



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

para optar el título profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

TÍTULO

**Viabilidad técnica y económica de un sistema de
generación distribuida como alternativa para
reducir el consumo eléctrico convencional en la
Municipalidad de Trujillo – La Libertad**

AUTOR:

Bach. Luis Alfonso Correa Bobadilla

ASESOR:

Ing. Robinson Tapia Asenjo

Fecha de sustentación: 03/06/2025

Lambayeque – Perú

2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

para optar el título profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

TÍTULO

**Viabilidad técnica y económica de un sistema de
generación distribuida como alternativa para
reducir el consumo eléctrico convencional en la
Municipalidad de Trujillo – La Libertad**

AUTOR:

Bach. Luis Alfonso Correa Bobadilla

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE : Dr. Ing. Segundo Abelardo Horna Torres
SECRETARIO : Mg. Sc. Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra
MIEMBRO : Ing. Ing. Héctor Antonio Oviden Núñez
ASESOR : Ing. Robinson Tapia Asenjo

Lambayeque – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Viabilidad técnica y económica de un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad de Trujillo – La Libertad

CONTENIDOS:

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Autor: Bach. Luis Alfonso Correa Bobadilla

Dr. Ing. Segundo Abelardo Horna Torres
PRESIDENTE

Mg. Sc. Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra
SECRETARIO

Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez
MIEMBRO

Ing. Robinson Tapia Asenjo
ASESOR

Bach. Luis Alfonso Correa Bobadilla
Autor

Lambayeque – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACION N°083-2025-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:00 a.m. del día martes 03 de junio 2025. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°153-2025-D-FIME, de fecha 29 de mayo 2025, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis ordinaria, conformado por los siguientes catedráticos:

- | | |
|---|------------|
| • Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES | PRESIDENTE |
| • M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA | SECRETARIO |
| • ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ | MIEMBRO |
| • ING. ROBINSON TAPIA ASENJO | ASESOR |

Se recibió la Tesis ordinaria titulada:

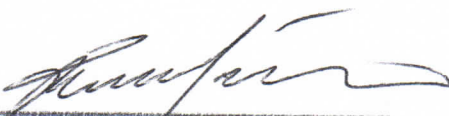
"VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR EL CONSUMO ELÉCTRICO CONVENCIONAL EN LA MUNICIPALIDAD DE TRUJILO- LA LIBERTAD"

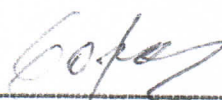
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **CORREA BOBADILLA LUIS ALFONSO.**


Finalizada la sustentación de la Tesis ordinaria, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (15) en la escala vigesimal, mención Regular.

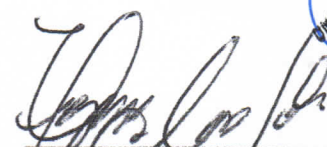
Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

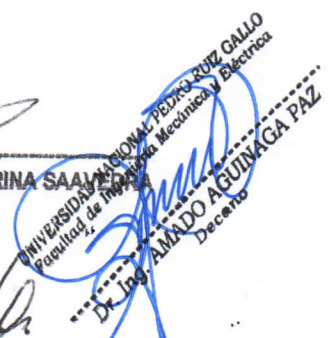
Siendo las 11:50 am. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA
SECRETARIO


ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ
MIEMBRO


ING. ROBINSON TAPIA ASENJO
ASESOR



ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **Ing. Robinson Tapia Asenjo**, usuario revisor del documento titulado: **“VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR EL CONSUMO ELÉCTRICO CONVENCIONAL EN LA MUNICIPALIDAD DE TRUJILLO – LA LIBERTAD”**

Cuyo autor es, **Correa Bobadilla Luis Alfonso**, identificado con documento de identidad **N° 75509816** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **13%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 10 de marzo del 2026



.....

ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

DNI: 16742683

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

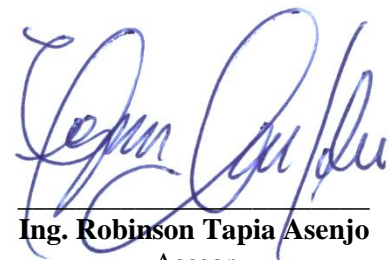
Viabilidad técnica y económica de un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad de Trujillo – La Libertad

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	5%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
8	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%

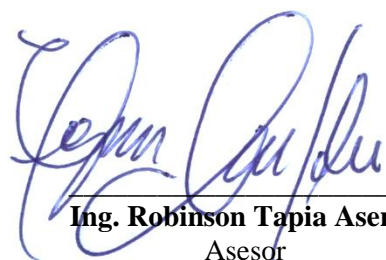


Ing. Robinson Tapia Asenjo
Asesor
DNI 16742683

9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Quispe Quispe, Juan Carlos. "Evaluación sobre la implementación de un sistema de generación distribuida fotovoltaica en la ciudad universitaria de la UNA - Puno 2023", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
12	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	trujillodelperu1.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
14	repo.unlpam.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
15	1library.co Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	doczz.es Fuente de Internet	<1 %


Ing. Robinson Tapia Asenjo
 Asesor
 DNI 16742683

19	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %
22	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to 95131 Trabajo del estudiante	<1 %
25	apirepositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to UNIBA Trabajo del estudiante	<1 %
28	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica	<1 %



Ing. Robinson Tapia Asenjo
Asesor
DNI 16742683

Trabajo del estudiante

31	energyeducation.ca Fuente de Internet	<1 %
32	liebrecapital.com.ar Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
34	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
35	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
36	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
37	api-repositorio.unia.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	biblioteca.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
39	oas.org Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to Universidad Rey Juan Carlos Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Exclude assignment
template

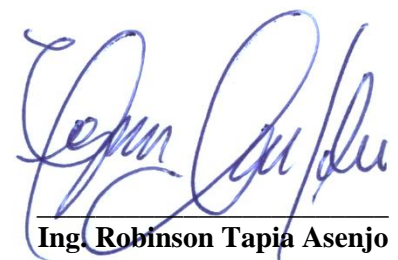
Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words



Ing. Robinson Tapia Asenjo

Asesor

DNI 16742683



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Luis Alfonso Correa Bobadilla
Título del ejercicio: Revision
Título de la entrega: Viabilidad técnica y económica de un sistema de generación di...
Nombre del archivo: TESIS_LUIS_BOBABILLA_22-5-25.docx
Tamaño del archivo: 13.34M
Total páginas: 117
Total de palabras: 17,667
Total de caracteres: 101,959
Fecha de entrega: 22-may.-2025 05:53p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2681771889



Ing. Robinson Tapia Asenjo
Asesor
DNI 16742683



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TÍTULO

Viabilidad técnica y económica de un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad de Trujillo – La Libertad

CONTENIDOS:

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bach. Luis Alfonso Correa Bobadilla

Lambayeque – Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios:

Por bendecirme con salud, sabiduría y fortaleza para afrontar cada día, guiándome en mi camino profesional a pesar de los desafíos. Gracias por ser mi luz y permitirme alcanzar esta meta tan anhelada: la culminación de mi tesis.

A mi madre:

Janet Bobadilla Veliz, por darme la vida y ser mi apoyo incondicional. Tus consejos, enseñanzas y confianza en mí han sido mi mayor inspiración para crecer y perseverar.

A mis abuelos maternos:

A mi abuela Esperanza Veliz Bernabé, por su amor, paciencia y oraciones, y a mi abuelo Ramos Bobadilla Vargas, por su guía, afecto y consejos que han dejado huella en mi vida.

A mis hermanos:

Ricardo, Jimena, Indira y Franco, por su alegría en los momentos difíciles, por compartir este camino de aprendizaje y por enseñarme el valor de la familia. A mi sobrina Valentina Ytamar, por ser una fuente de inspiración.

A mis tíos maternos:

Liliana, Miguel y Karla Bobadilla Veliz, por ser ejemplo de superación y alentarme a seguir adelante. También a Franco Basauri, por su apoyo incondicional, y a Gregoria y José Veliz Bernabé, por su confianza y motivación.

A mi pareja:

Por su compañía constante, por ser mi sostén, mi alegría y mi mayor motivación en este camino.

AGRADECIMIENTO

Al Todopoderoso Dios, por concederme el don de la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para alcanzar nuestros objetivos, guiándonos en cada paso del camino hacia su cumplimiento.

Al asesor de mi investigación, el ingeniero Robinson Tapia Asenjo, por su valiosa orientación, constante respaldo y disposición inquebrantable para guiarnos en la realización de esta investigación, brindándonos su conocimiento y apoyo incondicional.

A mi apreciada Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por ser el espacio donde he vivido innumerables experiencias y adquiridos conocimientos fundamentales. A su distinguido cuerpo docente, cuya enseñanza y valores han sido pilares en mi formación profesional y me acompañarán a lo largo de mi carrera.

