inversor	48	68,5	3	0,48	15,25	25

Fuente: Elaboración propia

Con los cálculos realizados se selecciona de manera segura el conductor NYY dúplex de 2-1x25mm<sup>2</sup>.

### **Protección contra las sobretensiones en el sistema fotovoltaico.**

Las instalaciones fotovoltaicas (PV) para la explotación de energías renovables corren un gran riesgo de descargas de rayos debido a su ubicación expuesta y su gran superficie. La consecuencia pueden ser daños en segmentos individuales o el fallo de toda la instalación (Lightning and Surge Protection, 2020).

Las corrientes de rayo y las sobretensiones a menudo causan daños a los inversores y módulos fotovoltaicos. Estos daños suponen un mayor gasto para el operador de la instalación fotovoltaica. No solo hay mayores costos de reparación, sino que la productividad de la instalación también se reduce significativamente. Por lo tanto, una instalación fotovoltaica debe integrarse siempre en la estrategia existente de protección contra rayos y puesta a tierra.

## Elementos de protección

Para evitar estos cortes, las estrategias de protección contra rayos y sobretensiones en uso deben interactuar entre sí. Es por eso que se debe salvaguardar la instalación fotovoltaica de iluminación y protección contra sobretensiones, para eso se selecciona los elementos de protección del sistema fotovoltaico (Lightning and Surge Protection, 2020).

## Protección de los módulos fotovoltaicos

Para proteger las ramas del arreglo de los generadores fotovoltaico (de las corrientes inversas) se opta por fusibles con bases portafusiles seccionables, debido al fácil acceso a la caja de conexiones de los módulos para el mantenimiento (Cieza, 2017)

Figura 4.8. Cartucho fusible calibre 12 A



Fuente: raptorsupplies.es

Figura 4.9. Portafusiles seccionable



Fuente: store.grupocoinp.com

El calibre elegido son biconductores de 12 A donde se tiene:

$$U_F > 1,2$$
$$U_{oc} = 1,2 \times 135,8 V$$
$$V = 271,6 V$$

Modelo PF10 12ª gR

### Interrupor general de los paneles fotovoltaicos

Se pondrá un interruptor por cada grupo de 4 ramas de módulos fotovoltaicos

Tensión asignada	Tensión nominal
$I_n > 10 \times I_{sc}$	$U_F > 1,2 \times U_{Goc}$
$I_n > 10 \times 13,64 A$	$U_F > 1,2 \times 49,27 V$
$I_n > 136,4 A$	$U_F > 59,124 V$

Seleccionamos un interruptor termomagnético de 120 A.

### Protección de baterías

Se pondrá un interruptor por cada grupo de baterías:

Tensión asignada	Tensión nominal
$I_n > 10 \times I_{sc}$	$U_F > 1,2 \times U_{Goc}$
$I_n > 10 \times 13,64 A$	$U_F > 1,2 \times 49,27 V$
$I_n > 136,4 A$	$U_F > 59,124 V$

Seleccionamos un interruptor termomagnético de 120 A.

### Protección del inversor

En esta parte del sistema fotovoltaico se cuenta con corriente alterna y las protecciones contra sobrecargas y cortocircuito se realiza mediante interruptores termomagnéticos y contra contactos directos mediante un interruptor diferencial. Para proteger esta sección se pondrá un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad que debe ser colocada en función del inversor.

$$I_{carga}^{max} = \frac{1,25 \times 3300}{220} = 18,95 A$$

Por lo tanto, seleccionamos un interruptor termo magnético de 20 A y un interruptor diferencial de 25 A.

## Sistema de puesta tierra

Según el área de medio ambiente de la unidad minera involucrada en su estudio de la mecánica de suelo en la mina Gioconda afirma que el tipo de suelo (arcilloso) en la provincia de Recuay tiene una resistividad de 188,49  $\Omega$ .m. Este valor nos indica que se debe optar por un pozo a tierra convencional.

Usaremos una sección mínima de la línea principal de tierra de 16 mm<sup>2</sup> según el Código Nacional de Electricidad (CNE). El sistema de puesta a tierra será de tipo varilla debido a la baja protección y el bajo amperaje. No se añaden aditivos al suelo debido a su resistividad adecuada.

## Metrado y presupuesto

Los siguientes costos se estimaron de acuerdo a las cotizaciones proporcionado por los proveedores del mercado local fotovoltaico.

## Capex

En el estudio se han considerado los gastos en capital o activos fijos necesarios para mantener el sistema fotovoltaico aislado por un periodo de 15 años.

### a) Metrado y presupuesto de los equipos del sistema fotovoltaico

Los precios de los siguientes componentes del sistema fotovoltaico aislado son referenciales y válidos para la fecha de 20 de julio de 2022.

Tabla 4.6. Metrado y presupuesto de equipos del sistema fotovoltaico

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
<b>Sistema fotovoltaico aislado</b>					
FV 1	<b>EQUIPOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CAPEX</b>				
FV 1.1	Módulo Fotovoltaico Jinko Solar 545Wp	u	20	S/ 1,299.99	S/ 25,999.80
FV 1.2	Regulador SRNE SOLAR MPPT	u	3	S/ 1,150.66	S/ 3,451.98
FV 1.3	Acumulador TROJAN de 502 Ah	u	24	S/ 1,025.66	S/ 24,615.84
FV 1.4	Inversor ABB 3,3 kW	u	3	S/ 1,980.09	S/ 5,940.27
FV 1.5	Estructuras de soporte				S/ 8,546.14
FV 1.6	Conductores Eléctricos				S/ 3,500.00
FV 1.7	Puesta tierra	u	1	S/ 1,205.00	S/ 1,205.00
	Subtotal				S/ 73,259.03
	<b>TOTAL SUMINISTRO</b>				<b>S/ 73,259.03</b>

Fuente: Elaboración propia

## b) Medrado y presupuesto del Montaje del sistema

Se consideran los costos de la adaptación del container, adecuación de terreno, y montaje electromecánico.

Tabla 4.7. Medrado del Sistema Fotovoltaico

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
<b>Sistema fotovoltaico aislado</b>					
FV 2	<b>montaje del sistema CAPEX</b>				
FV 2.1					
FV 2.2	Adaptación de container (horas/hombre)	u	24	S/ 80.00	S/ 1,920.00
FV 2.3	Adecuación de terreno	u	8	S/ 80.00	S/ 640.00
FV 2.4	Montaje electromecánico				S/ 3,000.00
	Subtotal				S/ 5,560.00
	<b>TOTAL SUMINISTRO</b>				S/ 5,560.00

Fuente: Elaboración propia

## c) Medrado y presupuesto del Transporte de Materiales

Tabla 4.8. Medrado del Sistema Fotovoltaico

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
<b>Sistema fotovoltaico aislado</b>					
FV 3	<b>Transporte de Materiales CAPEX</b>				
FV 3.1	Transporte de materiales	-	-	-	S/ 9,578.00
FV 3.2	Gastos generales	-	-	-	S/ 10,789.98
	Subtotal				S/ 20,367.98
	<b>TOTAL SUMINISTRO</b>				S/ 20,367.98

Fuente: Elaboración propia

## d) Medrado y Presupuesto TOTAL del sistema fotovoltaico aislado

El CAPEX se determina al sumar los presupuestos del sistema fotovoltaico, montaje de sistema y el transporte de materiales.

Tabla 4.9. Metrado del sistema fotovoltaico aislado

<b>Presupuesto del sistema Fotovoltaico</b>		
<b>ITEM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total (S/.)</b>
FV1	EQUIPOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CAPEX	73,259.03
FV2	montaje del sistema CAPEX	5,560.00
FV3	transporte de materiales CAPEX	20,367.98
	<b>Costo total Sin IGV</b>	99,187.01
	<b>IGV</b>	17,853.66
	<b>Costo total directo en S/. con IGV</b>	<b>117,040.67</b>

Fuente: Elaboración propia

Con un CAPEX de 117 040,67 soles.

### **COMPARATIVA ECONÓMICA: SISTEMA CONVENCIONAL DIESEL VS SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO OPEX**

Son los costos de operación del sistema fotovoltaico aislado, el cual es un valor generalmente bajo para este tipo de sistemas de generación renovable. Según Valdivieso (2014) el mantenimiento de una instalación fotovoltaica no es compleja ya que es una instalación fija y aislada. Se requiere de inspecciones visuales y deben verificar el cableado, las conexiones (pletinas y terminales), comprobar la limpieza y el estado de los módulos, revisar las estructuras de la corrosión, en los acumuladores verificar el nivel de electrolito, comprobando la caída de tensión entre los terminales de los reguladores, revisar el estado de indicadores y alarmas del inversor, verificar el buen estado de la puesta tierra, interruptores termo magnético y fusibles (p. 64).

Tabla 4.14. Costo de operación y limpieza anual del sistema fotovoltaico aislado

<b>Operación y limpieza</b>				
	<b>veces al año</b>	<b>Hora hombre (h)</b>	<b>Costo hora hombre</b>	<b>Costo Anual</b>
Mantenimiento	4	10	S/ 80.00	S/ 3,200.00

Fuente: Elaboración Propia

El costo anual estimado para el mantenimiento es de 3 200 soles.

## Inversión

Los cálculos de presupuesto para el sistema fotovoltaico de la Tabla 4.13. son fundamentales para el cálculo de la inversión total (CAPEX+OPEX). Notamos que los componentes fotovoltaicos representan el 77% del costo total y el otro 23% restante corresponde a los componentes estructurales y costo de instalación. Para el presente sistema fotovoltaico aislado se proyecta un tiempo de vida útil de 25 años. Tomando en cuenta el rendimiento más extenso de todos los componentes del sistema, los captadores solares pueden llegar a los 25 años ininterrumpidos con caída de rendimiento anual del 0.55% aproximadamente. Sin embargo, cabe recalcar el funcionamiento en la mina Gioconda esta proyecta hasta el año 2037, entonces se realizarán los cálculos económicos teniendo en cuenta este tiempo (15 años).

Para proyectar los posibles gastos futuros se evaluará la vida útil (obtenido de las fichas técnicas cada componente involucrado) de los demás componentes del sistema fotovoltaico en función al de los paneles solares, se tiene la tabla 4.15.:

Tabla 4.15. Estimación de sustituciones a realizar en el futuro

Componente	Cantidad	Tiempo de Vida útil (años)	Número de sustituciones para 15 años	Costo
Captadores Solares	20	25	0	S/ 0.00
Baterías	24	8	1	S/ 24,615.84
Regulador	3	10	1	S/ 3,451.98
Inversor	3	10	1	S/ 5,940.27
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 34,008.09</b>

Fuente: Elaboración propia

Asumiremos que el precio de los componentes al momento de sustituirlos será igual al precio de compra inicial. Entonces se plantea la siguiente tabla con las proyecciones debidas. Se asume una tasa de interés anual conservadora del 5%.

Tabla 4.16. Inversión inicial y total para el sistema

	Año	Inversión	Operación	Mantenimiento	Inversión + Mantenimiento	VAN
	1		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 81,662.82
	2		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	3		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	4		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
Costo de operación Sistema fotovoltaico aislado 15 años	5		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	6		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	7	S/ 34,008.09	S/ -	S/ 3,200.00	S/ 37,208.09	
	8		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	9		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	10		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	11		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	12		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	13		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	
	14	S/ 34,008.09	S/ -	S/ 3,200.00	S/ 37,208.09	
	15		S/ -	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17. Costo del sistema fotovoltaico aislado Mina Gioconda

Descripción	Precio S/.
Presupuesto del sistema Fotovoltaico	S/ 117,040.67
Costo de operación del Sistema fotovoltaico aislado en 15 años de operación	S/ 81,662.82
<b>Costo de la Inversión total del sistema</b>	<b>S/ 198,703.49</b>

Fuente: Elaboración propia

### Costo por kWh generado LCOF

#### Energía producida por el sistema fotovoltaico

Según Energya VM (2020), el coste nivelado de energía (LCOE) es el valor actual de construir y operar el sistema fotovoltaico aislado a lo largo de su vida útil que será de 15 años.

$$\frac{\text{Costo total inversión (S/.)}}{\text{Energía generada (kWh)}} \quad (37)$$

Para determinar el costo por kWh generado del sistema fotovoltaico aislado, según Castejón (2010, p. 188), nos basaremos en la información de la radiación

solar disponible medida por la estación meteorológica de la Mina Gioconda por todo el año 2020. Calculamos la energía total generada así:

$$E_{generada} = N_p \times W_p \times G_{(\alpha;\beta)} \times PR \quad (38)$$

Donde:

$E_{generada}$ : Energía total generada

$N_p$ : Número de paneles fotovoltaicos

$W_p$ : Potencia pico del panel fotovoltaico

$G_{(\alpha;\beta)}$ : Radiación solar critica por mes (periodo de diseño)

$PR$ : 0.85 (Eficiencia general de todos los equipos)

Reemplazando valores tendremos:

$$E_{generada} = 20 \times 545 \times 3,9(31) \times 0,85$$

$$E_{generada} = 1\,026\,487,05 \frac{kWh}{mes} \text{ [marzo]}$$

Entonces la energía solar generada por el sistema fotovoltaico en su periodo de diseño [marzo] es de 1 026 487,05 kWh/mes.

Tabla 4.18. Energía solar generada por sistema fotovoltaico

Mes	Np	G <sub>od</sub>	Días	PR	Energía producida (kWh)
Enero	20	5.17	31	0.7652	1,336,760.78
Febrero	20	5.29	28	0.7652	1,235,421.52
Marzo	20	3.97	31	0.7652	<b>1,026,487.49</b>
Abril	20	4.85	30	0.7652	1,213,568.94
Mayo	20	5.83	31	0.7652	1,507,411.10
Junio	20	5.67	30	0.7652	1,418,749.67
Julio	20	6.07	31	0.7652	1,569,465.76
Agosto	20	5.5	31	0.7652	1,422,085.94
Septiembre	20	5.2	30	0.7652	1,301,146.08
Octubre	20	4.71	31	0.7652	1,217,822.69
Noviembre	20	4.5	30	0.7652	1,125,991.80
Diciembre	20	5.3	31	0.7652	1,370,373.72

Fuente: Elaboración propia

En un año el sistema de generación fotovoltaica sería capaz de suministrar un mínimo total de 12 317 849,85 kWh, con un costo total de inversión valorado en 198 703,49 soles. Sin embargo, con el dato de generación podemos proyectar la energía generada a lo largo de los siguientes 15 años con una degradación anual de 0.55% de producción, según la ficha técnica de los módulos fotovoltaicos (ver anexo 12).

Tabla 4.19. Energía solar generada por sistema fotovoltaico a lo largo de 15 años

	<b>Energía generada kWh</b>
1	12,219,307.05
2	12,121,552.60
3	12,024,580.18
4	11,928,383.53
5	11,832,956.47
6	11,738,292.81
7	11,644,386.47
8	11,551,231.38
9	11,458,821.53
10	11,367,150.96
11	11,276,213.75
12	11,186,004.04
13	11,096,516.01
14	11,007,743.88
15	10,919,681.93
<b>Total generado</b>	<b>185,690,672.42</b>

Fuente: Elaboración propia

$$\frac{\text{Costo total inversión (S/.)}}{\text{Energía producida (kWh)}} = \frac{198\,703.49}{185\,690\,672.42} = 0,001146 \text{ Soles/kWh}$$

Con este valor determinamos el costo mes a mes por kWh del sistema fotovoltaico aislado.

Tabla 4.20. Costo de energía producida del sistema fotovoltaico.

<b>Mes</b>	<b>Energía producida (kWh)</b>	<b>Costo</b>
Enero	1,336,760.78	S/ 1,532.0685
Febrero	1,235,421.52	S/ 1,415.9230
Marzo	<b>1,026,487.49</b>	S/ 1,176.4626
Abril	1,213,568.94	S/ 1,390.8777
Mayo	1,507,411.10	S/ 1,727.6517
Junio	1,418,749.67	S/ 1,626.0364
Julio	1,569,465.76	S/ 1,798.7729
Agosto	1,422,085.94	S/ 1,629.8601
Septiembre	1,301,146.08	S/ 1,491.2503
Octubre	1,217,822.69	S/ 1,395.7529
Noviembre	1,125,991.80	S/ 1,290.5050
Diciembre	1,370,373.72	S/ 1,570.5924

Fuente: Elaboración propia

Estos valores serán importantes para proyectar el costo futuro de ambos sistemas de generación en una comparativa económica tal como lo recomienda Calvo (2019).

### **Energía producida por el sistema convencional**

#### **Costo de operación y combustible**

El fin es determinar el costo de operación del grupo electrógeno MODASA.

Según sus datos recabados por el tiempo de un año y detallado mes por mes se muestran los consumos y los costos de la energía producida por el sistema convencional de generación eléctrica en la mina Gioconda.

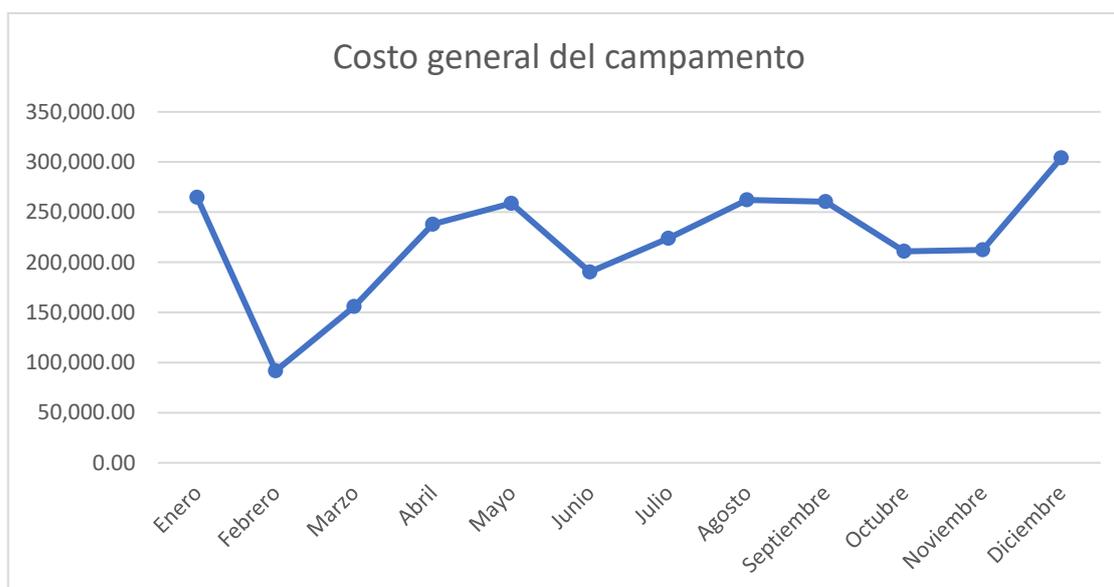
Tabla 4.21. Consumo general Campamento minero

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Consumo de Energía (kWh)</b>	<b>Galones consumidos</b>	<b>precio de galón (S/.)</b>	<b>Costo (S/.)</b>
2021	Enero	111231,50	2732,96	9,7	26509,7
2021	Febrero	69530,72	1708,37	10,1	17254,6
2021	Marzo	87182,65	2142,08	10,8	23134,5
2021	Abril	96665,89	2375,08	10,8	25650,9
2021	Mayo	75271,64	1849,43	10,8	19973,8
2021	Junio	91480,84	2247,69	11,2	25174,1
2021	Julio	92527,48	2273,40	11,5	26144,1
2021	Agosto	89252,45	2192,93	12	26315,2
2021	Septiembre	83351,58	2047,95	12	24575,4
2021	Octubre	86655,88	2129,14	12,5	26614,2
2021	Noviembre	85953,73	2111,89	12,6	26609,8
2021	Diciembre	89932,37	2209,64	12,5	27620,5
2022	Enero	91560,35	2249,64	11,9	26770,7
2022	Febrero	60331,22	1482,34	11,9	17639,8
2022	Marzo	82149,50	2018,42	11,9	24019,1
2022	Abril	89656,62	2202,87	12,2	26875,0
2022	Mayo	90157,47	2215,17	12,2	27025,09

Fuente: Elaboración propia según estados de consumo del campamento minero

En un año el sistema de generación convencional tiene un costo de 295 576,76 soles en combustible diésel 50. El consumo de energía anual es de 1 059 036,74 kWh, por lo tanto, asumiremos un consumo total de 15 885 551,08 kWh de energía a lo largo de la vida útil del proyecto.

Gráfico 4.5. Costo general de energía durante el año 2021 del campamento minero



Fuente: elaboración propia, según los datos proporcionado por la mina Gioconda

### Costos de mantenimiento

Representa el costo de los sueldos del personal a operar el sistema, los recambios, etcétera.

Mano de obra: Se estima un operario que se encargue de la carga de combustible, la supervisión del funcionamiento del sistema convencional.

Tabla 4.22. Costo de mano de obra

Ítem	Horas por día	Horas anuales	costo por hora	Total Anual
Operario	1	365	S/ 10.00	S/ 3,650.00

Fuente: Elaboración propia

Costos de mantenimiento del sistema convencional:

Tabla 4.23. Costo de mantenimiento cada 250 hrs.

ITEM	EQUIPO	NOMBRE	CODIGO INTERNO	CANT IDAD	MARCA	PRECIO
1	MODASA MP-60	FILTRO AIRE PRIMARIO	534615	1	DONALSON	S/ 167
2	MODASA MP-60	FILTRO AIRE SECUNDARIO	534614	1	DONALSON	S/ 110
3	MODASA MP-60	FILTRO DE ACEITE	531445	1	DONALSON	S/ 95
4	MODASA MP-60	FILTRO DE COMBUSTIBLE	534616	1	DONALSON	S/ 193
5	MODASA MP-60	FILTRO SEPARADOR	534617	1	DONALSON	S/ 146
6	MODASA MP-60	ACEITE CAT 15W40	-	5 Gal	CAT	S/ 250
7	MODASA MP-60	TRAPO INDUSTRIAL	501731	1 KG	-	S/ 5
						<b>S/ 966</b>
						<b>S/ 23,184</b>

Fuente: Elaboración propia

El costo del sistema convencional a lo largo de los 15 años de proyección de la mina Gioconda es de:

Tabla 4.24. Costo de operación Sistema convencional

	Año	Inversión	OPERACIÓN	Mantenimiento + mano de obra	Inversión + Mantenimiento	VAN
<b>Costo de operación Sistema convencional en 15 años</b>	1		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	2		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	3		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	4		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	5		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	6	S/ 49,923.00	S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 372,333.75	
	7		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	8		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	S/ 3,411,565.65
	9		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	10		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	11		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	12	S/ 49,923.00	S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 372,333.75	
	13		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	14		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	
	15		S/ 295,576.75	S/ 26,834.00	S/ 322,410.75	

Fuente: Elaboración propia

Entonces el costo por kWh generado por el sistema convencional de generación corresponde al cálculo:

$$\frac{\text{Costo total (S/.)}}{\text{Consumo anual de energía (kWh)}} = \frac{3\,411\,565,65}{15\,885\,551,08} = 0.2148 \text{ Soles/kWh}$$

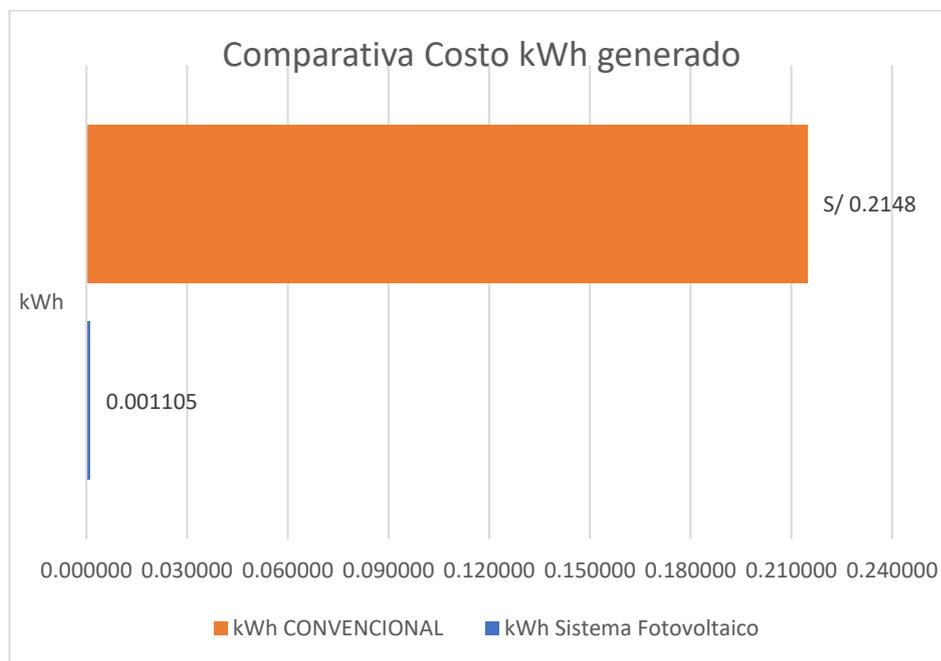
Le energía generada por el grupo electrógeno en funcionamiento pleno por el periodo de un año en el campamento minero tiene un costo por kWh de 0,279 soles/kWh.

### Comparativa Sistema Fotovoltaico vs Sistema convencional (Grupo electrógeno)

El grupo electrógeno durante su funcionamiento tiene un costo de 0,2148 Soles/kWh. El sistema fotovoltaico tiene un costo de 0.001105 soles/kWh.

Por lo tanto, el costo de generación eléctrica entre ambos sistemas es favorable respecto al sistema fotovoltaico aislado.

Gráfico 4.6 Comparativa del costo por kWh generado entre el Sistema fotovoltaico y el sistema convencional de generación en la mina Gioconda



Fuente: Elaboración propia

Ahora podemos proyectar según los datos de consumo y generación los precios futuros y por ende los ahorros generados por el sistema fotovoltaico.

Se aplicará el método de proyección de tendencia con elemento estacional del libro Métodos cuantitativos para los negocios, para un periodo de 15 años, asumiendo el ahorro como un ingreso para ser evaluado en su valor actual neto y su tasa interna de retorno. Se asumen un factor de desgaste del 0,55% anual por parte de los módulos fotovoltaicos, según lo estipulado en su ficha técnica. De la tabla podemos recoger los datos del ahorro anual del costo de servicio eléctrico determinados en el Anexo 13, el cual se asumen como ingreso los flujos

de dinero que dejaría de gastar la unidad minera involucrada al implementar el sistema fotovoltaico aislado. El ahorro anual será afectado por el 40% como ajuste de cobertura del sistema fotovoltaico aislado tal como lo recomienda Salazar (2020).

Tabla 4.25. Ahorro del costo de servicio eléctrico (en soles)

<b>Costo Anual</b>	<b>0.6</b>
277,857.51	166,714.51
285,189.61	171,113.77
298,950.07	179,370.04
311,650.18	186,990.11
324,350.30	194,610.18
337,050.41	202,230.25
349,750.49	209,850.29
362,450.60	217,470.36
375,150.70	225,090.42
387,850.82	232,710.49
400,550.93	240,330.56
413,251.02	247,950.61
425,951.12	255,570.67
460,861.30	276,516.78
473,906.85	284,344.11

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 4.25 se nota que con el sistema fotovoltaico aislado instalado se disminuye los costos por energía eléctrica lo que representaría un ahorro de S/. 3 290 893,15 en un periodo de 15 años.

### **Flujo de caja**

Con los valores del Costo de inversión, costo de mantenimiento e ingresos procedemos a la elaboración del flujo de caja, considerando una tasa de 12%. La unidad minera por decisión de la alta dirección cubrirá el total de la inversión sin ningún tipo de financiamiento.

Tabla 10. Determinación del VAN del Sistema Convencional vs Sistema fotovoltaico

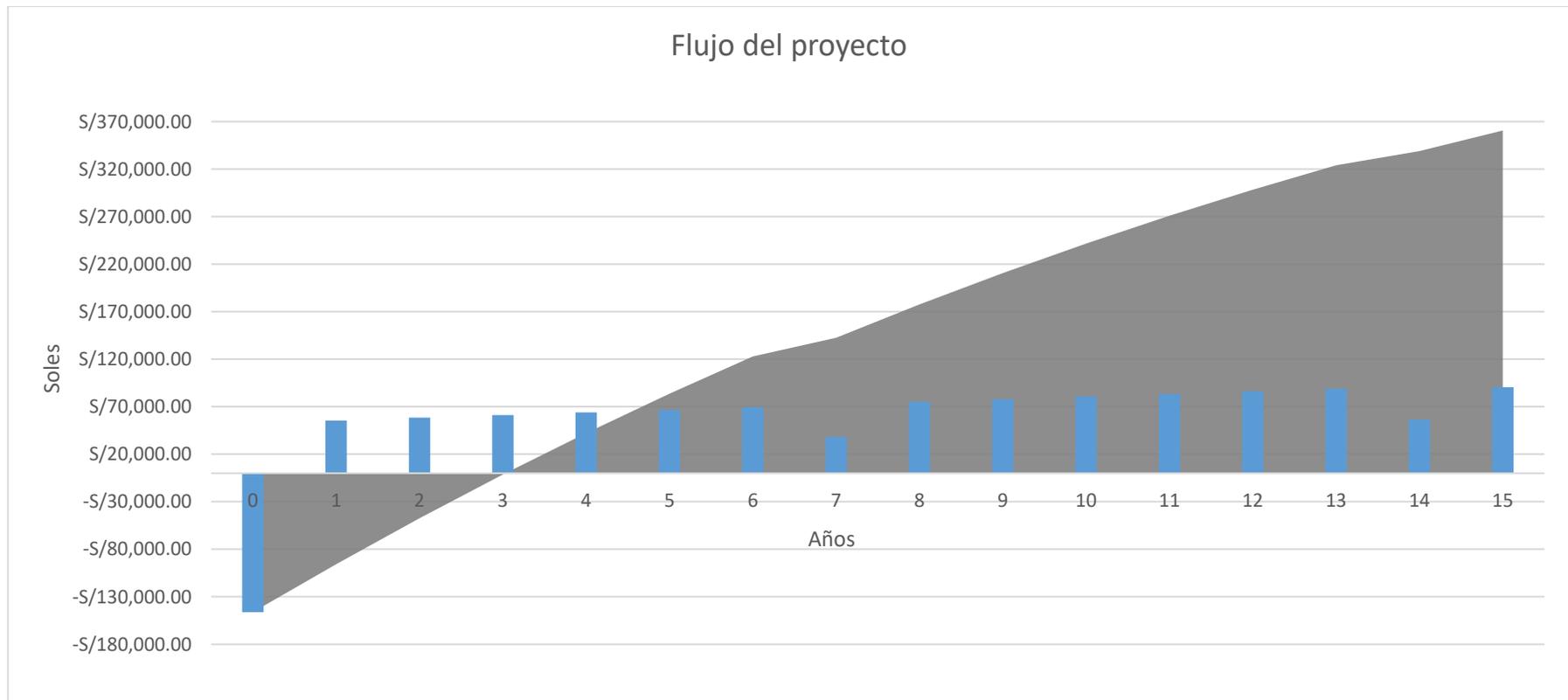
Flujo de caja del sistema fotovoltaico aislado y el sistema convencional de energía																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INGRESOS		S/ 58,655.51	S/ 61,715.61	S/ 64,346.69	S/ 67,130.42	S/ 69,914.16	S/ 72,697.91	S/ 75,481.66	S/ 78,265.42	S/ 81,049.15	S/ 83,832.90	S/ 86,616.64	S/ 89,400.40	S/ 92,184.15	S/ 93,607.85	S/ 93,671.50
Ahorro consumo eléctrico		S/ 58,655.51	S/ 61,715.61	S/ 64,346.69	S/ 67,130.42	S/ 69,914.16	S/ 72,697.91	S/ 75,481.66	S/ 78,265.42	S/ 81,049.15	S/ 83,832.90	S/ 86,616.64	S/ 89,400.40	S/ 92,184.15	S/ 93,607.85	S/ 93,671.50
EGRESOS		S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 37,208.09	S/ 3,200.00							
Inversión	S/ 146,167.98															
Costo de equipo	S/ 117,040.00															
MO	S/ 5,560.00															
Transporte	S/ 20,367.98															
Mantenimiento	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00
Flujo	146,167.98	55,455.51	58,515.61	61,146.69	63,930.42	66,714.16	69,497.91	38,273.57	75,065.42	77,849.15	80,632.90	83,416.64	86,200.40	88,984.15	56,399.76	90,471.50
Saldo Actualizado TASA 12%	-S/ 146,167.98	S/ 50,414.10	S/ 48,360.01	S/ 45,940.41	S/ 43,665.34	S/ 41,424.24	S/ 39,229.76	S/ 19,640.40	S/ 35,018.57	S/ 33,015.64	S/ 31,087.48	S/ 29,237.02	S/ 27,466.10	S/ 25,775.54	S/ 14,851.82	S/ 21,658.16
Saldo Actualizado	-S/ 146,167.98	-S/ 95,753.88	-S/ 47,393.87	-S/ 1,453.46	S/ 42,211.88	S/ 83,636.12	S/ 122,865.88	S/ 142,506.28	S/ 177,524.85	S/ 210,540.49	S/ 241,627.96	S/ 270,864.99	S/ 298,331.09	S/ 324,106.63	S/ 338,958.45	S/ 360,616.61
VNA	S/506,784.59	soles														
VAN	S/360,616.61															
TIR	41.294%	%														
PRI (AÑOS)	3.03	Años														