A la alcaldía de Trujillo, por facilitarnos el acceso al área de estudio, permitiéndonos recopilar la información esencial para esta investigación. A los trabajadores, cuya colaboración y disposición fueron clave para la obtención de resultados, sin los cuales este proyecto no habría sido posible.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo general determinar la viabilidad técnica y económica de un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad de Trujillo- La Libertad. El estudio fue tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo y diseño no experimental. La Municipalidad Provincial de Trujillo tiene un área construida de 1 920 m², máxima demanda de 39,26825 kW y energía promedio por día de 314,146 kWh para poder abastecer al sistema eléctrico. Del análisis, no se recomienda utilizar energía eólica porque la velocidad del viento está por debajo de la requerida para producción de electricidad y la energía solar tiene el potencial con un valor de radiación solar de 4,39 kWh/m²/día. Para el sistema de generación distribuida son necesarios 108 paneles solares de 900 Wp, 6 controladores de 200 A, 2 inversores de 20 kW, 296 baterías de 300 Ah, cable NHX-90 de 6 mm², cable NHX-90 de 95 mm², cable NHX-90 de 150 mm², dos ITM de 3x40A. La inversión para el sistema de generación distribuida con energía solar es de S/.810 463,60 incluido IGV, y se obtuvo un VAN de S/.126 753,30, TIR de 11,29% y un tiempo para recuperar la inversión de 15,16 años, demostrando la viabilidad del proyecto, pero que se recupera en el mediano plazo.

Palabras clave: Generación distribuida, energía solar, rentabilidad, energía eólica.

ABSTRACT

The general objective of the study was to determine the technical and economic viability of a distributed generation system as an alternative to reduce conventional electricity consumption in the Municipality of Trujillo- La Libertad. The study was applied, with a quantitative approach and non-experimental design. The Provincial Municipality of Trujillo has a constructed area of 1 920 m², maximum demand of 39,26825 kW and average energy per day of 314,146 kWh to supply the electrical system. From the analysis, it is not recommended to use wind energy because the wind speed is below that required for electricity production and solar energy has the potential with a solar radiation value of 4,39 kWh/m²/day. For the distributed generation system, 108 solar panels of 900 Wp, 6 controllers of 200 A, 2 inverters of 20 kW, 296 batteries of 300 Ah, NHX-90 cable of 6 mm², NHX-90 cable of 95 mm², NHX-90 cable of 150 mm², two ITM of 3x40A are necessary. The investment for the distributed generation system with solar energy is S/.810 463,60 including VAT, and a NPV of S/.126 753,30 was obtained, IRR of 11,29% and a time to recover the investment of 15,16 years, demonstrating the viability of the project, but which is recovered in the medium term.

Keywords: Distributed generation, solar energy, profitability, wind energy.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	15
Capítulo I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Delimitación de la investigación	17
1.4. Justificación e importancia	17
1.4.1. Justificación económica.....	17
1.4.2. Justificación Científica	17
1.4.3. Justificación Ambiental	17
1.5. Objetivos	18
1.5.1. Objetivo General.....	18
1.5.2. Objetivos Específicos	18
Capítulo II : MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de estudio.....	19
2.2. Base Teórica	22
2.2.1. Calentamiento global	22
2.2.2. Energía eólica.....	22

2.2.3.	Energía solar	23
2.2.4.	Generador Fotovoltaico (FV)	24
2.2.5.	Componentes principales de un panel fotovoltaico.....	26
2.2.6.	Parámetros eléctricos del panel solar fotovoltaico.....	29
2.2.6.1.	Corriente de cortocircuito (I_{sc})	29
2.2.6.2.	Voltaje de circuito abierto (VOC).....	30
2.2.6.3.	Punto de máxima potencia (PM)	30
2.2.6.4.	Corriente en el punto de máxima potencia (IPM)	30
2.2.6.5.	Voltaje en el punto de máxima potencia (VPM)	30
2.2.6.6.	Factor de relleno (FF)	31
2.2.6.7.	Eficiencia (η)	31
2.2.6.8.	Asociación de paneles FV.....	32
2.2.7.	Efecto fotovoltaico	35
2.2.8.	Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	36
2.2.8.1.	Sistemas Fotovoltaicos Aislados.....	36
2.2.8.2.	Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a la Red.....	36
2.2.9.	Componentes de una instalación solar fotovoltaica.....	37
2.2.9.1.	Baterías.....	37
2.2.9.2.	Controlador de carga	38
2.2.9.3.	Inversor solar	39
2.2.9.4.	Panel fotovoltaico.....	39
2.2.10.	Radiación solar.....	40
2.2.11.	Radiación solar en el Perú	41
2.2.12.	Irradiancia e irradiación	42
2.2.12.1.	Irradiancia	42
2.2.12.2.	Irradiación	43

2.2.13.	Horas sol pico.....	44
2.2.14.	Generación distribuida.....	44
2.2.15.	Mecanismos comerciales para la implementación de los sistemas de generación distribuida (SGD).....	46
2.2.16.	Elementos de protección para un sistema de generación fotovoltaica 48	
2.2.17.	Limpieza y mantenimiento.....	51
2.2.18.	Viabilidad técnica y económica	52
2.3.	Definición conceptual de la terminología empleada	56
Capítulo III : MARCO METODOLÓGICO		58
3.1.	Tipo y diseño de investigación	58
3.2.	Población y muestra	58
3.3.	Hipótesis	58
3.4.	Variables – Operacionalización.....	58
3.5.	Métodos y técnicas de investigación.....	60
3.6.	Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	60
Capítulo IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....		61
4.1.	Descripción del sistema propuesto.....	61
Capítulo V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS		63
5.1.	Resultados	63
5.1.1.	Calculó de la demanda de energía promedio y diaria consumida	63
5.1.2.	Análisis del potencial eólico y solar	67
5.1.3.	Selección del equipamiento electromecánico.....	70
5.1.4.	Viabilidad técnica y económica.....	82
5.2.	Discusión de resultados	86
Capítulo VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		89
6.1.	Conclusiones.....	89

6.2. Recomendaciones.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	59
Tabla 2 Máxima demanda para la Municipalidad Provincial de Trujillo	66
Tabla 3 Consumo de energía eléctrica para la Municipalidad Provincial de Trujillo	67
Tabla 4 Datos de radiación solar, temperaturas y velocidad del viento en la MPT	68
Tabla 5 Datos de radiación solar diaria en la MPT	69
Tabla 6 Datos de velocidad del viento en la MPT	70
Tabla 7 Coeficientes para estimar la eficiencia de un sistema fotovoltaico	71
Tabla 8 Parámetro para determinar la autonomía en relación al clima local.....	72
Tabla 9 Energía diaria generada por sistema fotovoltaico	74
Tabla 10 Comparativo de diferentes baterías solares	77
Tabla 11 Presupuesto del sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico	84
Tabla 12 Análisis de rentabilidad para el sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Calentamiento global.....	22
Figura 2 Interior de una turbina eólica y generación de electricidad	23
Figura 3 Espectro electromagnético.....	24
Figura 4 Célula solar fotovoltaica	25
Figura 5 Componentes de un panel fotovoltaica	26
Figura 6 Célula o celda fotovoltaica	26
Figura 7 Vidrio fotovoltaica.....	27
Figura 8 Marco de panel solar fotovoltaica.....	27
Figura 9 Película de EVA solar.....	28
Figura 10 Lámina trasera para panel solar FV	28
Figura 11 Caja de conexiones.....	29
Figura 12 Asociación en serie de módulos fotovoltaicos.....	32
Figura 13 Asociación en paralelo de módulos fotovoltaicos.....	33
Figura 14 Asociación en serie-paralelo de módulos fotovoltaicos.....	34
Figura 15 Circuito creado con una celda fotovoltaica.....	35
Figura 16 Esquema de sistema fotovoltaico aislado	36
Figura 17 Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red	37
Figura 18 Batería solar.....	38
Figura 19 Conexión del controlador de carga solar.....	38
Figura 20 Inversores solares	39
Figura 21 Conexión del inversor.....	39
Figura 22 Panel solar fotovoltaica	40
Figura 23 Radiación solar.....	41
Figura 24 Radiación solar en el Perú	42
Figura 25 Espectro de irradiancia solar y actividad fotosintética.....	43

Figura 26 Irradiancia solar total simulada sobre un área por un año de muestra.	43
Figura 27 Horas solares pico.....	44
Figura 28 Funcionamiento de la generación distribuida	46
Figura 29 Esquema de distribución con el mecanismo Net Metering.....	47
Figura 30 Esquema de distribución con el mecanismo Net Billing	48
Figura 31 Interruptor magnetotérmico	49
Figura 32 Esquema de instalación de fusible para un sistema fotovoltaica	50
Figura 33 Seccionadores de corte.....	50
Figura 34 Protector contra sobretensiones	51
Figura 35 Mantenimiento de un panel solar	52
Figura 36 Flujograma de la evaluación y desarrollo de la propuesta	62
Figura 37 Municipalidad de Trujillo.....	63
Figura 38 Área de la Municipalidad Provincial de Trujillo	64
Figura 39 Nivel de radiación difusa y global disponible en la MPT.....	68
Figura 40 Esquema de configuración del sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico.....	82

INTRODUCCIÓN

El presente estudio, titulado “Viabilidad Técnica y Económica de un Sistema de Generación Distribuida como Alternativa para Reducir el Consumo Eléctrico Convencional en la Municipalidad de Trujillo - La Libertad”, tiene como finalidad evaluar la factibilidad de implementar un sistema de generación distribuida como una solución eficiente y sostenible para optimizar el consumo energético en la municipalidad. Esta investigación busca contribuir al uso racional de la energía, promoviendo alternativas que favorezcan la eficiencia y la reducción de costos asociados al consumo eléctrico convencional.