Fuente: Elaboración propia

Para este escenario el VAN es positivo con un valor de 360,616.6 soles. Es decir, se recupera la inversión del sistema fotovoltaico aislado con sus todos sus costos derivados. Por lo tanto, el proyecto es rentable respecto del actual sistema de generación. Con un TIR de 41%, mayor a la tasa requerida por el inversor del 12%, que cubre y además genera un excedente,

reafirmando la rentabilidad. Un año es el tiempo que se requiere para que la empresa recupere su inversión en el sistema fotovoltaico aislado, cuya proyección es a 15 años, considerando que la vida útil de este tipo de proyectos es de 20 a 25 años.

Gráfico 4.7. Flujo de caja



Fuente: Elaboración propia

## **4.2 Método de investigación**

El método propuesto para la presente investigación es el método sistémico. Según Espinoza (2014) el propósito del método sistémico es estudiar el objeto mediante la determinación de sus elementos (...) para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. El enfoque sistémico resuelve la complejidad de un problema a través de un pensamiento basado en la totalidad.

## **4.3 Población y muestra**

“Se entiende por población el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio". (Arias, 2006, p. 81). Es decir, se utilizó un conjunto de elementos con características comunes que serán objeto de estudio. La población, para este caso, se delimita por el dimensionamiento un sistema fotovoltaico aislado para los módulos de vivienda en el campamento mina Gioconda.

**Población:** Módulos de vivienda del campamento mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash.

Según Bernal (2010) se entiende por muestra a un parte específica de la población de la cual se obtiene información para su estudio y donde se realizarán las mediciones y observaciones de la variable de estudio.

Para la presente tesis la población es igual a la muestra.

## **4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado**

El campamento mina Gioconda está ubicado en la provincia de Recuay, departamento de Ancash.

Referenciado con las coordenadas -9.741188, -77.508318

Figura 4.10. Ubicación geográfica de la Mina Gioconda



Fuente: Tomado de Google Maps (Web: <https://www.google.com/maps>)

#### **4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

Para la recolección de información se aprovecharán los siguientes materiales: computadora portátil (Hoja de cálculo en Excel, Encuesta Google Formulario, Google Earth), GPS, brújula digital, teléfono celular (apuntes, lista Check, fotografías, Software Autodesk AutoCAD 2016), impresora.

Como técnicas aplicaremos la Observación y el análisis documental.

Para obtener los índices de radiación solar se recurrirán a las siguientes fuentes: NASA, Mapa de la energía solar en Perú-Senamhi, estimación de incidencia de radiación solar.

Los datos climatológicos se conseguirán de la estación meteorológica de la empresa Lincuna, en la provincia de Recuay departamento de Ancash.

El área de mantenimiento de la mina Gioconda proporcionará la data de la potencia eléctrica requerida por el campamento, así como la energía diaria consumida.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado se utilizaron: libros, tesis de grado y planos eléctricos de la unidad minera involucrada.

#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

Se realizó las siguientes actividades:

- Visita de campo junto al personal de mantenimiento eléctrico de la mina Gioconda.
- Levantamiento de datos respecto a las cargas eléctricas en el campamento minero.
- Recopilación de los datos de radiación global tratados por la estación meteorológica de la mina Gioconda.
- Se solicitó y se recopiló los datos de costos de combustible del sistema de generación convencional.

El procesamiento de datos estadísticos no aplica porque no trabajaremos con el análisis estadístico.

#### **4.7 Aspectos Éticos en Investigación**

El estudio se desarrollará bajo los principios establecidos en el Código de Ética del investigador de la UNAC (2019), que son:

1. Probidad. Los investigadores actúan siguiendo principios morales y honradez en todas sus acciones de la investigación que desarrollan.
2. El profesionalismo del investigador comprende el ejercicio responsable de los procesos, procedimientos de diseño, desarrollo y evaluación de la investigación en el campo de su ejercicio profesional fundamentándose en el principio de pluralismo.
3. La Transparencia del investigador comprende:
  - a) No falsificar o inventar datos o resultados total o parcialmente
  - b) No plagiar datos, resultados, tablas, cuadros e información de otros autores e investigaciones.
  - c) Citar las referencias o fuentes bibliográficas, datos resultados e información general de otros autores o investigadores
  - d) Respetar los derechos de autoría y de propiedad intelectual de otros autores e investigadores.

- e) La utilización de procedimientos, instrumentos y criterios estandarizados en la emisión de sus resultados, dictámenes, ponderaciones y evaluaciones.
4. La objetividad del investigador comprende la actitud para fundamentar sus estudios, evaluaciones y análisis eliminando todo tipo de sesgo académico, económico, político, laboral, familiar, sus aprehensiones y prejuicios
  5. La igualdad del investigador se fundamenta en el principio del pluralismo para la investigación. Sus propuestas son propositivas y sus proyectos toleran la divergencia y diversidad.
  6. El compromiso del investigador comprende el respeto y la confianza de sus investigaciones, su experiencia y su predisposición con el desarrollo de la ciencia y tecnología para el beneficio de la sociedad.
  7. La honestidad del investigador comprende la honradez, integridad y la rectitud de sus investigaciones respetando la propiedad intelectual y los derechos de autoría.
  8. La confidencialidad del investigador comprende la preservación de los derechos de propiedad intelectual. Mantiene en secreto la información sobre las propuestas, proyectos, información de los resultados obtenidos y no divulgarlos directa e indirectamente.
  9. Independencia, los investigadores actúan en total prescindencia de cualquier indicación o mandato externo sobre la naturaleza o resultados de su investigación
  10. Diligencia, actuar con prontitud y cuidado en el cumplimiento de los objetivos planteados.
  11. Dedicación, actuar con prontitud y cuidado en el cumplimiento de los objetivos planteados
  12. Dedicación, hacer de la investigación científica la actividad principal y emplear en ella el tiempo suficiente para cumplir su labor con eficiencia y eficacia

## V. RESULTADOS

De acuerdo a los cálculos realizados en el apartado de ingeniería de detalle, la propuesta planteada por esta tesis al problema de estudio de la falta de suministro eléctrico en la mina Gioconda es el dimensionado de un sistema fotovoltaico aislado con las siguientes características:

### 5.1 Resultados descriptivos

**-Módulos Fotovoltaicos solares:** Conformado por 20 paneles solares de la marca Jinko Solar de 545 Wp, con voltaje de panel de 24V, tienen una inclinación de 11° respecto al plano horizontal y están orientados hacia el norte.

El área delimitada para el sistema fotovoltaico es de 1 180,46 m<sup>2</sup> de los cuales el área ocupada por los módulos fotovoltaicos es de 52 m<sup>2</sup>.

Las estructuras de soporte de los módulos fotovoltaicos son de acero ASTM A500, grado B 42 ksi, las conexiones son mediante pernos inoxidables ASTM A304, son fijas, sin seguidores solares y se adaptan al techo un container donde se sueldan en arreglos de 20 módulos; se aprovecha el interior del mismo para albergar los demás componentes electromecánicos del sistema (regulador de carga, inversor, banco de baterías).

**-Controlador de Corriente:** conformado por 3 reguladores del tipo MPPT de la marca SRN SOLAR 85A con capacidad de regular 4,4 kWp de potencia de los módulos fotovoltaicos.

El voltaje del arreglo de los paneles que es conectada al controlador es de 48V

#### - Acumuladores de energía o Banco de baterías

El sistema fotovoltaico aislado tiene 26 baterías de 12 V y 205 Ah cada una, cuyo arreglo de conexión es de cuatro en serie y dos en paralelo, para una autonomía de un día de funcionamiento.

-**Inversor:** con un total de 3 inversores de corriente del tipo MPPT, modelo ABB UNO-DM-3,3-TL-PLUS 3,3 to 5kW, de 48V (DC) de entrada y 230V (AC) de salida, con potencia nominal 2kW y potencia pico máxima de 3,5kW

- Se tendrá conectado a cada regulador un arreglo de módulos fotovoltaicos con 2 en serie y 4 en paralelo.

El voltaje del arreglo de los paneles que será conectadas al inversor es de 48V

#### **-Conductores eléctricos del sistema fotovoltaico**

-Las conexiones entre los equipos que conforman el sistema fotovoltaico se representa en el diagrama unifilar (Ver Anexo 19)

#### **-Conductores DC:**

El conductor seleccionado para la conexión del sistema continuo DC, es el cable de NYY dúplex de 16 y 25 mm<sup>2</sup> cobre.

Para el subsistema, desde el sector del campo de módulos fotovoltaico hasta la caja de conexiones de energía continua se utiliza el cable de 25 mm<sup>2</sup>. Para el subsistema desde la caja de conexiones de energía continua hasta el regulador de corriente es un cable de 16mm<sup>2</sup>. Para el subsistema Regulador – Batería se usa un cable de 16 mm<sup>2</sup> y finalmente para el subsistema batería - inversor de corriente será un cable de 16mm<sup>2</sup>.

Según los cálculos realizados el sistema fotovoltaico aislado tiene una capacidad de generación de 10,9 *kWp* que suministra de energía eléctrica al campamento mina Gioconda para cubrir una demanda de 2,61 *kWh/día*.

#### **Costo estimado del sistema fotovoltaico aislado**

Considerando los resultados obtenidos en el dimensionamiento y una vez seleccionado los equipos del sistema se procede a realizar una estimación económica del costo total del proyecto. Teniendo este un costo total directo (considerando CAPEX y OPEX) con IGV incluido de 283 417,33 soles.

### ***Comparativa del sistema convencional vs el sistema fotovoltaico aislado***

El costo de funcionamiento del grupo electrógeno MODASA por kWh generado es de 0,279 soles por kWh producido. El sistema fotovoltaico aislado tiene un costo de 0,018 soles por kWh producido.

Entonces el sistema fotovoltaico tiene un costo económico menor que el sistema convencional de energía.

También se hizo la evaluación de Valor Actual Neto comparativo del sistema convencional y el sistema fotovoltaico aislado con un VAN positivo de 360 616,6 soles una tasa interna de retorno 41,294% para un periodo de recuperación de 3,03 años.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### 6.1.1 Contrastación de la hipótesis general:

- Hipótesis general: “Si se dimensiona un sistema fotovoltaico aislado se logrará suministrar fluido eléctrico al campamento minero Gioconda”.
  - Para el dimensionamiento del presente sistema fotovoltaico aislado, se usaron los datos de radiación solar global y consumo de energía eléctrica ambos proporcionados por la unida minera, esto permitió realizar los cálculos para caracterizar y seleccionar los componentes necesarios del sistema fotovoltaico aislado. El dimensionado del presente sistema fotovoltaico aislado es de 10,9 kWp, y consigue suministrar energía eléctrica al campamento mina Gioconda.
- Hipótesis específica:
  - a. “Si la energía solar disponible medida en niveles de radiación en la zona involucrada es suficiente se cubrirá la energía eléctrica requerida por el campamento minero a través del sistema fotovoltaico aislado”
    - Se procesaron los datos meteorológicos recogidos por la unidad minera obteniéndose una radiación 3,9 kWh/día suficiente para cubrir la energía eléctrica requerida por el campamento mina Gioconda a través del sistema fotovoltaico aislado.
  - b. “Los componentes requeridos por el sistema fotovoltaico aislado son: Módulo fotovoltaico, Regulador, Inversor, Banco de baterías y los elementos de protección que permitirán suministrar energía eléctrica al campamento Mina Gioconda.”
    - Los componentes conforman el sistema fotovoltaico aislado, ya dimensionado, son los módulos fotovoltaicos, el regulador de corriente, el inversor de corriente DC/AC, y los elementos de protección eléctrica permiten el suministro de energía eléctrica en el campamento mina Gioconda.

- c. “La demanda de energía eléctrica promedio diario podrá ser suministrada de energía eléctrica por el sistema fotovoltaico aislado en el campamento mina Gioconda.”
  - De la data proporcionada por la unidad minera respecto a las cargas y los hábitos de consumo eléctrico se dimensiona y seleccionan los componentes, del sistema fotovoltaico aislado, capaces de suministrar la demanda de energía eléctrica en el campamento minero.
- d. “La conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado y por sistema convencional está en función al costo por kWh generado.”
  - Se demuestra la conveniencia económica de sistema fotovoltaico aislado respecto de la generación convencional de energía que viene siendo un grupo electrógeno.

## **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para suministrar **energía eléctrica** a la Mina Gioconda, es comparada con el proyecto de investigación de pregrado del Señor Liberiano con título DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 1MWp CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA INTERNA EN MEDIA TENSIÓN PARA REDUCIR LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA DE LA UNIDAD MINERA ANDALUCITA EN PAITA - PIURA, en el cual no hace un flujo de caja en gasto de CAPEX Y OPEX.

En esta investigación se ha considerado el valor actual neto respecto de la generación convencional de energía eléctrica por un grupo electrógeno, con el fin de reducir los costos por generación y que este resultado motive la implementación de más proyectos fotovoltaicos en el sector de minero en el Perú.

## **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Aquí los autores nos hacemos responsables de la información publicada en esta tesis. Según las normal y condiciones de la universidad nacional del callao y agregamos el consentimiento del Ingeniero asesor (Renzo Vila)

## CONCLUSIONES

En la presente tesis se logró dimensionar un sistema fotovoltaico con una potencia pico en generación de 10,9 kWp, asimismo se realizó los cálculos para seleccionar de los elementos del sistema fotovoltaico, todo ello fue con la ayuda de la información brindada por la Unida Minera, así como también los datos meteorológicos obtenidos del área de medio ambiente de la mina Gioconda.

En el dimensionamiento del sistema fotovoltaico de la presente investigación y considerando los costos de energía eléctrica con el grupo electrógeno MODASA obtenida del área eléctrica de la unidad minera, se asegura un menor costo por kWh consumidos.

Para el proceso de dimensionamiento se ha considerado el mes de marzo por ser el mes que obtiene menor radiación solar (periodo de diseño) con respecto a otros meses, asegurando la generación de energía eléctrica el resto del año.

El Sistema fotovoltaico se encuentra conformado por 20 módulos fotovoltaicos con una potencia pico de 545 Wp, y voltaje en vacío de 24 Vdc.

El arreglo de paneles fotovoltaicos por cada inversor es de 4 módulos en serie, y 2 paneles en paralelo, es decir de 8 paneles por inversor.

Se utilizará 3 inversores de 3,3kW cada uno, ello cubrirá la generación propuesta del sistema fotovoltaico.

Se demuestra que el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado en la mina Gioconda es realizable, con una inversión de S/. 283 417,33 y considerando un periodo de funcionamiento de 15 años. Los valores logrados de estimar el costo de kWh generado son favorables para el sistema fotovoltaico aislado respecto del sistema convencional, con un VAN= 316 616,6 soles, un TIR=41.294% y con un periodo de retorno de 3 años.

## RECOMENDACIONES

A los ingenieros responsables del campamento minero

La falta de red eléctrica en las zonas donde se practica la explotación minera se solucionan usando generadores eléctricos portátiles o estacionarios que consumen diésel, cuyo transporte y almacenamiento requieren un costo cuyo valor tiende a cambiar en el tiempo por motivos coyunturales. Como ya se vio en esta tesis los sistemas fotovoltaicos aislados pueden llegar a ser competitivos a los sistemas convencionales de generación de energía. Por lo tanto, las energías renovables llegan a ser una opción recomendable. Es importante que las empresas analicen la opción de generar (in situ) toda o parte de su energía a base de energías renovables.

La falta de estudios del comportamiento de los equipos electromecánicos a una altura de mayor de los 4000 msnm, da como resultado un sobredimensionamiento, para evitar el recalentamiento de los equipos (baterías, controladores, y en especial el inversor) que se traduce a un mayor costo del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCM. 2021. CAPEX y OPEX. [En línea] 2021. Disponible en: <https://myabcm.com/es/descubra-las-diferencias-entre-capex-y-opex/>.
- ACADEMIA DII. 2022. Explicación de las Bombas de Calor: Cómo funcionan las bombas de calor en los Sistemas HVAC. [En línea]. [Citado el: 16 de Julio de 2022.]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=4jslnzzibg4&t=104s>
- AGROOFERTAS.CO. 2022. Frame Watt. [En línea] 2022. [Citado el: 16 de Julio de 2022.] Disponible en: <https://agrofertas.co/ecosun-innovations-vende-frame-watt/>.
- ALFRED, et al. 2020. *Aplicaciones del Led en diseño de iluminación*. España: Marcombo, 2020.
- ALONSO, J. 2002. *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones, 2002.
- ASEA BROWN BOVERI. 2015. Interruptores automáticos en caja moldeada. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de Julio de 2022.] Disponible en: [https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/newsletters/eppc-news/sace\\_tmax\\_lowres.pdf?sfvrsn=2](https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/newsletters/eppc-news/sace_tmax_lowres.pdf?sfvrsn=2).
- AUTOSOLAR (2021). ¿Regulador MPPT o PWM? [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/regulador-mppt-o-pwm#:~:text=Los%20reguladores%20PWM%20%C3%BAnicamente%20pueden,un%20regulador%20de%20carga%20MPPT>.
- BASELGA, M. 2019. *Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas y sus componentes*. Madrid: Editex, 2019.
- CALVO, W. 2019. *COMPARATIVO COSTO GENERACIÓN DE 1 KW/h POR ENERGÍA SOLAR FRENTE A ENERGÍA DE FUENTE NO RENOVABLE CASO DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA*. s.l.: Universidad Piloto de Colombia, 2019.
- CASTEJON, A. 2010. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Editex, 2010.
- CEPAL. 2021. América Latina y el Caribe tiene todas las condiciones para convertirse en un hub de energía renovable con gran potencial en hidrógeno verde. [En línea] 2021. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/noticias/america-latina-caribe-tiene-todas-condiciones-convertirse-un-hub-energia-renovable-gran>.
- CHAMPOÑAN, A. 2018. *Dimensionamiento de un Sistema de Generación Fotovoltaico Aislado para suministrar Energía Eléctrica a la localidad de Cruz De Pañala-Morrope-Lambayeque*. Lambayeque: (Tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018.

CIEZA, J. 2017. *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para las instalaciones eléctricas de alumbrado en el Hostal Lancelot ubicado en Chiclayo - Lambayeque*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2017.

DE DIOS, P. 2018. *Propuesta de diseño del sistema solar fotovoltaico para el sistema eléctrico en el anexo de Tinco, distrito de Ais, provincia de Yauyos y departamento de Lima*. Huancayo: (Tesis de grado). Universidad Continental, 2018.

EFENERGIA. 2020. ¿Qué es una bomba de calor? [En línea] 2020. [Citado el: 20 de Julio de 2022.] Disponible en: <https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/bombas-de-calor/>.

ELECONOMISTA.ES. 2021. La crisis energética se expande por el mundo: más inflación y presión para las cadenas de suministro. [En línea] 2021. Disponible en: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/11407252/09/21/La-crisis-energetica-se-expande-por-el-mundo-mas-inflacion-y-presion-para-las-cadenas-de-suministro.html>.

ENERDATA. 2021. Módulo CAPEX y LCOE. [En línea] 2021. Disponible en: <https://es.enerdata.net/investigacion/inversiones-capital-capex-lcoe.html>.

ENERGYA VM. 2020. ¿Qué es el Levelized Cost of Energy (LCOE)? [En línea] 2020. Disponible en: <https://www.energyavm.es/que-es-el-levelized-cost-of-energy-lcoe/>.

EXPOSOLARPERÚ. 2022. Impulsemos el crecimiento de la energía solar en el Perú. [En línea] 2022. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DVvLtsOZ2cMJ:exposolar.com/+&cd=14&hl=es&ct=clnk&gl=pe>.

FILLIPO, V, CANO, H Y CHAVES, J. 2010 *Aplicaciones de iluminación con LEDs*. 45, Pereira, Colombia: s.n., 2010, Vol. 16.

FONTHAL, F y López, Y. 2019. *Energía solar fotovoltaica*. Colombia: Alpha Editorial, 2019.

FRANCE24. 2021. ¿Cómo enfrenta el mundo la actual crisis energética? [En línea] 2021. Disponible en: <https://www.france24.com/es/programas/el-debate/20211118-crisis-energia-carbon-combustible-fosil-electricidad>.

GEREDA, R. 2017. ¿Cómo seleccionar un interruptor termomagnético en baja tensión para proteger nuestros equipos? [En línea] 2017. Disponible en: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-interruptor-termomagnetico.pdf>.

GUERRERO, D. 2018. *Diseño de un Sistema Fotovoltaico para Sistemas de Agua Potable de tres Villorios en la Pampa de la Región de Tarapacá*. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2018.

IGM INDUSTRIA-DISEÑO-INNOVACIÓN. 2020. Tableros eléctricos. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de Julio de 2022.] Disponible en: <https://www.igm.com.co/tableros-electricos/>.

GOMEZ, P. 2017. *Viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro eléctrico de una mina en el municipio de Sardinata*. Cucuta, Colombia: s.n., Enero- Junio de 2017, Revista Mundo Fesc.

IPCC. 2018. Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. [En línea] 2018. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren\\_report\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf).

JARABO, F, y otros. 2010. *El libro de las energías renovables*. Madrid: Era Solar, 2010.

JIMÉNEZ, I y ÁLVAREZ, D. 2022. *Comunicar e investigar en tiempos de emergencia climática*. Madrid: Dykinson, 2022.

KPN Energy Solutions. 2021. Contenedor solar móvil una solución de implementación rápida. [En línea] 2 de Junio de 2021. Disponible en: <https://www.kpnergy.com/contenedor-solar-movil-solucion-rapida/>.

LAJONES, A. 2022. *Dimensionamiento de sistema fotovoltaico aislado en la comunidad masa 2 considerando factores sociodemográficos*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2022.

LAPPGROUP. 2019. Cable tipo DLO/RHH/RHW-2/RW90. [En línea] 2019. [Citado el: 20 de Julio de 2022.] Disponible en: [https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Lapp\\_Mexico/Fichas\\_Productos/OLFLEX/119\\_CABLE\\_TIPO\\_DLO-RHH-RHW-2-RW90.pdf](https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Lapp_Mexico/Fichas_Productos/OLFLEX/119_CABLE_TIPO_DLO-RHH-RHW-2-RW90.pdf).

LIGHTNING AND SURGE PROTECTION. 2020. Protección contra sobretensiones para sistemas fotovoltaicos. [En línea] 2020. Disponible en: <https://www.lsp-international.com/es/surge-protection-for-photovoltaic-systems/>.

LÓPEZ, Y. 2019. *Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para la electrificación de las estaciones base celular de la empresa Viettel Perú S.A.C, en zonas rurales de la provincia de Huancayo, 2019*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

MESTRE, Y. 2021. *Sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a una vivienda rural*. s.l.: Universidad Antonio Nariño, 2021.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 2019. Código Nacional de Electricidad del Perú. [En línea] 2019. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/95952/RM\\_139\\_1982\\_DM.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/95952/RM_139_1982_DM.pdf).

MOLINA, E. 2020. Taller instalaciones eléctricas. [En línea] 2020. <https://ele.chaco.gob.ar>.

MURIAS, A. 2010. *Vocabulariu de la minería*. Asturias: Llingua Asturiana, 2010.

NETAFIM. 2020. Piranómetro. [En línea] 2020. Disponible en: <https://www.netafim.com.mx/4aafd8/globalassets/gv-wv-piranometro-ficha-tecnica.pdf>.

OSINERGMIN. 2019. Energías renovables. Experiencia y perspectivas en la ruta del Perú. Hacia la transición energética. [En línea] 2019. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf).

PEREIRA, M. 2015. *Las energías renovables: ¿Es posible hablar de un derecho energético ambiental? Elementos para una discusión*. 1, 2015, Jurídicas CUC, Vol. 11, págs. 233-254.

PERPIÑÁN, O. 2020. Energía solar fotovoltaica. [En línea] 2020. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>.

PESANTEZ, J. 2021. *Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro*. 2, Cuenca, Ecuador: s.n., 2021, Revista Politécnica, Vol. 47.

PETREL, C. 2021. *Diseño de sistema solar fotovoltaico aislado e individual en el corregimiento b*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía, 2021.

PINILLA, J. 2019. El problema energético mundial. Energías renovables y cambio climático. *Energy Management Magazine*. [En línea] 2019. Disponible en: Disponible en: <https://e-management.mx/2019/11/16/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/>.

PROSINFER. 2020. Lámpara minera Wisdom LS5M. [En línea] 2020. <https://prosinfer.com/producto/lampara-minera-wisdom-kl5m/>.

PUCO, M. 2020. *Diseñar un sistema fotovoltaico para el uso en casas flotantes en la ciudad de Babahoyo*. s.l.: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2020.

QUIMISUR. 2020. Estación meteorológica. [En línea] 2020. Disponible en: <http://www.quimisur.com/download/es/Instalacion%20Estacion%20Meteorologica%20IQ3000.pdf>.

QUINTANILLA, A. 2020. *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para suministrar de energía eléctrica la localidad de Patahuasi - Pampa Cañahuas*. s.l.: Universidad Católica de Santa María, 2020.

REY, F y VELASCO, E. 2015. *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. Madrid: Paraninfo, 2015.

ROLDÁN, J. 2018. *Determinación del potencial solar*. España: Paraninfo, 2018.

—. 2013. *Organización y control del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Paraninfo, 2013.

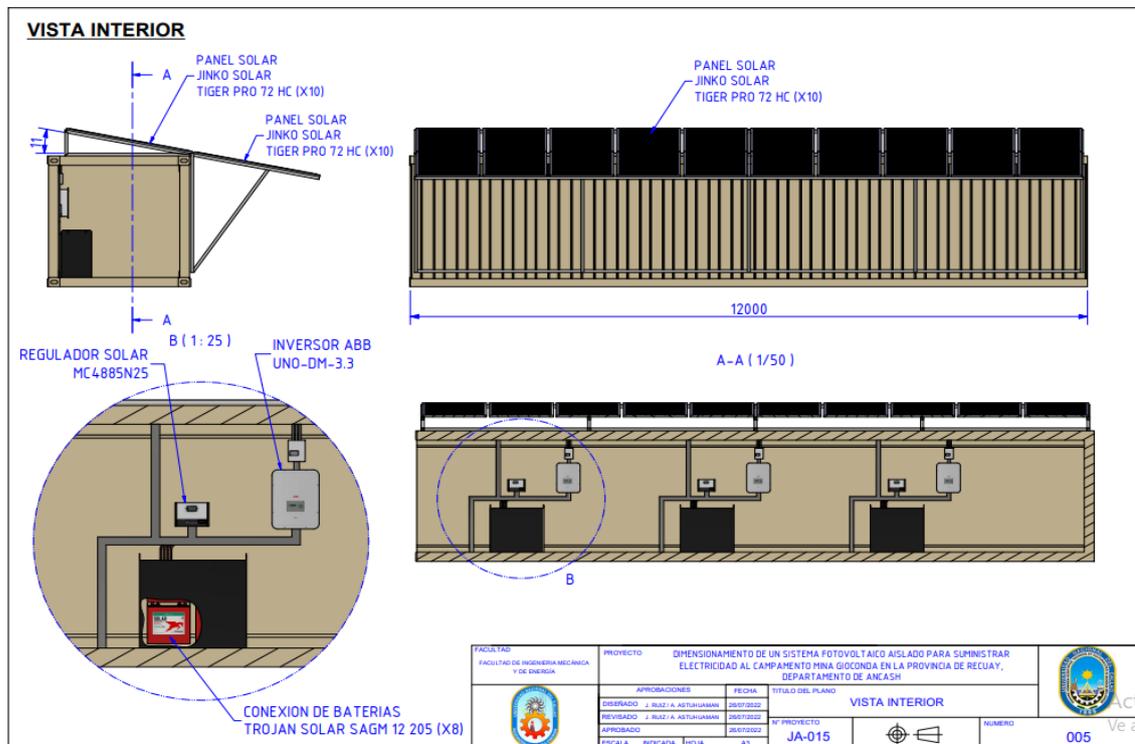
- SÁNCHEZ, A, y otros. 2017. *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar*. México: Instituto de Energías Renovables, 2017.
- SCHALLENBERT, J, Piernavieja, G y Hernández, C. 2008. *Energías renovables y eficiencia energética*. España: Instituto Tecnológico de Canarias S.A.
- SENAMHI. 2021. Instalación y operación de estaciones. [En línea] 2021. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-53.pdf>.
- SERNA, A, Marín, E y Alzate, S. 2016. *Herramienta para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados*. Colombia: Universidad Católica Luis Amigo, 2016.
- VALDIVIESO, P. 2024. *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima: (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, 2024.
- VÁSQUEZ, A. 2020. *Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico aislado con PVSYST 6.7 en el Centro Poblado Boca Chinganaza en Condorcanqui-Amazonas*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. 2020.
- VEGA, O. 2015. Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales. [En línea] 2015. <http://repiica.iica.int/B3661e/B3661e.pdf>.
- VENEGAS, C, y otros. 2019. *Evaluación de la factibilidad de instalación de energía fotovoltaica para la iluminación en un campamento minero de La Libertad*. Trujillo: Universidad Católica de Trujillo "Benedicto XVI", 2019, Revista Científica de Ciencias y Tecnología.
- VIGO, V, y otros. 2018. *Manual de diseño de proyectos de desarrollo sostenible*. Cajamarca, Perú: Asociación Los Andes de Cajamarca, 2018.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo dimensionar un sistema fotovoltaico aislado para generar energía a el Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash?</p> <p><b>Problemas específicos</b> ¿Cuál es la energía solar disponible que se registra en el campamento Mina Gioconda?</p> <p>¿Cuáles son los componentes requeridos del sistema fotovoltaico aislado en el Campamento Mina Gioconda?</p> <p>¿Cuál es la demanda de energía eléctrica promedio diario en el campamento Mina Gioconda?</p> <p>¿Cuál es la conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado en comparación con el sistema convencional?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Dimensionar un sistema fotovoltaico aislado a la red para suministrar energía eléctrica al Campamento Mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> Determinar la energía solar disponible que se registra en el campamento Mina Gioconda.</p> <p>Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico aislado en el Campamento Mina Gioconda.</p> <p>Determinar la demanda de energía eléctrica promedio diario en el campamento Mina Gioconda.</p> <p>Comparar la conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado versus sistema convencional.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Si se dimensiona un sistema fotovoltaico aislado se logrará suministrar fluido eléctrico al campamento minero Gioconda</p> <p><b>Hipótesis específica</b> Si la energía solar disponible medida en niveles de radiación en la zona involucrada es suficiente se cubrirá la energía eléctrica requerida por el campamento minero a través del sistema solar fotovoltaico aislado.</p> <p>Los componentes requeridos por el sistema fotovoltaico aislado son: Módulo fotovoltaico, Regulador, Inversor, banco de baterías y los elementos de protección que permitirán suministrar energía eléctrica al campamento Mina Gioconda.</p> <p>La demanda de energía eléctrica promedio diario podrá ser suministrada de energía eléctrica por el sistema fotovoltaico aislado en el campamento Mina Gioconda.</p> <p>La conveniencia económica de la generación de energía por sistema fotovoltaico aislado y por sistema convencional está en función al costo por kWh generado.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Dimensionado del sistema fotovoltaico aislado radiación promedio</p> <p><b>Variable Dependiente:</b> Suministro de energía eléctrica</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> Tecnológico, nivel aplicado</p> <p><b>Diseño de Investigación</b> No experimental</p> <p><b>Método de Investigación</b> Método Sistemico</p> <p><b>Población y muestra</b> Módulos de vivienda del campamento mina Gioconda en la provincia de Recuay, departamento de Ancash.</p> <p><b>Técnicas</b> Técnica documental</p> <p><b>Instrumentos</b> Fichas técnicas</p>