El desarrollo del estudio se organiza en seis capítulos, los cuales abarcan desde la contextualización del problema hasta la formulación de conclusiones y recomendaciones clave.

Capítulo I: Se introduce el contexto de la problemática, abordando la situación a nivel internacional, nacional y local para comprender la magnitud y relevancia del tema. Se establece el objetivo general y los objetivos específicos que guiarán la investigación.

Capítulo II: Se presenta el marco teórico, que recopila antecedentes de estudios previos relacionados con la temática, así como los fundamentos teóricos esenciales que sustentan la investigación.

Capítulo III: Se describe el marco metodológico, en el que se detallan el enfoque y diseño de la investigación, los métodos utilizados para la recolección de datos, la definición de variables y su operacionalización.

Capítulo IV: Contiene el análisis y presentación de los resultados obtenidos a partir de la investigación. En este apartado, se interpretarán los datos en función de los objetivos propuestos, permitiendo evaluar la viabilidad del sistema de generación distribuida en términos técnicos y económicos.

Capítulo V: Se establecen las conclusiones, las cuales sintetizan los hallazgos más relevantes del estudio. Asimismo, se formulan recomendaciones orientadas a la implementación práctica de las soluciones propuestas y futuras investigaciones que puedan ampliar y fortalecer los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

De acuerdo con la Universidad del País Vasco (2022), el sector energético quien está a cargo de la creación e importación de energía, siendo la mayor causa de emisiones de gases de efecto invernadero en el país vasco, pues representa el 42% del total de emisiones. La vida actual basada en el consumismo y en el modelo energético de consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) con el uso insensato de la energía. Esto da como resultado la liberación a la atmósfera de cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI), la principal causa del cambio climático” (Universidad del País Vasco, 2022).

De este modo, la crisis energética se ha convertido paulatinamente en una crisis energética global, como resultado de lo cual los precios de la energía en los países dependientes del carbón se han elevado a niveles exorbitantes, lo que ha llevado a la imposición de medidas restrictivas de la oferta.

Según la página web de Radio Programas del Perú (RPP Noticias, 2022), en Perú se produce parte de nuestra electricidad usando gas natural que, a pesar de ser un contaminante limpio, sigue siendo un contaminante que contribuye a las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Mientras se siga utilizando fuentes de energía no renovables para la generación de electricidad, toda la energía que gastamos tendrá una porción, carga o contribuirá a las emisiones de GEI.

Es evidente que la falta de práctica perjudica la eficiencia energética, donde el 60% de la energía es aprovechada de manera adecuada y el 40% de la energía se desperdicia. Este porcentaje si fuera bien empleado podría satisfacer a familias que no tienen acceso a la energía (RPP Noticias, 2022).

La Municipalidad provincial de Trujillo frente a la situación problemática del calentamiento global y siendo una institución que trata de promover el uso de las energías renovables y con la finalidad también de mostrar que la energía

eléctrica obtenida de un sistema de generación distribuida puede competir económicamente con la energía eléctrica convencional, es que ha permitido la realización de este trabajo de investigación. La Municipalidad provincial de Trujillo paga por concepto de consumo de energía eléctrica un costo de S/. 11000.00 mensuales en promedio.

1.2. Formulación del problema

¿Es viable técnica y económicamente un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la municipalidad de Trujillo- La Libertad?

1.3. Delimitación de la investigación

El estudio se efectuó en la ciudad de Trujillo, La Libertad, Perú.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación económica

El estudio se justifica económicamente por la necesidad de reducir costos en el consumo eléctrico de la municipalidad mediante un sistema de generación distribuida, disminuyendo la dependencia de la red convencional, además de buscar evaluar su rentabilidad, el retorno de inversión y la viabilidad de un ahorro sostenible a mediano y largo plazo.

1.4.2. Justificación Científica

La justificación científica se basa en evaluar, mediante estudios técnicos, la eficiencia y viabilidad de un sistema de generación distribuida para optimizar el consumo energético, buscando validar su impacto y contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles en el sector eléctrico.

1.4.3. Justificación Ambiental

La justificación ambiental se sustenta en la necesidad de reducir el impacto ecológico del consumo eléctrico convencional mediante la generación distribuida, promoviendo el uso de energías más limpias y sostenibles.

Según Osinergmin (2009), la diversificación de fuentes energéticas contribuye a la eficiencia del sistema eléctrico ya la reducción de emisiones contaminantes, alineándose con políticas de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la viabilidad técnica y económica de un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad de Trujillo- La Libertad.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Calcular la demanda de energía promedio consumida y diaria en la Municipalidad de Trujillo – La Libertad
- b) Analizar el potencial eólico y solar municipalidad de Trujillo- La Libertad.
- c) Seleccionar los equipos y materiales necesarios para la implementación de un sistema de generación distribuida
- d) Evaluar la viabilidad técnica y económica resultante de la implementación de un sistema de generación distribuida en la Municipalidad de Trujillo – La Libertad.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Contexto Internacional

En la tesis desarrollada por Oyarzún (2016), propuso entender las variables que considera la ingeniería y el precio de financiación para la obra de un parque fotovoltaico. De modo, que la metodología usada fue seleccionar el área de construcción teniendo en cuenta que el terreno pertenezca a las instalaciones Colbún S.A., seguido se midió la radiación solar con el instrumento Explorador Solar, finalmente se realizó un modelado en Matlab sobre la generación solar de cada una de las plantas. Se concluyó que el terreno apropiado para la instalación fue en la Central Candelaria, además, en función a la tecnología se decidió usar los módulos policristalinos, pues la potencia máxima que se requiere es 50% mayor y un precio de financiación por MW de 17% menor en base a los módulos Thin Film.

En el artículo elaborado por Potes & Proaño (2020), propusieron cuantificar la porción de energía que un sistema fotovoltaico puede proporcionar al bloque B, con el fin de reducir costos del servicio eléctrico. Se evaluaron los niveles de radiación global utilizando histogramas de frecuencia, observándose que la irradiación promedio mayor fue de 5,40 kWh/(m²-día) e irradiancia media mayor de 0,931 kW/m². Posteriormente, el Analizador Fluke 435 series II, obtuvo que la potencia promedio mayor es de 35,11 kW, por tanto, el sistema fotovoltaico posee 66 paneles, con una potencia de 26,4 kW fraccionada en dos: 14,4 kW y 12 kW. De este modo, concluyó que el sistema quizás entregaría por año 30 336 kWh a la universidad, al mismo tiempo; que evita la dispersión de 18,42 T de CO₂ anualmente.

En el estudio efectuado por Gutiérrez & Olaya (2016), propusieron determinar el estado y los elementos que se necesitan para fijar una conexión óptima a la red. Ante esto, se realiza un estudio de radiación solar, una demanda residencial en Barranquilla y Bogotá, acción y particularidades de una red. Seguido se simuló un flujo de carga con 12 nodos y 39 familias residenciales,

alimentados por un transformador trifásico de 112,5 kVA. Concluyendo, que a nivel económico la incorporación de un sistema fotovoltaico conecta a red en Bogotá, es óptimo debido al alto nivel de radiación solar, al número de horas sol por día y a la inversión en menor tiempo.

Contexto Nacional

En el estudio efectuado por Barrionuevo et al. (2022), plantearon como objetivo general del determinar cómo la generación distribuida fotovoltaica puede mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico en Lunahuaná durante el año 2021. Se trata de una investigación de tipo aplicada con un diseño cuasi-experimental y un enfoque cuantitativo. La muestra empleada corresponde a la subestación eléctrica de transmisión (SET) San Vicente, que forma parte del sistema eléctrico de Lunahuaná. La metodología incluye un análisis de los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI antes y después de implementar la generación distribuida fotovoltaica. Los principales resultados muestran que la generación distribuida contribuye a la mejora significativa de estos indicadores, reduciendo la frecuencia y duración de las interrupciones en el suministro eléctrico. Como conclusión principal, se establece que la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad del sistema eléctrico de Lunahuaná, optimizando la calidad del servicio eléctrico proporcionado a los usuarios.

En la investigación desarrollada por Vásquez (2019), propuso dimensionar un sistema de micro generación distribuida para el autoconsumo. De este modo, observó que la energía utilizada por día es de 13,45 kWh con una demanda de 2,041 kW. Por otro lado, realizó una evaluación de irradiación con datos obtenidos por la NASA, donde obtuvo que varía en un rango de 4,47-5,95 kWh/m²/día. Concluyendo que el generador FV estará compuesto de 28 paneles de 330 Wp, una potencia total de 9,24 kW e inversor de 8,20 kW; teniendo en cuenta que el SFV proporciona el 93% de la energía eléctrica, y el resto es proporcionada por la concesionaria. A nivel económico el costo final es de S/.41 135,70, con una tasa de interés del 12% y en un tiempo de 25 años el VAN es de S/.5 989,64 y la TIR de 14%.