## Anexo 2. Módulo Fotovoltaico Móvil vista superior y anexo vista interior



### Anexo 3. Ficha técnica Lámpara Minera WISDOM KL5M

Especificaciones técnicas KL5M	
Características	Especificaciones KL5M
Version	KL5M Standard
Capacidad Nominal	7800 mAh
Tensión Nominal	3.7 V
Tiempo de descarga en uso continuo	13 h
Luz principal: voltaje de funcionamiento	3.0 V
Luz principal: flujo luminoso	340 lm
Luz principal: Potencia	1.92 W
Grado de iluminación (distancia 1 m)	18000 lx
Luz principal: vida útil	>50000 h
Luz auxiliar: potencia	0.4 W
Luz auxiliar: Vida útil	40000 h
Tiempo de protección coto circuito	< 320 $\mu$ s
Vida útil de la batería (recarga)	1200 ciclos (en condiciones normales de trabajo)
Tiempo de carga NWB20	4-6.5 hours

## Anexo 4. Ficha técnica de Luminaria Led.

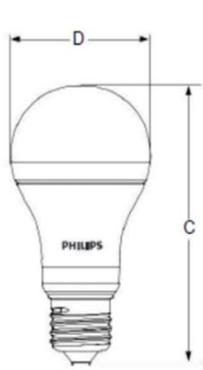
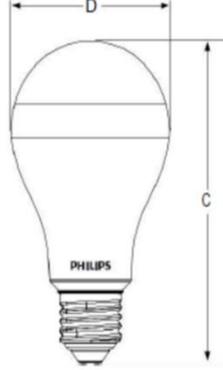
**Características del producto**

**Especificaciones técnicas**

Descripción del producto	Voltaje (V)	Potencia (W)	Base	Bulbo	Temperatura de color (K)	Lúmenes de salida (lm)	Eficacia luminosa (=lm/W)	Vida útil (horas)	IRC	Factor de potencia	Dimenzable
LEDBulb 4.5-40W E27 3000K 100-240V A19 MX	100-240V	4.5	E27	A19	3000	480	106	25000	80	>0.4	No
LEDBulb 4.5-40W E27 6500K 100V-240V A19 MX	100-240V	4.5	E27	A19	6500	480	106	25.000	80	>0.4	No
LEDBulb 9-60W E27 3000K 100V-240V A19 MX	100-240V	9	E27	A19	3000	806	107	25.000	80	>0.7	No
LEDBulb 9-60W E27 6500K 100V-240V A19 MX	100-240V	9	E27	A19	6500	806	107	25.000	80	>0.7	No
LEDBulb 9.5-75W E27 3000K 100V-240V A19 MX	100-240V	9.5	E27	A19	3000	1055	111	25000	80	>0.7	No
LEDBulb 9.5-75W E27 6500K 100V-240V A19 MX	100-240V	9.5	E27	A19	6500	1055	111	25.000	80	>0.7	No
LEDBulb 13.5-100W E27 3000K 100V-240V A21 MX	100-240V	13.5	E27	A21	3000	1510	111	25.000	80	>0.7	No
LEDBulb 13.5-100W E27 6500K 100V-240V A21 MX	100-240V	13.5	E27	A21	6500	1510	111	25.000	80	>0.7	No

**Dimensiones**

Tipo	C Longitud total (mm)	D Diámetro (mm)
LEDBulb 4.5-40W E27 3000K 100-240V A19 MX	110	60
LEDBulb 4.5-40W E27 6500K 100V-240V A19 MX	110	60
LEDBulb 9-60W E27 3000K 100V-240V A19 MX	110	60
LEDBulb 9-60W E27 6500K 100V-240V A19 MX	110	60
LEDBulb 9.5-75W E27 3000K 100V-240V A19 MX	110	60
LEDBulb 9.5-75W E27 6500K 100V-240V A19 MX	110	60
LEDBulb 13.5-100W E27 3000K 100V-240V A21 MX	127	68
LEDBulb 13.5-100W E27 6500K 100V-240V A21 MX	127	68

A19 E27
A21 E27



## Anexo 6. Cálculo de Numero de Luminarias Led de acuerdo a la RNE.

### Calculo de Luminarias para áreas de circulación del Campamento Minero

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones EM 0.10 tenemos que la iluminancia media para habitaciones es de:

$$E_m \geq 100$$

Teniendo en cuenta los datos de las habitaciones y luminarias tenemos:

- Superficie de la habitación es de 256 m<sup>2</sup>
- Factor de utilización es de 1.08
- Factor de mantenimiento es de 0.80
- Luminancia de la lámpara led es de 3000

Calcularemos los lúmenes requeridos para las habitaciones mediante las siguientes formulas

$$\phi_t = \frac{E_m \cdot S}{n \cdot F_m}$$

Donde:

- $\phi_t$  =Luminancia Total
- $E_m$  =Iluminancia Media
- $S$  =Superficie de la habitación
- $n$  =Factor de utilización
- $F_m$  =Factor de mantenimiento

$$\phi_t = \frac{100 \cdot 336}{1.8 \cdot 0.8}$$

$$\phi_t = 29\,626.6$$

Para calcular el número de lámparas led requeridas

$$N = \frac{\phi_t}{\phi_l}$$

Donde:

- $N$  =Número de luminarias
- $\phi_t$  =Luminancia Total
- $\phi_l$  =Luminancia de la luminaria

$$N = \frac{29\,629.6}{3000} = 9.8 \text{ Lámparas Led}$$

Lo que nos indica que para el área de circulación del campamento minero se necesitara 10 lámparas led que cumple con la capacidad de iluminación según el RNE.

### Calculo de Luminarias para Habitaciones Campamento Minero

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones EM 0.10 tenemos que la iluminancia media para habitaciones es de:

$$E_m \geq 50$$

Teniendo en cuenta los datos de las habitaciones y luminarias tenemos:

- Superficie de la habitación es de 9 m<sup>2</sup>
- Factor de utilización es de 0.6
- Factor de mantenimiento es de 0.80
- Luminancia de la lámpara led es de 3000

Calcularemos los lúmenes requeridos para las habitaciones mediante las siguientes formulas

$$\Phi_t = \frac{E_m * S}{n * F_m}$$

Donde:

- $\Phi_t$  =Luminancia Total
- $E_m$  =Iluminancia Media
- $S$  =Superficie de la habitación
- $n$  =Factor de utilización
- $F_m$  =Factor de mantenimiento

$$\Phi_t = \frac{50 * 9}{0.6 * 0.8}$$
$$\Phi_t = 937.5$$

Para calcular el número de lámparas led requeridas

$$N = \frac{\Phi_t}{\Phi_l}$$

Donde:

- $N$  =Número de luminarias
- $\Phi_t$  =Luminancia Total
- $\Phi_l$  =Luminancia de la luminaria

$$N = \frac{937.5}{3000} = 0.31 \text{ Lámparas por habitación}$$

Lo que nos indica que para cada habitación se necesitara 1 lámpara led que cumple con la capacidad de iluminación según el RNE.

Anexo 7. Ficha Técnica de Bomba de Calor LASSIAN AERIA 5.

Modelo		AERIA 5	AERIA 8	AERIA 11	AERIA 16	
<b>Conexión eléctrica</b>						
Alimentación eléctrica	V/Hz	1PH, 220V-240V~/50-60Hz				
Clasificación eléctrica	-	Clase I				
Índice de protección eléctrica	-	IP4				
Cableado de conexión	mm <sup>2</sup>	3 x 10				
<b>Rendimiento</b>						
Refrigeración* (1)	Capacidad	kW	5,00	5,50	11,50	14,50
	Consumo	kW	1,56	2,34	3,83	4,92
Refrigeración* (2)	Capacidad	kW	5,00	7,00	13,50	16,00
	Consumo	kW	1,00	1,89	2,94	3,64
Calefacción* (3)	Capacidad	kW	5,00	7,5	10,5	15
	Consumo	kW	1,30	2,34	3,37	4,62
Calefacción* (4)	Capacidad	kW	5,00	7,80	11,00	16,00
	Consumo	kW	0,99	1,77	2,61	3,86
EER* (1)		kW/kW	3,20	2,35	3,00	2,95
EER* (2)		kW/kW	5,00	3,70	4,60	4,40
COP* (3)		kW/kW	3,85	3,20	3,20	3,25
COP* (4)		kW/kW	5,05	4,40	4,22	4,15
Eficiencia Energética Calefacción 55°C / 35°C	-		A++ / A+++	A+ / A++	A++ / A++	A+ / A++
Potencia máx. absorbida		kW	3,10	4,90	5,60	7,30
Corriente máx. absorbida		A	13,5	21,3	24,3	31,7

# SELECCIÓN DE MÓDULOS SOLARES

## Sistema Fotovoltaico

Proveedor						
AutoSolar						
N°	Marca	Potencia [Wp]	Precio	Cantidad	Potencia Pico	TOTAL
1	JA SOLAR 455W 24V Monocrystalino PERC	455	S/ 1,014.66	23		S/ 23,169.93
2	EcoGreen 450W 24V Monocrystalino PERC	450	S/ 940.12	23		S/ 21,706.33
3	EcoGreen 550W 24V Monocrystalino PERC	550	S/ 1,337.27	19	10390	S/ 25,262.25
4	ERA 340W 24V Policristalino	340	S/ 638.32	31		S/ 19,506.31
5	EcoGreen 350W 24V Policristalino	350	S/ 704.50			S/ 20,913.59
				30		

En **AutoSolar** el menor número de módulos es EcoGreen 550Wp con un costo de 25 262,25 soles.

6	ERA 400W PERC Monocristalino	400	S/ 822.66	26	S/ 21,368.59
---	------------------------------	-----	-----------	----	--------------

### TRINA SOLAR

N°	Marca	Potencia [Wp]	Precio	Cantidad	Potencia Pico	TOTAL
1	TALLMAX 450W DuoMax Mono Perc 340WP	450	S/ 1,056.96	23	10390	S/ 24,404.03
2	DuoMax Twin 410W	340	S/ 860.63	31		S/ 26,299.84
3	Vertex 500W	410	S/ 983.45	25		S/ 24,922.06
4		500	S/ 1,263.95	21		S/ 26,264.88

En Trina Solar el menor número de módulos es Vertex 500W con un costo de 26 264,88 soles.

### panelsolarperu

N°	Marca	Potencia [Wp]	Precio	Cantidad	Potencia Pico	TOTAL
1	Peimar Italian 370W Peimar Monocristalino PERC	370	S/ 800.02	28		S/ 22,465.43
2	Omicron Monocristalino 150W	150	S/ 349.60	69		S/ 24,215.63
3	Omicron Monocristalino 100wp	100	S/ 258.73	104		S/ 26,882.05
4	Peimar Italian 315wp Monocristalino PERC Peimar Italian	315	S/ 687.99	33	10390	S/ 22,692.75
5	Jinko Solar 335Wp Policristalino	335	S/ 731.98	31		S/ 22,702.31

6	Peimar Italian 340wp Policristalino	340	S/ 728.02	31	S/ 22,247.43
7	Amerisolar Policristalino 340W	340	S/ 652.13	31	S/ 19,928.33

### NovumSolar

N°	Marca	Potencia [Wp]	Precio	Cantidad	Potencia Pico	TOTAL
1	JINKO SOLAR TIGER	435	S/ 1,053.23	24		S/ 25,156.46
2	JINKO SOLAR PRO	565	S/ 1,553.36	18		S/ 28,565.33
3	CANADIAN SOLAR MONO PERC HALF CELL	445	S/ 1,133.96	23		S/ 26,476.05
4	JINKO SOLAR SWAN	400	S/ 856.15	26	10390	S/ 22,238.50
5	JINKO SOLAR EAGLE	335	S/ 799.66	31		S/ 24,801.40
6	JINKO SOLAR CHEETAH	400	S/ 1,024.52	26		S/ 26,611.91
7	Jinko Solar Tiger Pro 72HC 530-550	545	S/ 1,299.99	19		S/ 24,783.30

### Proviento

N°	Marca	Potencia [Wp]	Precio	Cantidad	Potencia Pico	TOTAL
1	EGE-375M-72 Monocristalino 375Wp	375	S/ 780.54	28	10390	S/ 21,626.16

### energiasolarperu

N°	Marca	Potencia [Wp]	Precio	Cantidad	Potencia Pico	TOTAL
1	AE SOLAR 320W 24V	320	S/ 800.00	32		S/ 25,975.00

2	Vertex Mono cristalino 500W Trina Solar	500	S/ 1,250.00	21	10390	S/ 25,975.00
3	TALLMAX 450W Trina Solar	450	S/ 1,000.00	23		S/ 23,088.89

En **panelsolarperu** el menor número de módulos es Peimar Italian 370W con un costo

## SELECCIÓN DE CONTROLADORES SOLARES

### Sistema Fotovoltaico Aislado

### Mina Gioconda

Proveedor						
AutoSolar						
N°	Marca	Corriente [A]	Precio	Cantidad	Corriente Max	TOTAL
1	Must Solar MPPT LCD 80A 12/24/48V	80	S/ 1,333.15	3		S/ 3,571.68
2	SRNE MPPT 250V 70A LCD 12/24/48V	70	S/ 1,679.46	3		S/ 5,142.27
3	Controlador MPPT 250V 100A LCD 12/24/48V	100	S/ 2,342.41	2		S/ 5,020.49
4	Controlador MPPT 60A Schneider Xantrex	60	S/ 3,186.00	4		S/ 11,380.92
5	Controlador MPPT 60A Outback	60	S/ 3,309.88	4	214.33	S/ 11,823.44
6	Controlador SmartSolar MPPT RS 450V 100A VICTRON	100	S/ 5,666.77	2		S/ 12,145.59
7	Controlador MPPT 80A Schneider Xantrex	80	S/ 5,840.40	3		S/ 15,647.16
8	Controlador MPPT 80A Outback	80	S/ 4,102.19	3		S/ 10,990.28
SUN PERU						
N°	Marca	Corriente [A]	Precio	Cantidad	Corriente Max	TOTAL
1	Controlador MPPT 60A 12/24/48V (PC18-6015A)	60	S/ 1,227.20	4		S/ 4,383.76
2	Controlador MPPT 80A 12/24/48V (PC18-8015A)	80	S/ 1,321.60	3		S/ 3,540.73
3	Controlador MPPT Smart Solar 250V 100A Tr	100	S/ 4,291.99	2	214.33	S/ 9,199.02
4	Controlador MPPT Blue Solar 150V 70A Tr	70	S/ 2,478.63	3		S/ 7,589.21
5	Controlador MPPT Smart Solar 150V 85A Tr	85	S/ 3,159.89	3		S/ 7,967.76

Alibaba.com						
N°	Marca	Corriente [A]	Precio	Cantidad	Corriente Max	TOTAL
1	Panpower V 48v 96v 120v 192v 216v 240v 100a	100	S/ 1,535.37	2		S/ 3,290.76
2	JNGE De alta potencia de alta tensión 220v controlador de cargador solar 50A 100A 150A 200A	200	S/ 2,848.79	1		S/ 3,052.91
3	LifePo4-regulador de voltaje de batería de ácido de plomo, Gel de iones de litio 50A, carga solar, controlador de carga MPPT de 50A	50	S/ 759.79	4		S/ 3,256.92
4	Debe PC1800F serie MPPT regulador de carga Solar 12V 24V 36V 48V 48V 60a 80a 100a mppt controlador solar	60	S/ 827.85	4	214.33	S/ 2,957.22
5	Controlador de carga Solar inteligente MPPT de alta eficiencia, 60A , 96V 24V	60	S/ 898.23	4		S/ 3,208.63
6	Controlador de cargador Solar MPPT 50A 60A 80A 100A 12V 24V 36V 48V 48V Tracer una serie	100	S/ 1,247.29	2		S/ 2,673.32
7	Mppt controlador de carga solar 50a 60a 100a 120a 150a 200a	100	S/ 1,580.09	2		S/ 3,386.61
NovumSolar						
N°	Marca	Corriente [A]	Precio	Cantidad	Corriente Max	TOTAL
1	CONTROLADOR MPPT BLUESOLAR 150/70 (12/24/36/48-70A) VICTRON	70	S/ 2,725.00	3		S/ 8,343.56
2	CONTROLADOR MPPT SMART SOLAR 150/85 VICTRON ENRGY	85	S/ 3,799.98	3		S/ 9,581.76
3	CONTROLADOR MPPT SMART SOLAR 150/100 (12/1450W/24/2900W/48/5800W) VICTRON	100	S/ 4,919.99	2	214.33	S/ 10,545.01
4	<b>SRNE SOLAR MPPT</b>	<b>85</b>	<b>S/ 1,150.66</b>	<b>3</b>		<b>S/ 2,901.42</b>

Silo.Tips						
N°	Marca	Corriente [A]	Precio	Cantidad	Corriente Max	TOTAL
1	Controlador Morningstar TriStar MPPT 60A	60	S/ 3,484.40	4		S/ 12,446.86
2	Controlador Morningstar TriStar TS-60	60	S/ 1,409.42	4	214.33	S/ 5,034.68
energiasolarperu						
N°	Marca	Corriente [A]	Precio	Cantidad	Corriente Max	TOTAL
1	Solar Home System Battery Bank	100	S/ 1,521.53	2		S/ 3,261.10
2	Mppt 12v 24v 36v 48v auto work 40a 50a 60a 80a 100a controlador de carga solar mppt/ regulador solar mppt	100	S/ 1,567.39	2	214.33	S/ 3,359.39
3	Solar Controller 10 - 120 Amp PV Charger Smart Mppt Regulator	120	S/ 1,872.07	2		S/ 3,343.67

Para la selección de los controladores de corriente se hizo un análisis entre los proveedores: AutoSolar, SUN PERÚ, Alibaba.com, NovumSolar, Silo.Tips, EnergiaSolar Perú. Se opta por escoger un regulador de tipo **MPPT** debido a su aprovechamiento de la máxima producción del panel solar (su funcionamiento es eficiente si se aumenta la tensión del campo fotovoltaico) para la carga de la batería, también se encarga de cortar la corriente cuando el acumulador está al 100% de su carga. Escogiéndose la marca con menor costo de inversión. Luego de evaluar las cotizaciones, se escogió dimensionar con la marca SRN solar de 85A con un costo total de 2 901 42 soles

Anexo 10.

# SELECCIÓN DE INVERSORES SOLARES

## Sistema Fotovoltaico Aislado

Proveedor						
AutoSolar						
N°	Marca	Pot [kW]	Precio	Cantidad	Pot Entrada [kW]	TOTAL
1	Inversor Huawei SUN2000L-2KTL Red 2000W	2	S/ 4,875.47	4	8.42	S/ 20,525.73
2	Inversor Huawei SUN2000L-3KTL Red 3000W	3	S/ 5,605.11	3		S/ 15,731.68
3	Inversor HD Wave 3000W SolarEdge Conexión Red Monofásico	3	S/ 5,806.41	3		<b>S/ 16,296.66</b>
4	Inversor Red SMA Sunny Boy 3.0kW AV-41	3	S/ 6,696.63	3		S/ 18,795.21
5	Inversor Huawei SUN2000-8KTL Trifásico 8kW	8	S/ 10,159.80	1		S/ 10,693.19
6	Inversor Huawei SUN2000-12KTL Trifásico 12kW	12	S/ 14,219.00	1		S/ 9,977.00
7	Inversor Red Growatt MIC 1000TL-X Monofásico	1	S/ 1,500.46	8		S/ 12,633.87
8	Inversor Victron MultiPlus-II 48V 3000VA 35+32A	3	S/ 5,443.68	3		S/ 15,278.60

SUN PERU						
N°	Marca	Pot [kW]	Precio	Cantidad	Pot Entrada [kW]	TOTAL
1	Inversor Onda Pura SHI1000-42, 48V 1000W	1	S/ 1,433.52	8	8.42	S/ 12,070.24
2	Inversor Onda Pura SHI2000-42, 48V 2000W	2	S/ 2,386.83	4		S/ 10,048.55
3	Inversor Onda Pura SHI3000-42, 48V 3000W	3	S/ 2,833.03	3		S/ 7,951.37
4	Inversor UP3000-M6142, 48V 3000VA	3	S/ 3,285.37	3		S/ 9,220.94
5	Inversor UP5000-M8342, 48V 5000VA	5	S/ 5,428.21	2		S/ 9,141.11

panelsolarperu						
N°	Marca	Pot [kW]	Precio	Cantidad	Pot Entrada [kW]	TOTAL
1	Inversor Interconexion Primo 3.6kw WLAN/LAN/WEBSERVER Panpower V 48v 96v 120v 192v 216v 240v 100a	3.6	S/ 7,340.27	2	8.42	S/ 17,168.08
2	Inversor Interconexion Symo 5kw WLAN/LAN/WEBSERVER	5	S/ 3,848.79	2		S/ 6,481.36
3	Inversor Interconexion Fronius Symo 10Kw WLAN/LAN/WEBSERVER	10	S/ 13,548.10	1		S/ 11,407.50
4	INVERSOR A RED GROWATT MID 6KTL3-XL DELTA INVERTER 6KW 3	6	S/ 6,215.76	1		S/ 8,722.78
5	Inversor Victron Phoenix 24/500 -230v IEC outlet	0.5	S/ 843.99	17		S/ 14,212.79
6	Victron Energy MultiPlus-II Victron Energy 48/3000/35-32 230V V.E Bus	3	S/ 5,460.01	3		S/ 15,324.43
<b>7</b>	<b>ABB 3,3 kW</b>	<b>3.3</b>	<b>S/ 1,980.09</b>	<b>3</b>		<b>S/ 5,052.23</b>
NovumSolar						
N°	Marca	Pot [kW]	Precio	Cantidad	Pot Entrada [kW]	TOTAL
1	INVERSOR DE RED FRONIUS PRIMO	3	S/ 3,698.56	3	8.42	S/ 10,380.63
2	INVERSOR DE RED GOODWE DNS	3.6	S/ 3,999.98	2		S/ 9,355.51
3	INVERSOR RED HUAWEI SOLAR SUN2000 L1 2KTL/3KTL/4KTL/5KTL	5	S/ 5,919.99	2		S/ 9,969.26
4	INVERSOR DE RED GOODWE NS	3	S/ 3,969.63	3		S/ 11,141.43

Silo.Tips						
N°	Marca	Pot [kW]	Precio	Cantidad	Pot Entrada [kW]	TOTAL
1	Serie XS 0.7-3KW   Monofásico	3	S/ 3,484.40	3	8.42	S/ 9,779.55
2	GoodWe de la serie SDT G2 4kW	4	S/ 4,409.42	2		S/ 9,281.83
energiasolarperu						
N°	Marca	Pot [kW]	Precio	Cantidad	Pot Entrada [kW]	TOTAL
1	Inversor Senoidal VICTRON Phoenix VE.Direct 48V 1200VA schuko	1.2	S/ 1,954.20	7	8.42	S/ 13,711.97
2	Inversor Onda Senoidal VICTRON Phoenix 48V 3000VA	3	S/ 5,423.34	3		S/ 15,221.51
3	Inversor Onda Senoidal VICTRON Phoenix 48V 5000VA	5	S/ 7,541.75	2		S/ 12,700.31

Para la selección de los controladores de corriente se hizo un análisis entre los proveedores: AutoSolar, SUN PERÚ, panelsolarperú, NovumSolar, Silo.Tips, EnergiaSolar Perú. Se opta por escoger un inversor de corriente ABB 3,3 kW. Escogiéndose la marca con menor costo de inversión. Luego de evaluar las cotizaciones.

Anexo 11. Selección de Batería

SELECCIÓN DE BATERIA									
Sistema Fotovoltaico Aislado									
Mina Gioconda									
Proveedor									
AutoSolar									
N°	Marca	Tensión de batería (V)	Cb (Ah)	Precio	Ct	Ns	Np	Cantidad	TOTAL
1	Batería RITAR 12V 100Ah RA AGM	12	100	S/ 731.76		4	3	36	S/ 26,343.36
2	Batería AGM 12V 138Ah Ultracell UC-138-12	12	138	S/ 1,090.86		4	2	24	S/ 26,180.64
3	Batería AGM 12V 115Ah Ultracell UC-115-12	12	115	S/ 898.62		4	3	36	S/ 32,350.32
4	Batería AGM 12V 130Ah Victron Energy	12	130	S/ 1,097.69		4	2	24	S/ 26,344.56
5	Batería AGM 12V 172Ah Ultracell UC-172-12	12	172	S/ 1,056.41	316.53	4	2	24	S/ 25,353.84
6	Batería AGM 205Ah 12V Kaise	12	250	S/ 2,219.74		4	1	12	S/ 26,636.88
7	Batería RITAR 12V 150Ah DC AGM	12	150	S/ 1,500.46		4	2	24	S/ 36,011.04
8	<b>Batería TROJAN SOLAR SAGM 12 205</b>	<b>12</b>	<b>205</b>	<b>S/ 1,025.66</b>		<b>4</b>	<b>2</b>	<b>24</b>	<b>S/ 24,615.84</b>
9	Batería 12V AGM 250Ah Kaise KBFS250	12	250	S/ 2,189.44		4	1	12	S/ 26,273.28
10	Batería 250Ah AGM 12V UPower SP250	12	250	S/ 2,141.03		4	1	12	S/ 25,692.36

Para la selección de los controladores de corriente se hizo un análisis entre los proveedores: AutoSolar. Se opta por escoger una batería de 205 Ah. Escogiéndose la marca con menor costo de inversión.

## Anexo 12. Ficha técnica del módulo solar fotovoltaico Jinko Solar 545kWp.

Product not available for sales and/or distribution in Germany.

www.jinkosolar.com

**Jinko**<sup>Solar</sup>  
Building Your Trust in Solar

# Tiger Pro 72HC

## 530-550 Watt

### MONO-FACIAL MODULE

#### P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



MBB HC Technology

### Key Features



#### Multi Busbar Technology

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



#### Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



#### Reduced Hot Spot Loss

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



#### Enhanced Mechanical Load

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

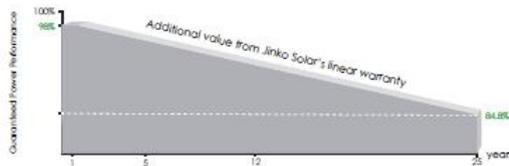


#### Longer Life-time Power Yield

0.55% annual power degradation and 25 year linear power warranty.



### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

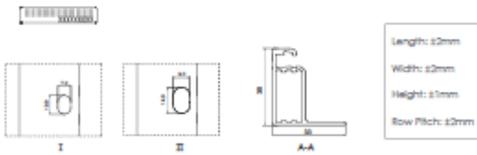
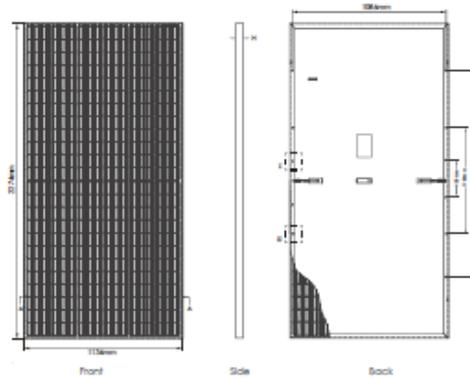


12 Year Product Warranty

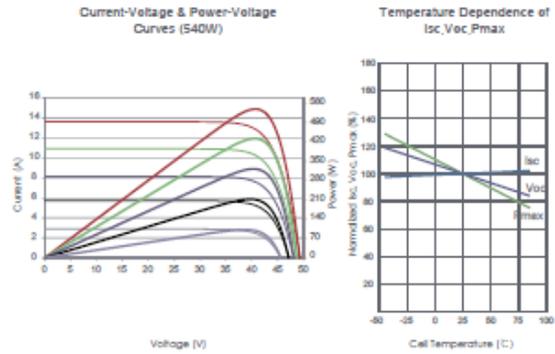
25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

## Engineering Drawings



## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6x24)
Dimensions	2274x1134x35mm (89.53x44.65x1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.7 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm <sup>2</sup> (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

## Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40HQ Container

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

\*STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>

Cell Temperature 25°C

AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup>

Ambient Temperature 20°C

AM=1.5

Wind Speed 1m/s

©2020 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.  
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM530-550M-72HL4-(V)-F1-EN

## Anexo 13. Ficha técnica del Regulador.

Ficha técnica

- SRNE MC4885N25  
- SRNE MC48100N25



**Contrôleur de charge solaire MPPT**  
MC4885N25 / MC48100N25

*Fiche technique*

**WATT-U-NEED**  
Solar Power Systems

RUE HENRI PRÉ 12 - 4821 ANDRIMONT - BELGIQUE  
TEL.: +32 87 45 00 34 - INFO@WATTUNEED.COM

*Peddo e l*  
WATTUNEED.COM

Parámetro	Valor del parámetro	
Tipo	MC4885N25	MC48100N25
Voltaje del sistema	12V / 24V36V / 48V	
Pérdida en vacío	0,54 W	
Voltaje de la batería	9V ~ 64V	
Máxima tensión de circuito abierto FV	240V	
Máximo rango de tensión en el punto de potencia	Voltaje de la batería + 2 ~ 180V	
Corriente de carga nominal	85A 100A	100A 100A
Corriente de carga ajustable	0-85A	0-100A
Potencia del panel solar (12V)	1100W	1320W
Potencia del panel solar (24V)	2200W	2640W
Potencia del panel solar (48V)	4400W	5280W
Eficiencia de conversión de carga	</ = 98%	
Eficiencia de rastreo de MPPT	> 99%	
Compensación de temperatura	-3 mV / ° C / 2 V (plomo ácido ajustable por defecto); no hay compensación de temperatura para la batería de litio.	
Forma de comunicación	TTL / RS485 aislado; velocidad de transmisión 9600, bit digital 3, bit de parada 1, sin bit de control	
Bluetooth	Módulo Bluetooth 4.0BLE integrado, que permite la monitorización de la aplicación del teléfono móvil	
Protección de temperatura interna	Cuando la temperatura interna del controlador es mayor que el valor establecido, debe realizar una operación de reducción de potencia lineal.	
Muestreo de la temperatura externa de la batería	La temperatura se utiliza para la compensación de la temperatura de la batería y la protección de la temperatura de la batería.	
Relé de programa	DPST 10A / 250VAS; 10A / 30VDC	
Función de protección	Protección contra sobrecarga de la batería, protección contra descarga excesiva de la batería, protección contra inversión de la tensión FV, protección contra carga inversa por la noche, protección contra sobrecalentamiento interno del regulador y protección contra sobrecorriente durante la carga.	
Temperatura de operación	-35 ° C ~ + 65 ° C	
Elevación	</ = 3000m	
Grado de protección	IP32	
Peso	5,7 kg	
Tamaño del producto	Convencional 314X227X121 mm	



SOLAR INVERTERS

## ABB string inverters

UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS  
3.3 to 5.0 kW



UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS outdoor string inverter

### One size fits all

The new design wraps ABB's quality and engineering into a lightweight and compact package thanks to technological choices optimized for installations with different orientation.