En el informe de tesis elaborado por Aguirre (2019), planteó diseñar un SFV conectado a red con el fin de ofrecer energía limpia a un reducido precio de facturación. Se utilizó la aplicación de la Nasa con varios ángulos de inclinación para evaluar las características solares, siendo el más óptimo el ángulo de 5° donde se observó una radiación mínima de 3,18 kWh/m². Es así como planteó un sistema de 8 paneles con 310 Wp; a nivel económico se tiene una inversión de S/.15714,34 con un periodo de recuperación de 8,995 años; un VAN de S/.142,34 y un TIR de 10% basándose en un periodo de vida útil de 25 años.

Contexto Local

En la investigación desarrollada por Lizana (2020), planteó dimensionar un sistema de energía renovable empalmado a la red. Para esto, utiliza un analizador de redes obteniendo un promedio de 16,16 kWh con una máxima demanda de 1,1 kW; además, utiliza el programa Meteonorm para medir la irradiación, obteniendo que cambian en el rango de 4,93 y 5,73 kW/m²/día. Concluyendo que las condiciones son óptimas para su instalación, por esto se planteó que el sistema estuviera formado por 8 paneles FV de 320 Wp, un inversor de 2 kW y una potencia de 2,56 kWp. A nivel económico, el presupuesto fue S/.15 552,10, al aplicar una tasa de 12% se obtuvo para un futuro de 25 años un VAN de S/.3 341,43 y un TIR de 14%.

En el estudio elaborado por López (2019), propuso diseñar un SFV ensamblado a red con el fin de disminuir las consecuencias negativas generadas por el consumo de energías convencionales. Para esto se analizó el consumo de energía de la empresa, obteniéndose un consumo máximo de 2 200 kWh con un gasto de S/.1 643,40; en un tiempo de once meses se obtuvo un promedio de 134,364 kWh. En cuanto a la irradiación según MINEN se encuentra en un rango de 5,5-6 kWh/m²/día. Concluyendo, que el SFV está conformado por 48 paneles con una inclinación de 16° y una potencia de 13,8 kW, un vatímetro y tres inversores; con el fin abastecer una demanda de 73,300 kWh diarios. A nivel económico, con una tasa de 10%, el VAN es de S/.12 874,08 y un TIR de 12%, de modo que el diseño resulta ser factible tanto

a nivel técnico como económico.

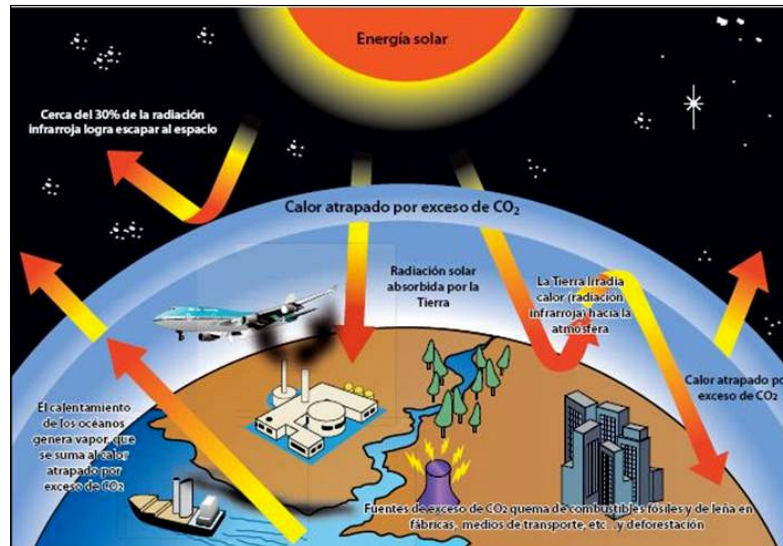
2.2. Base Teórica

2.2.1. Calentamiento global

El calentamiento global se refiere al fenómeno de aumento progresivo de la temperatura promedio de la Tierra, principalmente debido a la acumulación de energía en el sistema atmosférico como resultado de actividades humanas que incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero. Un estudio reciente que analizó modelos de proyección climática indica que, en marzo de 2022, la temperatura global no superó significativamente el aumento observado en la última década. Además, se desarrollaron modelos para predecir los niveles futuros de temperatura global, confirmando que la relación entre el tiempo y la temperatura global sigue una tendencia creciente (Liu et al., 2023).

Figura 1

Calentamiento global



Nota: Obtenida de (Responsabilidad Social, 2022).

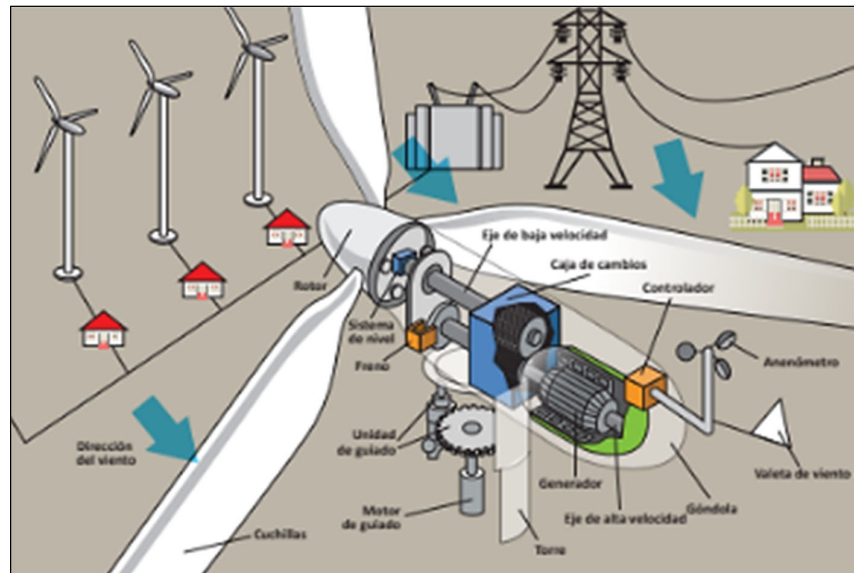
2.2.2. Energía eólica

El viento es la fuente de esta energía, que consiste en la energía cinética producida por las corrientes de aire, la cual se transforma en formas útiles

de energía para diversas actividades humanas. La energía eólica, que aprovecha un recurso inagotable como el viento para generar electricidad, representa una inversión sostenible y valiosa para el futuro. Actualmente, la energía eólica se emplea principalmente para generar electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución. Es importante destacar que la radiación solar no afecta de manera uniforme a la superficie terrestre; algunas zonas son más cálidas, lo que hace que el aire en ellas sea menos denso y tienda a subir, creando áreas de baja presión. En cambio, en las zonas más frías, el aire desciende y se vuelve más denso, formando áreas de alta presión. Esta diferencia de presión es lo que provoca el movimiento del aire y, por lo tanto, la formación del viento (Vásquez et al., 2017).

Figura 2

Interior de una turbina eólica y generación de electricidad



Nota: Obtenida de (Vásquez et al., 2017).

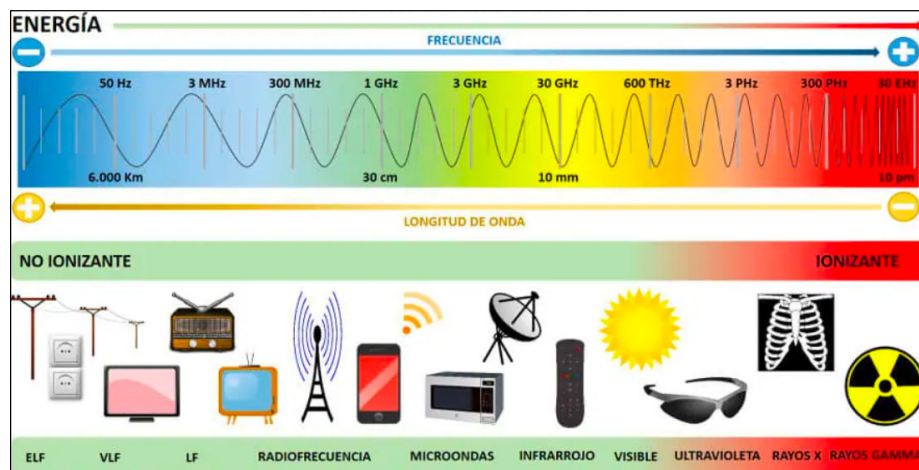
2.2.3. Energía solar

La radiación solar es la energía emitida por el sol, la cual juega un papel crucial en el balance térmico de la atmósfera y en numerosos procesos ambientales, como la fotosíntesis y la evapotranspiración. Un estudio reciente mostró que la radiación solar puede ser estimada con alta precisión

utilizando modelos de aprendizaje automático, como las redes neuronales y los modelos de regresión, los cuales han demostrado ser herramientas efectivas para predecir la radiación solar diaria y mensual (Taki et al., 2021).

Como se mencionó anteriormente, la radiación solar tiene un impacto significativo en los sistemas climáticos y en la producción de energía renovable. Es esencial mejorar las estimaciones de la radiación solar para optimizar su aprovechamiento en aplicaciones como la agricultura y la generación de energía (Nugraha & Adriansyah, 2022).

Figura 3
Espectro electromagnético



Nota: Obtenida de (Jaramillo, 2024).

2.2.4. Generador Fotovoltaico (FV)

Dispositivo que convierte la energía solar en electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas, las cuales aprovechan el efecto fotoeléctrico para generar corriente continua. Esta tecnología es fundamental en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, ya que permite la producción de electricidad sin emisiones contaminantes (Ríos et al., 2020).

Celdas o células fotovoltaicas

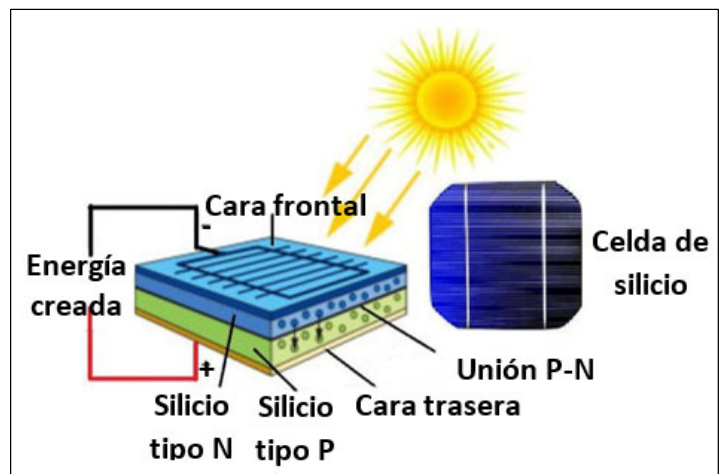
Llamadas celdas FV, son diodos semiconductores que convierten la luz visible en corriente continua (DC) cuando se expone a fotones o partículas de luz, esta generación es denominada efecto fotovoltaico (Almanza-

Fundora et al., 2019).

Las células FV están compuestas de material semiconductor, como el silicio. Para la generación de electricidad, los electrones deben crear un flujo en igual sentido, para lo cual se utiliza silicio en 2 formas. Una superficie de silicio se expone al sol porque se dopa con átomos de fósforo (porque el fósforo tiene un electrón adicional en relación al silicio) y la superficie opuesta se dopa con átomos de boro (ya que posee un electrón menos). Entonces, la capa que tiene un exceso de electrones se convierte en el terminal negativo (n) y el lado que tiene un déficit se convierte en el terminal positivo (p); formándose un campo eléctrico en la unión entre las dos capas. Finalmente, esta corriente se extrae por contactos metálicos conductores para poder alimentar la red eléctrica (Llorens, 2023).

Figura 4

Célula solar fotovoltaica

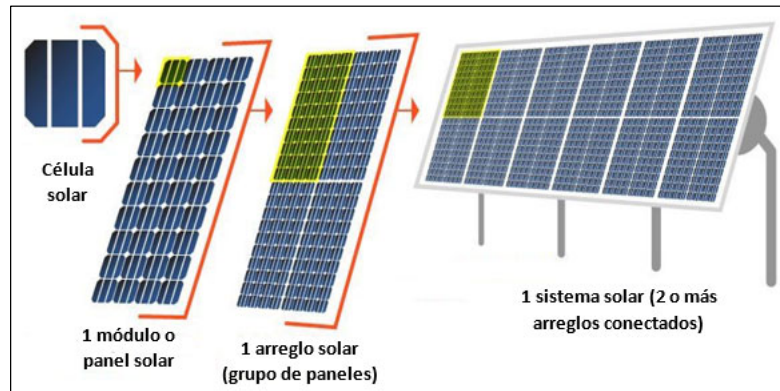


Nota: Obtenida de (Mártel, 2015).

Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es un dispositivo que convierte la energía solar en energía eléctrica a través de celdas fotovoltaicas, que son semiconductores capaces de generar corriente eléctrica cuando se exponen a la luz solar. Este tipo de tecnología es ampliamente utilizada en sistemas de energía renovable debido a su capacidad para generar electricidad limpia y sostenible sin la necesidad de combustibles fósiles (Feksa et al., 2020).

Figura 5
Componentes de un panel fotovoltaica



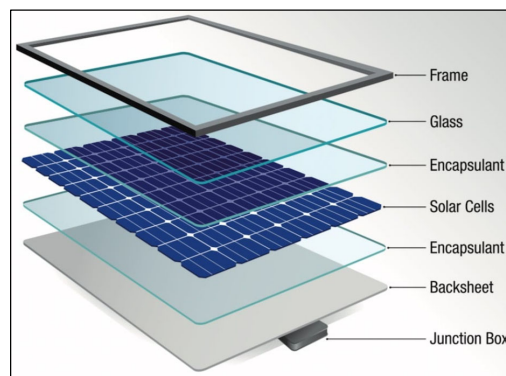
Nota: Obtenida de (Sunwise, 2023).

2.2.5. Componentes principales de un panel fotovoltaico

Celdas solares fotovoltaicas

Dispositivo que tiene la capacidad de convertir la energía del sol en energía eléctrica empleando un efecto llamado fotovoltaico, utilizando materiales semiconductores para generar un flujo de electrones (Zweibel, 2021).

Figura 6
Célula o celda fotovoltaica



Nota: Obtenida de (EcolInventos Green Technology, 2022).

Vidrio solar

Es un componente esencial en los módulos fotovoltaicos, diseñado para proteger las células solares de las condiciones ambientales adversas, como la radiación ultravioleta y los cambios de temperatura. Este tipo de vidrio no

solo ofrece protección, sino que también mejora la eficiencia de conversión de energía al reducir la reflectancia de la luz solar y aumentar la transmisión de la misma hacia las células solares. Estas características lo convierten en un elemento clave para garantizar la durabilidad y el rendimiento óptimo de los paneles solares a lo largo de su vida útil (Gürtürk et al., 2020).

Figura 7

Vidrio fotovoltaica



Nota: Obtenida de (Gomez, 2014).

Marco

Según Blas & Torres (2011), el marco es la parte que le da soporte o resistencia mecánica al panel y generalmente es de aluminio. El material debe resistir diferentes condiciones climáticas y promover la disipación del calor, además el aumento de energía térmica del panel solar reduce el rendimiento fotovoltaico.

Figura 8

Marco de panel solar fotovoltaica



Nota: Obtenida de (Zhu, 2017).

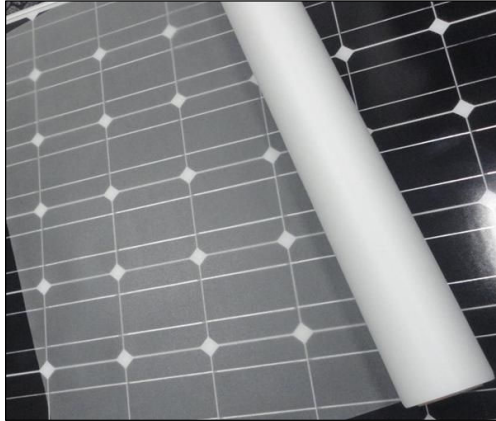
Encapsulación

Según Lino (2022), son capas encapsuladas encargadas de proteger las

células solares y sus contactos. El “etilenvinilacetato” o EVA es un polímero muy transparente que se utiliza para encapsular las células. El polímero debe ser duradero y tolerante para soportar temperaturas y humedad extremas.

Figura 9

Película de EVA solar



Nota: Obtenida de (AliExpress, 2022).

Lámina trasera

Conocida como hoja o guardia trasera, diseñado para proteger el panel solar de la humedad y actúa como aislante eléctrico. Está fabricado con diferentes tipos y grados de polímeros, lo que permite tener varios niveles de protección, equilibrio térmico y resistencia a los rayos ultravioleta (Panel Power, 2019).

Figura 10

Lámina trasera para panel solar FV



Nota: Obtenida de (AliExpress, 2022).

Caja de conexiones

Es una pequeña caja resistente que va situada en la parte posterior del panel, y se encarga de recibir las corrientes generadas por las celdas fotovoltaicas y es el punto central donde los cables se interconectan con los paneles (McGraw Hill Education, 2020).

Figura 11

Caja de conexiones



Nota: Obtenida de (DS New Energy, 2021).

2.2.6. Parámetros eléctricos del panel solar fotovoltaico

De acuerdo con Collazos (2021), los parámetros característicos son dados por los fabricantes en la STC (condición de prueba estándar), generalmente la radiación solar es de 1 000 W/m² con una temperatura de operación a 25°C. Los parámetros principales que tiene una célula solar del panel fotovoltaico son:

2.2.6.1. Corriente de cortocircuito (I_{sc})

Es la corriente máxima producida por la celda solar, su unidad de medida son los amperios (A) o miliamperios (mA). El valor de la corriente de cortocircuito depende del área de la celda, la radiación solar que cae sobre la celda, su tecnología, etc (González, 2018). El valor de la corriente de cortocircuito se obtiene del siguiente modo:

$$I_{sc} = J_{sc} \times A \quad [1]$$

I_{sc} : Corriente de cortocircuito (A)

J_{SC} : Densidad de corriente (A/m²)

A: Área de las células solares (m²)

2.2.6.2. Voltaje de circuito abierto (VOC)

Es el voltaje máximo que la celda puede producir en condiciones de circuito abierto. Su medida es en el voltio (V) o milivoltios (mV). El valor del voltaje de circuito abierto está en función de la tecnología y temperatura de la célula (Barzola, 2020).