All power ratings share the same overall volume, allowing higher performance in a minimum space, and have a dual Maximum Power Point Tracker (2 MPPT).

### Easy to install, fast to commission

The presence of plug and play connectors, both on the DC and AC side, as well as the wireless communication, enable a simple, fast and safe installation without the need of opening the front cover of the inverter.

The featured easy commissioning routine removes the need for a long configuration process, resulting in lower installation time and costs.

Improved user experience thanks to a built in User Interface (UI), which enables access to features such as advanced inverter configuration settings, dynamic feed-in control and load manager, from any WLAN enabled devices (smartphone, tablet or PC).

### Smart capabilities

The embedded logging capabilities and direct transferring of the data to Internet (via Ethernet or WLAN) allow customers to enjoy the whole Aurora

The new UNO-DM-PLUS single-phase inverter family, with power ratings from 3.3 to 5.0 kW, is the optimal solution for residential installations.

Vision® remote monitoring experience.

The advanced communication interfaces (WLAN, Ethernet, RS485) combined with an efficient Modbus (RTU/TCP) communication protocol, Sunspec compliant, allow the inverter to be easily integrated within any smart environment and with third party monitoring and control systems.

A complete set of control functions with the embedded efficient algorithm, enabling dynamic control of the feed-in (i.e. zero injection), make the inverter suitable for worldwide applications in compliance with regulatory norms and needs of the utilities.

The future-proof and flexible design enables integration with current and future devices for smart building automation.

### Highlights

- Wireless access to the embedded Web User Interface
- Easy commissioning capability
- Future-proof with embedded connectivity for smart building and smart grid integration
- Dynamic feed-in control (for instance "zero injection")
- Remote Over The Air (OTA) firmware upgrade for inverter and components
- Modbus TCP/RTU Sunspec compliant
- Remote monitoring via Aurora Vision® cloud
- Dual input section with independent MPPT

# ABB string inverters

## UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS

### 3.3 to 5.0 kW



**Technical data and types**

Type code	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
<b>Input side</b>				
Absolute maximum DC input voltage ( $V_{DC,max}$ )	600 V			
Start-up DC input voltage ( $V_{DC,start}$ )	200 V (adj. 120...350 V)			
Operating DC input voltage range ( $V_{DC,min}...V_{DC,max}$ )	0.7 x $V_{DC,start}$ ...580 V (min 90 V)			
Rated DC input voltage ( $V_{DC}$ )	360 V			
Rated DC input power ( $P_{DC}$ )	3500 W	4250 W	4750 W	5150 W
Number of independent MPPT	2			
Maximum DC input power for each MPPT ( $P_{MPPT,max}$ )	2000 W	3000 W	3000 W	3500 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at $P_{DC}$	170...530 V	130...530 V	150...530 V	145...530 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from Max to Null [ $530VsV_{MPPT} \leq 580V$ ]			
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at $P_{DC}$ , max unbalance example	2000 W [ $200 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{DC} - 2000 W$ [ $112 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3000 W [ $190 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{DC} - 3000 W$ [ $90 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3000 W [ $190 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{DC} - 3000 W$ [ $90 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3500 W [ $200 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{DC} - 3500 W$ [ $90 VsV_{MPPT} \leq 530 V$ ]
Maximum DC input current ( $I_{DC,max}$ ) / for each MPPT ( $I_{MPPT,max}$ )	20.0 / 10.0	32.0 / 16.0 A	32.0 / 16.0 A	38.0 / 19.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	12.5	20.0	20.0	22.0
Number of DC input pairs for each MPPT	1			
DC connection type <sup>1)</sup>	Quick Fit PV Connector			
<b>Input protection</b>				
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source			
Input over voltage protection for each MPPT-varistor	Yes			
Photovoltaic array isolation control	According to local standard			
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	25 A / 600 V			
<b>Output side</b>				
AC grid connection type	Single-phase			
Rated AC power ( $P_{AC}$ @ $\cos\phi=1$ )	3300 W	4000 W	4600 W	5000 W
Maximum AC output power ( $P_{AC,max}$ @ $\cos\phi=1$ )	3300 W	4000 W <sup>2)</sup>	4600 W	5000 W
Maximum apparent power ( $S_{AC}$ )	3300 VA	4000 VA <sup>2)</sup>	4600 VA	5000 VA
Rated AC grid voltage ( $V_{AC}$ )	230 V			
AC voltage range <sup>3)</sup>	180...264 V			
Maximum AC output current ( $I_{AC,max}$ )	14.5 A	17.2 A	20.0 A	22.0 A
Contributory fault current	16.0 A	19.0 A	22.0 A	24.0 A
Rated output frequency (f) <sup>4)</sup>	50/60 Hz			
Output frequency range ( $f_{min}...f_{max}$ ) <sup>5)</sup>	47...53/57...63 Hz			
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. $\pm 0.1 - 1$ (over/under excited)			
Total current harmonic distortion	< 3.5			
AC connection type	Female connector from panel			
<b>Output protection</b>				
Anti-islanding protection	According to local standard			
Maximum external AC overcurrent protection	20.0 A	25.0 A	25.0 A	32.0 A
Output overvoltage protection - varistor	2 (L - N / L - PE)			

Anexo 15. Ficha técnica del Baterías.



DATA SHEET

SOLAR SAGM 12 205

MODEL SAGM 12 205  
 VOLTAGE 12  
 CAPACITY 205Ah @ 20Hr  
 MATERIAL Polypropylene  
 BATTERY VRLA AGM / Non-Spillable / Maintenance-Free  
 COLOR Maroon  
 WATERING No Watering Required  
 IEC 61427 8+ Years Life



12 VOLT

PHYSICAL SPECIFICATIONS

MODEL NAME	TERMINAL TYPE	DIMENSIONS * INCHES (mm)			WEIGHT * LBS. (kg)	HANDLES	INSTALLATION ORIENTATION
		LENGTH	WIDTH	HEIGHT †			
SAGM 12 205	MBLT	14.87 (380)	8.94 (178)	14.07 (357)	122 (55)	Braided Rope	Horizontal and Vertical

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

VOLTAGE	CAPACITY † AMP-HRS (Ah)						ENERGY (Wh)	INTERNAL RESISTANCE (mΩ)	SHORT CIRCUIT CURRENT (amps)
	10-Hr	20-Hr	40-Hr	75-Hr	100-Hr	20-Hr			
12	174	205	210	213	215	2.48	4.5	2788	

CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGE VOLTAGE SETTINGS (At 77°F/25°C)				
SYSTEM VOLTAGE	12V	24V	36V	48V
Maximum Charge Current (A)	20% of C <sub>20</sub>			
Absorption Voltage (2.40 V/cell)	14.40	28.80	43.20	57.60
Float Voltage (2.25 V/cell)	13.50	27.00	40.50	54.00

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

ADD	SUBTRACT
0.005 volt per cell for every 1°C below 25°C 0.0028 volt per cell for every 1°F below 77°F	0.005 volt per cell for every 1°C above 25°C 0.0028 volt per cell for every 1°F above 77°F

OPERATIONAL DATA

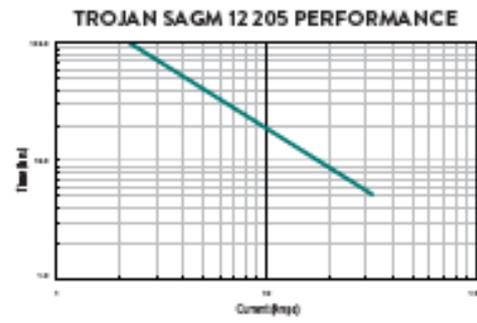
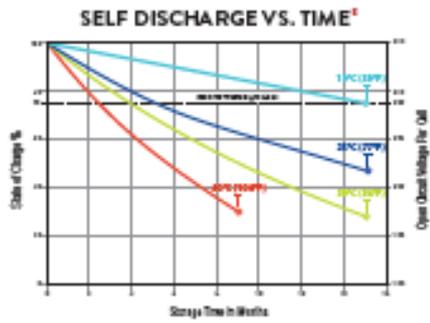
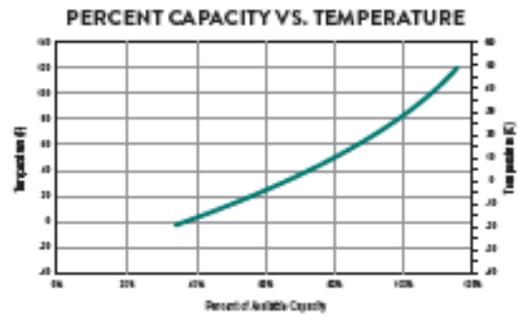
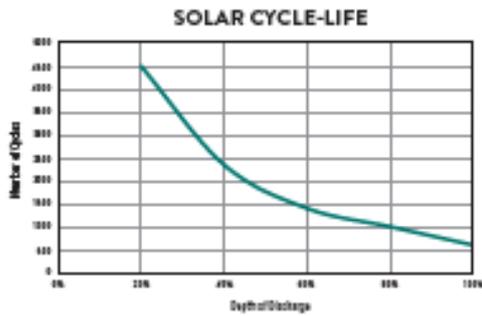
OPERATING TEMPERATURE	SELF-DISCHARGE
-4°F to 122°F (-20°C to +50°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	Less than 3% per month depending on storage temperature conditions.

RECYCLE RESPONSIBLY

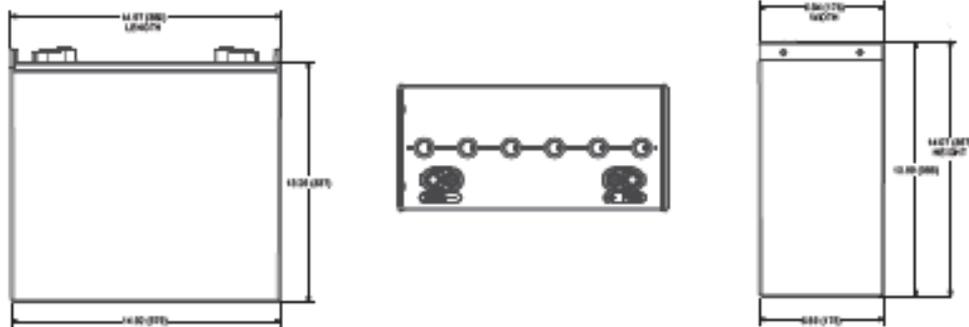


STATE OF CHARGE MEASURE OF OPEN-CIRCUIT VOLTAGE

PERCENTAGE CHARGE	CELL	12 VOLT
100	2.14	12.84
75	2.00	12.54
50	1.94	12.24
25	1.80	11.94
0	1.74	11.64



### BATTERY DIMENSIONS



### TERMINAL TYPE<sup>2</sup>

15	M8	M8	15	M8	M8 WITH LT ADAPTER (ADAPTER PROVIDED BUT NOT INSTALLED)
	<b>Battery Height with Terminal in inches (mm)</b> 14.07 (357)	<b>Torque Values in-lb (Nm)</b> Bolt 25 - 50 (10 - 11)		<b>Battery Height with Terminal in inches (mm)</b> 15.57 (395)	<b>Torque Values in-lb (Nm)</b> Conversion to M8: 25 - 50 (10 - 11) Conversion to LT: 65 - 75 (7.5 - 8.5) <b>Bolt Size</b> M8 x 1.25

- The dimension of height for the battery with terminal is 14.07 inches (357 mm) for the battery with terminal and 15.57 inches (395 mm) for the battery with terminal and adapter.
- The torque values are approximate only.
- Always use the correct torque wrench and use the correct torque value.
- Always use the correct torque wrench and use the correct torque value.

Designed in compliance with applicable ISO, DIN, BS and IEC standards.  
 Tested in compliance to ISO and IEC standards.

Anexo 16.



DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ UE  
EU DECLARATION OF CONFORMITY

Delta Ohm S.r.L. a socio unico – Via Marconi 5 – 35030 Caselle di Selvazzano – Padova – ITALY

Documento Nr. / Mese.Anno: **5082 / 03.2021**  
Document-No. / Month. Year :

Si dichiara con la presente, in qualità di produttore e sotto la propria responsabilità esclusiva, che i seguenti prodotti sono conformi ai requisiti di protezione definiti nelle direttive del Consiglio Europeo:  
*We declare as manufacturer herewith under our sole responsibility that the following products are in compliance with the protection requirements defined in the European Council directives:*

Codice prodotto: **LPPYRA03 – LPPYRA03AC – LPPYRA03AV**  
Product identifier : **LPPYRA03S – LPPYRA03S12 – LPPYRA03ACS**

Descrizione prodotto: **Piranometro**  
Product description : **Pyranometer**

I prodotti sono conformi alle seguenti Direttive Europee:  
*The products conform to following European Directives:*

Direttive / Directives	
2014/30/EU	Direttiva EMC / EMC Directive
2014/35/EU	Direttiva bassa tensione / Low Voltage Directive
2011/65/EU - 2015/863/EU	RoHS / RoHS

Norme armonizzate applicate o riferimento a specifiche tecniche:  
*Applied harmonized standards or mentioned technical specifications:*

Norme armonizzate / Harmonized standards	
EN 61010-1:2010	Requisiti di sicurezza elettrica / Electrical safety requirements
EN 61326-1:2013	Requisiti EMC / EMC requirements
EN 50581:2012	RoHS / RoHS

Il produttore è responsabile per la dichiarazione rilasciata da:  
*The manufacturer is responsible for the declaration released by:*

Alessandro Perego  
Amministratore delegato  
Chief Executive Officer

Caselle di Selvazzano, 22/03/2021

Questa dichiarazione certifica l'accordo con la legislazione armonizzata menzionata, non costituisce tuttavia garanzia delle caratteristiche.  
*This declaration certifies the agreement with the harmonization legislation mentioned, contained however no warranty of characteristics.*

## Anexo 17.

# Spectrally Flat Class C Pyranometer

## LPPYRA03

### ○ ACCORDING TO THE STANDARD

Follows recommendations of the WMO  
fully compliant with ISO 9060:2018

### ○ GREAT FLEXIBILITY

Wide availability of standard output signals  
for easy integration in any installation

### ○ EASY TO SET UP AND QUICK TO INSTALL

Rugged housing with low temperature response  
Integrated levelling device for perfect positioning

### ○ ACCURATE AND RELIABLE SYSTEM

High reliability  
Individual Calibration Reports for each instrument

### ○ HIGH IMMUNITY AGAINST INTERFERENCE

Protected against overpower and fully electrically  
isolated from any mounting surface



### Main Applications

PV monitoring  
Solar energy  
Meteorology  
Agriculture

## Measuring solar efficiency

The LPPYRA03 series has been designed to provide the **best economical solution** for measuring **solar efficiency**.