2.2.6.3. Punto de máxima potencia (PM)

Es la potencia máxima que puede suministrar una célula solar en condiciones de prueba estándar, se mide en vatios pico (Wp), que se obtiene al multiplicar la intensidad de corriente y tensión máxima (Flores & Domínguez, 2016).

$$P_M = I_{MAX} \times V_{MAX} \quad [2]$$

PM: Máxima potencia (Wp)

I_{MAX} : Intensidad de corriente máxima (A)

V_{MAX} : Tensión o voltaje máximo (V)

2.2.6.4. Corriente en el punto de máxima potencia (IPM)

Es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo condiciones estándar. Su valor es menor que la corriente de cortocircuito y se mide en amperios(A) o miliamperios (mA) (Flores & Domínguez, 2016).

2.2.6.5. Voltaje en el punto de máxima potencia (VPM)

Es el voltaje producido cuando la potencia es máxima, Su valor siempre es menor que el voltaje de circuito abierto (VOC) y se mide en voltios (V) o milivoltios (mV) (Flores & Domínguez, 2016).

2.2.6.6. Factor de relleno (FF)

Conocida también como factor de llenado o de forma, se mide en porcentaje, cuanto mayor sea el factor de relleno mejor será la célula. Se define como el parámetro que relaciona la corriente y voltaje en el punto de potencia máxima, con la corriente de cortocircuito y voltaje de circuito abierto (Barzola, 2020). Se representa como:

$$FF = \frac{I_p \times V_p}{I_{SC} \times V_{OC}} = \frac{P_M}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad [3]$$

FF: Factor de relleno

I_{SC} : Corriente de cortocircuito

V_{OC} : Voltaje de circuito abierto

P_M : Potencia máxima del panel

I_p : Corriente del panel

V_p : Voltaje del panel

2.2.6.7. Eficiencia (η)

Se define como la potencia máxima (PM) dividida por la potencia de radiación de entrada a la celda (P_{in}) y el área. Representa el porcentaje de energía solar de entrada que se convierte en energía eléctrica (González, 2018). La eficiencia de una célula solar se puede expresar como:

$$Eficiencia (\eta) = \frac{P_M}{P_{in} A} \quad [4]$$

PM: Máxima potencia (W).

P_{in} : Potencia de radiación de entrada (W/m²).

A: Área (m²).

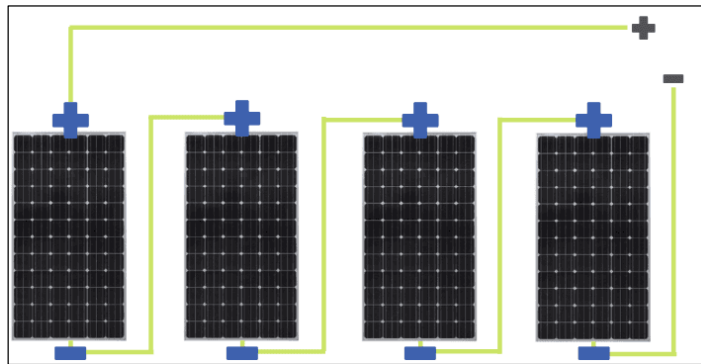
2.2.6.8. Asociación de paneles FV

Serie

Santamaría y Castejón (2010) mencionan que la asociación en serie se realiza cuando el voltaje requerido para una planta de energía es más alto de lo que puede generar un solo módulo fotovoltaico (FV), en esta situación, X-números de módulos se conectan en serie con el fin de aumentar y proporcionar el nivel de voltaje requerido.

Figura 12

Asociación en serie de módulos fotovoltaicos



Nota: Obtenida de (Reggio, 2018).

Con la conexión en serie se logra aumentar el voltaje y la potencia generada por el módulo, esto se logra conectando el terminal positivo con el terminal negativo del otro módulo. Cabe mencionar que, en el generador el terminal positivo es el terminal positivo del primer panel y el terminal negativo corresponde al terminal negativo del último panel (Santamaría & Castejón, 2010).

$$V_G = N_s \times V_M \quad [5]$$

V_G : Voltaje del generador (V).

N_s : Número de celdas en serie.

V_M : Voltaje del módulo fotovoltaico (V).

$$I_G = I_M \quad [6]$$

I_G : Corriente del generador (A)

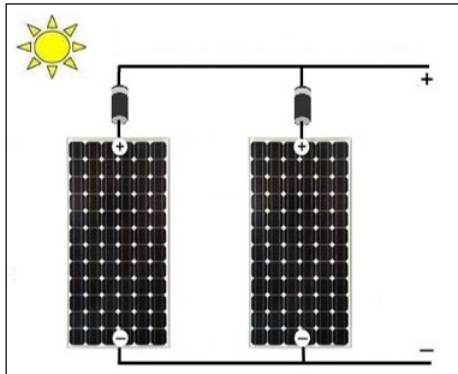
I_M : Corriente del módulo fotovoltaico (A)

Paralelo

La asociación en paralelo se realiza cuando se desea aumentar la potencia del sistema fotovoltaico, en esta situación se procede a aumentar la corriente. El ensamble se realiza conectando el terminal positivo de un módulo al terminal positivo del módulo siguiente; mientras que el terminal negativo del primero se conecta al terminal negativo del siguiente (Santamaría & Castejón, 2010) (figura 13).

Figura 13

Asociación en paralelo de módulos fotovoltaicos



Nota: Obtenida de (MPPT Solar, 2018).

Cabe mencionar, que para esta conexión la tensión o voltaje en todos los módulos es la misma.

$$V_G = V_M \quad [7]$$

V_G : Voltaje del generador (V)

V_M : Voltaje del módulo fotovoltaico (V)

$$I_G = N_P I_M \quad [8]$$

I_G : Corriente del generador (A)

N_p : Número de celdas en paralelo

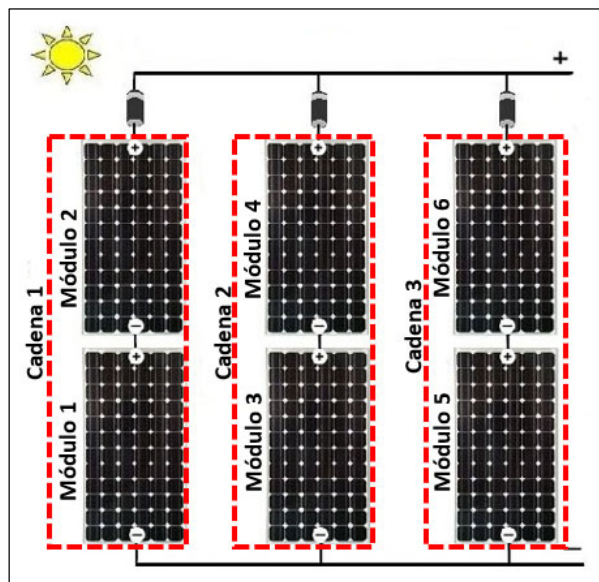
I_M : Corriente del módulo fotovoltaico (A)

Combinación Mixta

La asociación en serie-paralelo se realiza cuando se desea producir una gran potencia en un rango de gigavatios para amplias plantas de SFV. Para esta conexión, primero se conectan serie o cadena los módulos fotovoltaicos para conseguir el voltaje deseado; después, varias cadenas se conectan en paralelo para conseguir el nivel de corriente necesario (Santamaría & Castejón, 2010).

Figura 14

Asociación en serie-paralelo de módulos fotovoltaicos



Nota: Obtenida de (MPPT Solar, 2018).

Como se observa en la figura 14 el módulo 1-2, 3-4 y 5-6 se encuentran conectados en serie y forman las cadenas de módulos fotovoltaicos 1, 2 y 3, donde la cadena 1, 2 y 3 están conectadas en paralelo. Además, se tiene:

$$V_G = N_s \times V_M \quad [9]$$

V_G : Voltaje del generador (V)

N_s : Número de celdas en serie

V_M : Voltaje del módulo fotovoltaico (V)

$$I_G = N_P I_M \quad [10]$$

I_G : Corriente del generador (A)

N_P : Número de celdas en paralelo

I_M : Corriente del módulo fotovoltaico (A)

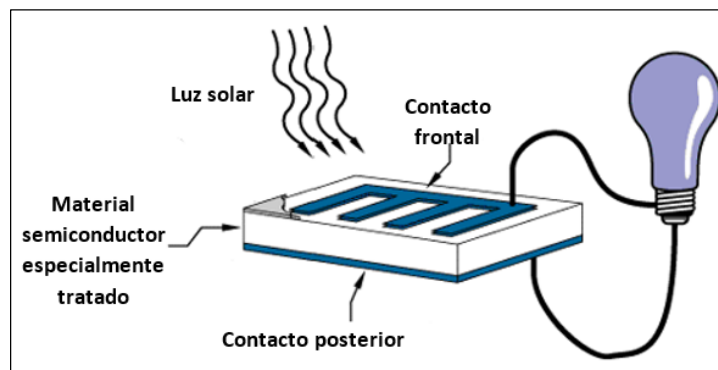
2.2.7. Efecto fotovoltaico

Es un proceso donde se genera voltaje o corriente eléctrica en una célula fotovoltaica cuando se expone a la luz solar. El material base de las celdas o células FV son materiales semiconductores, principalmente el silicio (Flores & Domínguez, 2016). En este sentido, efecto fotovoltaico es la forma en que las células dentro del panel convierten la luz solar en energía eléctrica a nivel atómico.