The pyranometers in this series are all based on the thermopile principle, **very accurate**. This principle provides a  $\mu\text{V}$  signal without the need of an external power supply. To be able to transfer the signal over a longer distance and to prevent interference, mostly types are equipped with an integrated transmitter. When using a 4-20 mA, 0-10 VDC or RS485 Modbus-RTU output, an external active power supply is necessary. The output of these series is always related to  $\text{W}/\text{m}^2$ , making it possible to have a relation to the total solar panel surface.

All our pyranometers are made in a way that the electrical system is totally isolated from the housing, making it possible to mount the pyranometer on any surface, including metal ones, without the need of isolation.

Delta OHM is one of the main pyranometer producers worldwide. We produce a full range of pyranometers according to the **ISO 9060: 2018 - Spectrally Flat Class A, B and C**.

Each of our pyranometers is **calibrated separately** during production; all are supplied standard with a Report of Calibration in accordance with the ISO 9847:1992. Next to this, we are the only pyranometer producer that has invested in a full range of 6 accredited ISO 17025 Calibration Laboratories.

Pyranometers can be used **as stand-alone or in combination with our weather stations**. Delta OHM provides a full range of data loggers with integrated GSM/3G/4G modem to read and transfer measured data to any database or Cloud solution.

## Technical Specifications

Sensor	Thermopile
Typical Sensitivity	5 ± 15 µV/Wm <sup>-2</sup>
Impedance	33 ± 45 Ω
Measuring range	0 ÷ 2000 W/m <sup>2</sup>
Viewing angle	2π sr
Spectral range (50%)	300 ÷ 2800 nm
Operating temperature/ humidity	-40 ÷ 80 °C 0 ÷ 100 % RH
Output	Depending on the model: - Analog in µV/Wm <sup>-2</sup> - Analog 4÷20 mA - Analog 0÷1 V, 0÷5 V or 0÷10 V - Double output: Analog 4÷20 mA + Digital RS485 Modbus-RTU - Digital RS485 Modbus-RTU - Digital SDI-12
Power supply	10÷30 Vdc (4÷20 mA - 0÷1 V - 0÷5 V outputs) 15÷30 Vdc (0÷10 V output) 5÷30 Vdc (RS485 Modbus-RTU) 7÷30 Vdc (SDI-12)
Consumption	< 200 µA for SDI-12 version
Connection	- 4-pole M12 connector for analog output models - 8-pole M12 connector for digital and double output models
Accuracy of levelling device	< 0.2°
Protection Degree	IP 67
MTBF	> 10 years

### Dimensions



## ISO 9060:2018 Technical Specifications

Classification	Spectrally Flat Class C	
Response time (95%)	< 20 s	
Zero offset	a) response to a 200 W/m <sup>2</sup> thermal radiation	<  ±15  W/m <sup>2</sup>
	b) response to a 5 K/h change in ambiente temperature	<  ±4  W/m <sup>2</sup>
	c) total zero off-set including the effects a), b) and other sources	<  ±20  W/m <sup>2</sup>
Long-term Instability (1 year)	<  ±1  %	
Non-linearity	<  ±1.5  %	
Response according to the cosine law	<  ±20  W/m <sup>2</sup>	
Spectral error	<  ±2  %	
Temperature response (-10...+40 °C)	< 3 %	
Tilt response	<  ±2  %	

## Ordering Codes

LPPYRA03	Blank = Analog In µV/Wm <sup>2</sup> AC = Analog 4÷20 mA AV = Analog 0÷1 V, 0÷5 V or 0÷10 (to be defined when ordering) ACS = Analog 4÷20 mA + digital Modbus-RTU S = Digital RS485 Modbus-RTU S12 = Digital SDI-12
----------	--

All pyranometers are supplied with levelling device and Calibration Report.

### Accessories

LPS2	Kit including fixing and Ø16 x 500 mm rod.
LPS3	Fixing bracket suitable for Ø40 ÷ 50 mm mast. Installation on horizontal or vertical mast.
LPRING04	Adjustable holder for mounting the pyranometer in an inclined position on Ø40 mm mast with internal thread.
HD2003.77/40	Clamping for mast Ø 40 mm for installation on a transverse mast.
LPS6	Installation kit including: 750 mm mast, base fitting, graduated support plate, bracket for pyranometers.
CPM12AA4.xx	Cable for LPPYRA03 / 03AC / 03AV models. M12 connector on one end, open wires on the other end (2, 5 or 10 m).
CPM12-8D.xx	Cable for LPPYRA03S / 03S12. M12 connector on one end, open wires on the other end (2, 5 or 10 m).
CPM12-8DA.xx	Cable for LPPYRA03ACS. M12 connector on one end, open wires on the other end (2, 5 or 10 m).
CP24	PC connecting cable for the RS485 MODBUS parameters configuration (only for models with RS485 output).
LPRING13	Ring base for measuring the diffused radiation.

**Delta OHM**

Member of GHM GROUP

In order to ensure the quality of our instruments, we are constantly re-evaluating our products. Improvements can imply changes in specification; we advise you to always check our website for the newest version of our documentation.

We look forward to your enquiry:

Phone +39 049 89 77 150

Email: sales@deltaohm.com

Delta OHM S.r.l.

Single Member Company subject to direction and coordination of

GHM MESSTECHNIK GmbH

Via Marconi 5 | 35030 Caselle di Selvazzano (PD) | ITALY

Rev.1.3 - 03.21

Anexo 18.

**Proyección de tendencia con el elemento estacional  
Ahorro entre el Sistema convencional vs Sistema  
fotovoltaico**

t	año	Mes		Índice	PRONOSTICO
17	2022	Mayo	10884.34	2.15	23401.3316
18	2022	Junio	10923.44	2.30	25091.142
19	2022	Julio	10962.54	2.38	26112.770
20	2022	Agosto	11001.64	2.44	26832.999
21	2022	Setiembre	11040.74	2.15	23737.589
22	2022	Octubre	11079.84	2.30	25450.390
23	2022	Noviembre	11118.94	2.38	26485.312
24	2022	Diciembre	11158.04	2.44	27214.456
25	2023	Enero	11197.14	2.15	24073.847
26	2023	Febrero	11236.24	2.30	25809.638
27	2023	Marzo	11275.34	2.38	26857.854
28	2023	Abril	11314.44	2.44	27595.913
29	2023	Mayo	11353.54	2.15	24410.105
30	2023	Junio	11392.64	2.30	26168.887
31	2023	Julio	11431.74	2.38	27230.396
32	2023	Agosto	11470.84	2.44	27977.370
33	2023	Setiembre	11509.94	2.15	24746.362
34	2023	Octubre	11549.04	2.30	26528.135
35	2023	Noviembre	11588.14	2.38	27602.939
36	2023	Diciembre	11627.24	2.44	28358.827
37	2024	Enero	11666.33	2.15	25082.620
38	2024	Febrero	11705.43	2.30	26887.383
39	2024	Marzo	11744.53	2.38	27975.481
40	2024	Abril	11783.63	2.44	28740.284
41	2024	Mayo	11822.73	2.15	25418.878
42	2024	Junio	11861.83	2.30	27246.632
43	2024	Julio	11900.93	2.38	28348.023
44	2024	Agosto	11940.03	2.44	29121.741
45	2024	Setiembre	11979.13	2.15	25755.136
46	2024	Octubre	12018.23	2.30	27605.880
47	2024	Noviembre	12057.33	2.38	28720.565
48	2024	Diciembre	12096.43	2.44	29503.198
49	2025	Enero	12135.53	2.15	26091.393
50	2025	Febrero	12174.63	2.30	27965.128
51	2025	Marzo	12213.73	2.38	29093.108

52	2025	Abril	12252.83	2.44	29884.655
53	2025	Mayo	12291.93	2.15	26427.651
54	2025	Junio	12331.03	2.30	28324.377
55	2025	Julio	12370.13	2.38	29465.650
56	2025	Agosto	12409.23	2.44	30266.112
57	2025	Setiembre	12448.33	2.15	26763.909
58	2025	Octubre	12487.43	2.30	28683.625
59	2025	Noviembre	12526.53	2.38	29838.192
60	2025	Diciembre	12565.63	2.44	30647.569
61	2026	Enero	12604.73	2.15	27100.166
62	2026	Febrero	12643.83	2.30	29042.874
63	2026	Marzo	12682.93	2.38	30210.735
64	2026	Abril	12722.03	2.44	31029.026
65	2026	Mayo	12761.13	2.15	27436.424
66	2026	Junio	12800.23	2.30	29402.122
67	2026	Julio	12839.33	2.38	30583.277
68	2026	Agosto	12878.43	2.44	31410.483
69	2026	Setiembre	12917.53	2.15	27772.682
70	2026	Octubre	12956.63	2.30	29761.370
71	2026	Noviembre	12995.73	2.38	30955.819
72	2026	Diciembre	13034.83	2.44	31791.940
73	2027	Enero	13073.93	2.15	28108.939
74	2027	Febrero	13113.03	2.30	30120.619
75	2027	Marzo	13152.12	2.38	31328.361
76	2027	Abril	13191.22	2.44	32173.397
77	2027	Mayo	13230.32	2.15	28445.197
78	2027	Junio	13269.42	2.30	30479.867
79	2027	Julio	13308.52	2.38	31700.904
80	2027	Agosto	13347.62	2.44	32554.854
81	2027	Setiembre	13386.72	2.15	28781.455
82	2027	Octubre	13425.82	2.30	30839.115
83	2027	Noviembre	13464.92	2.38	32073.446
84	2027	Diciembre	13504.02	2.44	32936.311
85	2028	Enero	13543.12	2.15	29117.713
86	2028	Febrero	13582.22	2.30	31198.364
87	2028	Marzo	13621.32	2.38	32445.988
88	2028	Abril	13660.42	2.44	33317.768
89	2028	Mayo	13699.52	2.15	29453.970
90	2028	Junio	13738.62	2.30	31557.612
91	2028	Julio	13777.72	2.38	32818.530
92	2028	Agosto	13816.82	2.44	33699.225
93	2028	Setiembre	13855.92	2.15	29790.228
94	2028	Octubre	13895.02	2.30	31916.860

95	2028	Noviembre	13934.12	2.38	33191.073
96	2028	Diciembre	13973.22	2.44	34080.682
97	2029	Enero	14012.32	2.15	30126.486
98	2029	Febrero	14051.42	2.30	32276.109
99	2029	Marzo	14090.52	2.38	33563.615
100	2029	Abril	14129.62	2.44	34462.139
101	2029	Mayo	14168.72	2.15	30462.743
102	2029	Junio	14207.82	2.30	32635.357
103	2029	Julio	14246.92	2.38	33936.157
104	2029	Agosto	14286.02	2.44	34843.596
105	2029	Setiembre	14325.12	2.15	30799.001
106	2029	Octubre	14364.22	2.30	32994.605
107	2029	Noviembre	14403.32	2.38	34308.699
108	2029	Diciembre	14442.42	2.44	35225.053
109	2030	Enero	14481.52	2.15	31135.259
110	2030	Febrero	14520.62	2.30	33353.854
111	2030	Marzo	14559.72	2.38	34681.242
112	2030	Abril	14598.81	2.44	35606.510
113	2030	Mayo	14637.91	2.15	31471.517
114	2030	Junio	14677.01	2.30	33713.102
115	2030	Julio	14716.11	2.38	35053.784
116	2030	Agosto	14755.21	2.44	35987.967
117	2030	Setiembre	14794.31	2.15	31807.774
118	2030	Octubre	14833.41	2.30	34072.350
119	2030	Noviembre	14872.51	2.38	35426.326
120	2030	Diciembre	14911.61	2.44	36369.424
121	2031	Enero	14950.71	2.15	32144.032
122	2031	Febrero	14989.81	2.30	34431.599
123	2031	Marzo	15028.91	2.38	35798.868
124	2031	Abril	15068.01	2.44	36750.881
125	2031	Mayo	15107.11	2.15	32480.290
126	2031	Junio	15146.21	2.30	34790.847
127	2031	Julio	15185.31	2.38	36171.411
128	2031	Agosto	15224.41	2.44	37132.338
129	2031	Setiembre	15263.51	2.15	32816.547
130	2031	Octubre	15302.61	2.30	35150.096
131	2031	Noviembre	15341.71	2.38	36543.953
132	2031	Diciembre	15380.81	2.44	37513.795
133	2032	Enero	15419.91	2.15	33152.805
134	2032	Febrero	15459.01	2.30	35509.344
135	2032	Marzo	15498.11	2.38	36916.495
136	2032	Abril	15537.21	2.44	37895.252
137	2032	Mayo	15576.31	2.15	33489.063

138	2032	Junio	15615.41	2.30	35868.592
139	2032	Julio	15654.51	2.38	37289.038
140	2032	Agosto	15693.61	2.44	38276.709
141	2032	Setiembre	15732.71	2.15	33825.321
142	2032	Octubre	15771.81	2.30	36227.841
143	2032	Noviembre	15810.91	2.38	37661.580
144	2032	Diciembre	15850.01	2.44	38658.166
145	2033	Enero	15889.11	2.15	34161.578
146	2033	Febrero	15928.21	2.30	36587.089
147	2033	Marzo	15967.31	2.38	38034.122
148	2033	Abril	16006.41	2.44	39039.623
149	2033	Mayo	16045.51	2.15	34497.836
150	2033	Junio	16084.60	2.30	36946.337
151	2033	Julio	16123.70	2.38	38406.664
152	2033	Agosto	16162.80	2.44	39421.080
153	2033	Setiembre	16201.90	2.15	34834.094
154	2033	Octubre	16241.00	2.30	37305.586
155	2033	Noviembre	16280.10	2.38	38779.207
156	2033	Diciembre	16319.20	2.44	39802.537
157	2034	Enero	16358.30	2.15	35170.351
158	2034	Febrero	16397.40	2.30	37664.834
159	2034	Marzo	16436.50	2.38	39151.749
160	2034	Abril	16475.60	2.44	40183.994
161	2034	Mayo	16514.70	2.15	35506.609
162	2034	Junio	16553.80	2.30	38024.082
163	2034	Julio	16592.90	2.38	39524.291
164	2034	Agosto	16632.00	2.44	40565.451
165	2034	Setiembre	16671.10	2.15	35842.867
166	2034	Octubre	16710.20	2.30	38383.331
167	2034	Noviembre	16749.30	2.38	39896.833
168	2034	Diciembre	16788.40	2.44	40946.908
169	2035	Enero	16827.50	2.15	36179.125
170	2035	Febrero	16866.60	2.30	38742.579
171	2035	Marzo	16905.70	2.38	40269.376
172	2035	Abril	16944.80	2.44	41328.365
173	2035	Mayo	16983.90	2.15	36515.382
174	2035	Junio	17023.00	2.30	39101.827
175	2035	Julio	17062.10	2.38	40641.918
176	2035	Agosto	17101.20	2.44	41709.822
177	2035	Setiembre	17140.30	2.15	36851.640
178	2035	Octubre	17179.40	2.30	39461.076
179	2035	Noviembre	17218.50	2.38	41014.460
180	2035	Diciembre	17257.60	2.44	42091.279

Anexo 19. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico aislado mina Gioconda