Según Gonzáles (2010), existen ciertos materiales que tienen la propiedad de producir un efecto conocido como fotoeléctrico, donde se absorbe fotones de luz y se logra la liberación de electrones, que al ser capturados permiten generar electricidad que puede ser utilizada directamente o almacenada en batería.

Figura 15

Circuito creado con una celda fotovoltaica



Nota: Obtenida de (Especialización en Sistemas Fotovoltaicos, 2010).

2.2.8. Sistemas Solares Fotovoltaicos

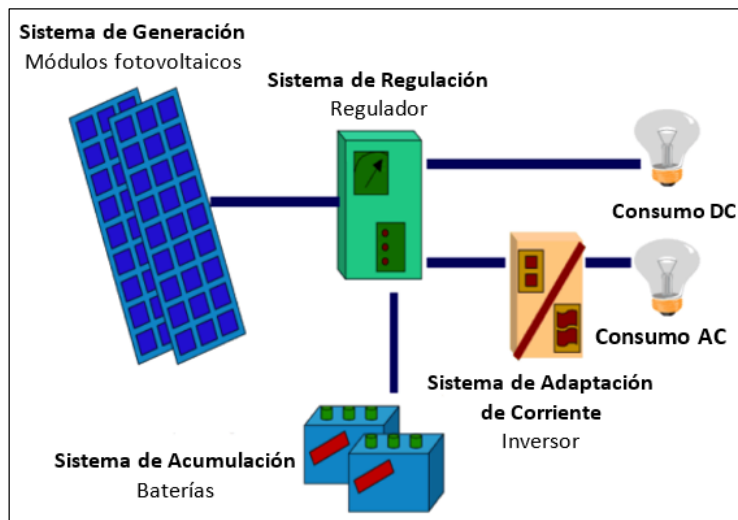
Son sistemas que generan electricidad a partir de la luz solar, y pueden ser:

2.2.8.1. Sistemas Fotovoltaicos Aislados

Estos sistemas fotovoltaicos no necesitan estar conectados a la red eléctrica principal para producir energía a partir del sol; por lo general, se encuentran en áreas donde el acceso es restringido. Es así, que la electricidad que se genera por el sistema solar se puede consumir directamente o se gestiona su almacenamiento en baterías para consumir esa energía cuando se necesite (SunFields Europe, 2011).

Figura 16

Esquema de sistema fotovoltaico aislado



Nota: Obtenida de (SunFields Europe, 2011).

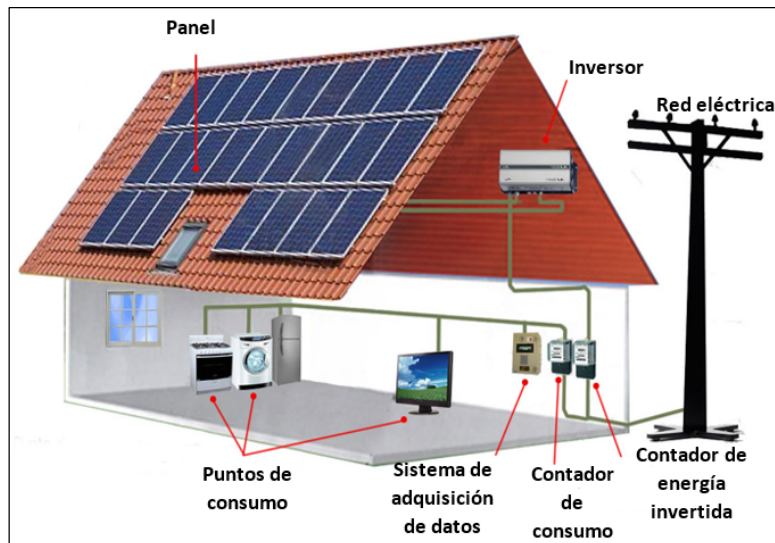
2.2.8.2. Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a la Red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red es un sistema en que los paneles solares se conectan a la red pública a través de un dispositivo inversor DC-AC que les permite operar en paralelo con la red (Hernández, 2017). En este sentido, la electricidad fluye hacia y desde la red principal de acuerdo con las condiciones de luz solar y la demanda eléctrica real en el momento.

Este tipo de sistema es más simple pues no requiere de baterías y pueden omitirse, lo que significa una instalación más económica, rentable y con menos mantenimiento. Sin embargo, existen algunos sistemas fotovoltaicos de conexión a la red que presentan baterías. Según la empresa GEMLSA (2022) cuando los sistemas pueden producir más electricidad de la que se necesita o consume, la electricidad adicional se almacena en baterías o se puede retroalimentar directamente a la red eléctrica.

Figura 17

Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red



Nota: Obtenida de (Construir Argentina S.A, 2017).

2.2.9. Componentes de una instalación solar fotovoltaica

2.2.9.1. Baterías

Componente importante del sistema, pues permite emplear la energía solar después de haberla generado y son conocidos como acumuladores, pues son dispositivos que almacenan energía solar obtenida del sistema fotovoltaico (Henríquez, 2003).

Figura 18

Batería solar



Nota: Obtenida de (Inmage Lab , 2022).

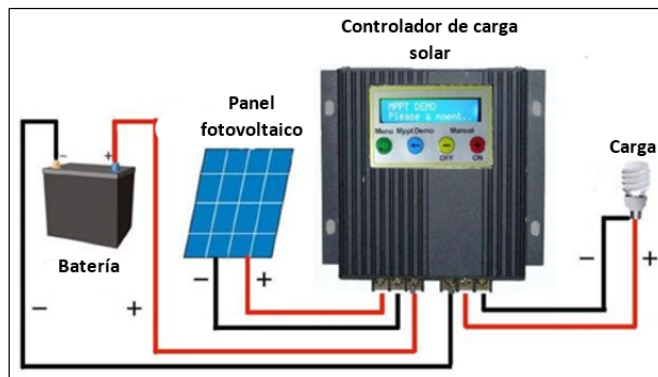
Las baterías se cargan durante las horas de producción solar y almacenan esa energía para usarla cuando no hay sol o cuando sea conveniente consumirla sin depender de la red eléctrica (Henríquez, 2003).

2.2.9.2. Controlador de carga

Según Henríquez (2003), es un regulador de voltaje electrónico, empleado en sistemas fuera de la red y conectados a la red con apoyo de una batería, que controla el flujo de energía desde la fuente de carga hasta la batería. El regulador o controlador de carga detiene instantáneamente la carga cuando las baterías están completamente cargadas. En algunos casos, los reguladores tienen capacidad de medición y registro de datos para mostrar los parámetros de operación sistema y el estado de carga de la batería.

Figura 19

Conexión del controlador de carga solar



Nota: Obtenida de (Rodríguez, 2019).

2.2.9.3. Inversor solar

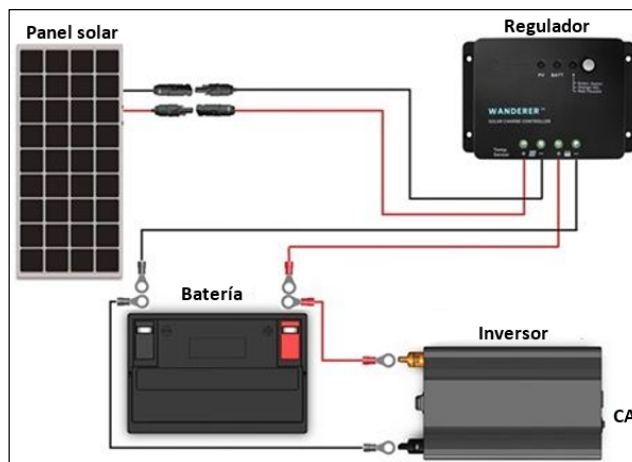
Es un equipo que cambia la electricidad de corriente continua (CC) que llega del panel solar en corriente alterna (CA) que consume la red eléctrica. Esta conversión se debe a que la corriente alterna es el flujo estandarizado de electricidad, que se necesita para alimentar a los enseres domésticos y conectarse a la red nacional (McGraw Hill Education, 2020).

Figura 20
Inversores solares



Nota: Obtenida de (Enverer Eficiencia Energética, 2019).

Figura 21
Conexión del inversor



Nota: Obtenida de (Rodríguez, 2019).

2.2.9.4. Panel fotovoltaico

Son aquellos paneles que capturan directamente la energía del sol y la convierten en electricidad. Los paneles fotovoltaicos consisten en un

conjunto de celdas individuales conectados entre sí para generar electricidad; estos paneles son inherentemente dispositivos de CC y para producir CA deben emplearse junto con un inversor solar.

Figura 22

Panel solar fotovoltaica



Nota: Obtenida de (Globe of God, 2020).

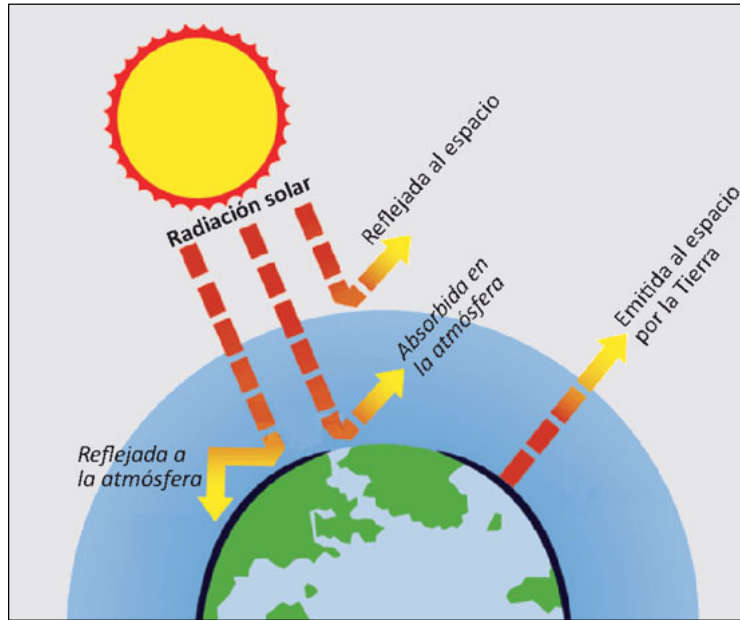
2.2.10. Radiación solar

Generalmente es un término que hace referencia a la radiación electromagnética producida por el sol. Puede ser capturada y convertida en configuraciones útiles de energía, como calor y electricidad, empleando varias tecnologías (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). No obstante, la viabilidad técnica y la evaluación económica de estas tecnologías en un sitio específico está en función del recurso solar utilizable.

Según Sánchez (2018), la medición de la radiación solar se realiza sobre una superficie horizontal empleando un sensor de radiación o piranómetro, que generalmente se ubica orientado al sur y sin sombras, que seguidamente, los datos se expresan en unidades de potencia, vatios por metro cuadrado (W/m^2) y usualmente se miden en rangos de 10 min o de 24 horas para fijar promedios.

Figura 23

Radiación solar



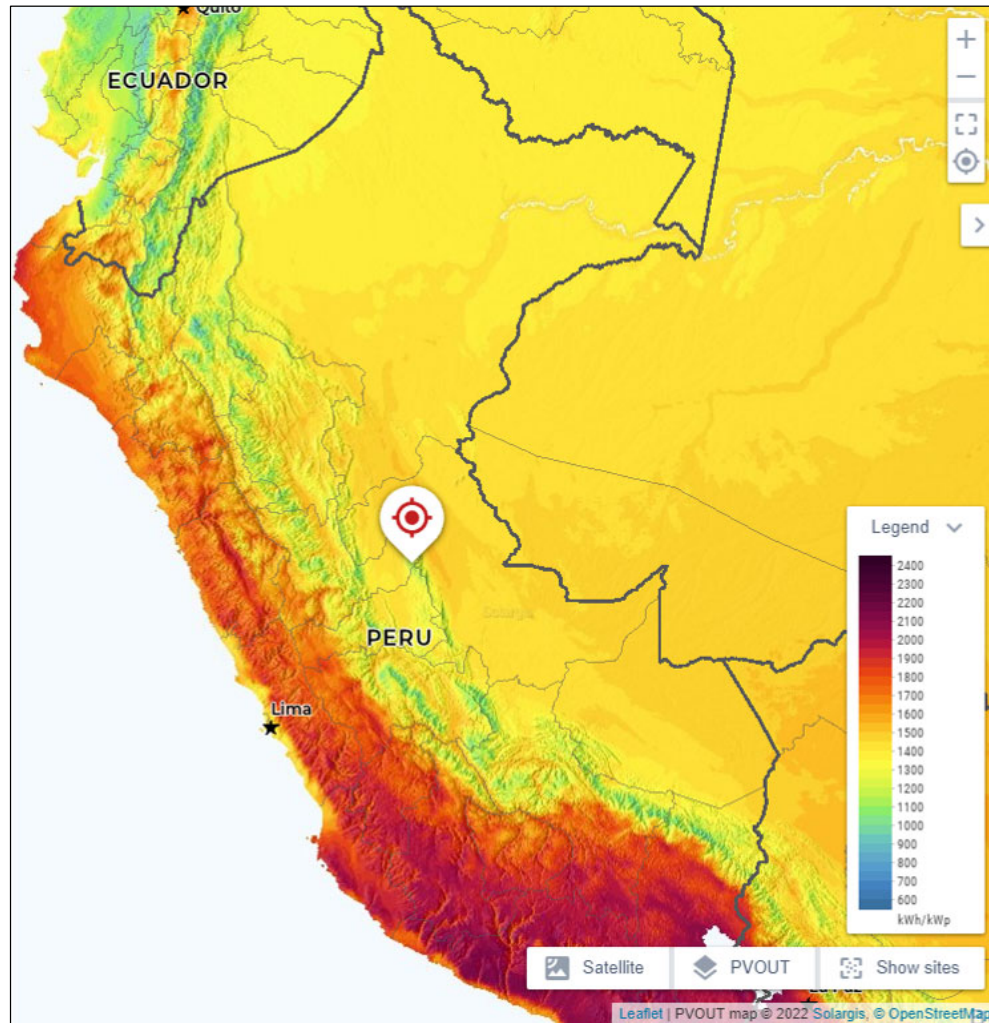
Nota: Obtenida de (Helio esfera, 2021).

2.2.11. Radiación solar en el Perú

La figura 24 permitirá estimar la eficiencia de los sistemas de energía solar en función al lugar donde estén ubicados. Estos son los valores registrados por el “Atlas Solar Mundial” en la actualidad, dados por el Grupo del Banco Mundial en colaboración con el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP) (Global Solar Atlas, 2022).

Figura 24

Radiación solar en el Perú



Nota: Obtenida de (Global Solar Atlas, 2022).

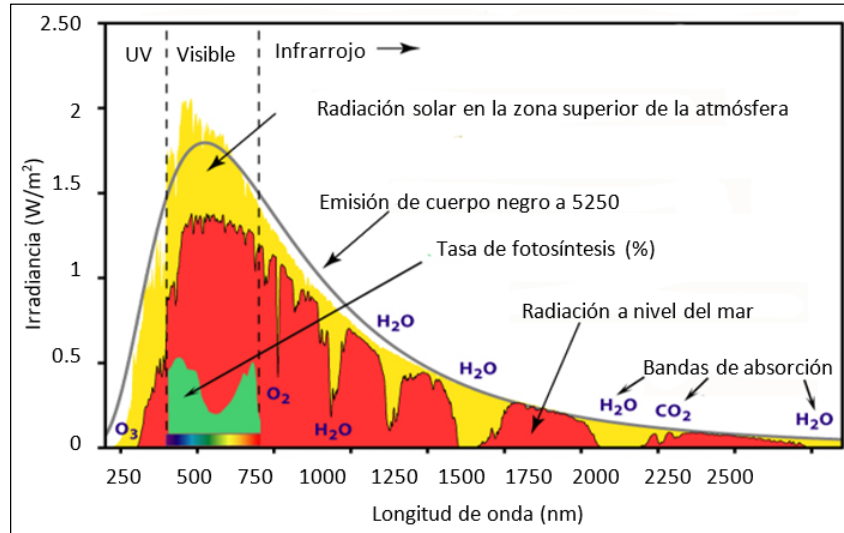
2.2.12. Irradiancia e irradiación

2.2.12.1. Irradiancia

Según Wright (2008), es el término que hace referencia a la energía radiante o la potencia de radiación solar incidente en una unidad de área, normalmente se expresa como vatios por metro cuadrado ($W.m^2$).

Figura 25

Espectro de irradiancia solar y actividad fotosintética



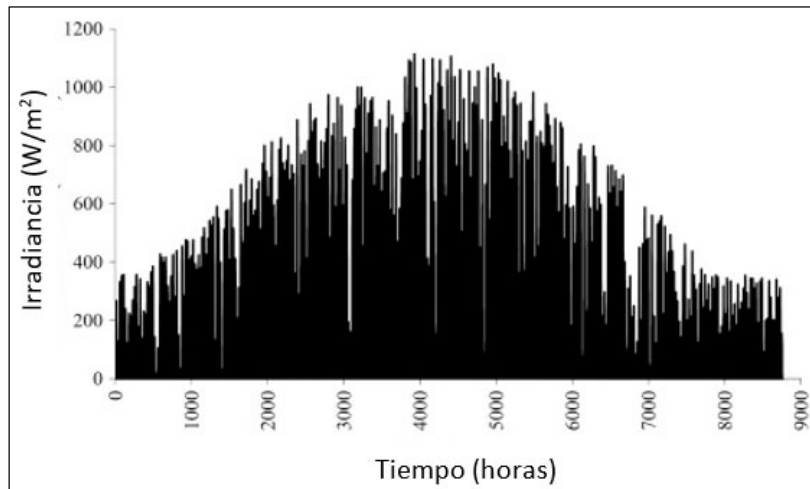
Nota: Obtenida de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020).

2.2.12.2. Irradiación

Es la suma de la energía que cae sobre una unidad de área en un periodo de tiempo establecido, procedente del sol y medida en Wh/m^2 o en J/m^2 (Falcón et al., 2001). En algunas ocasiones cuando se trata de energía solar se le conoce como insolación.

Figura 26

Irradiancia solar total simulada sobre un área por un año de muestra



Nota: Obtenida de (Rajesh, 2017).

2.2.13. Horas sol pico

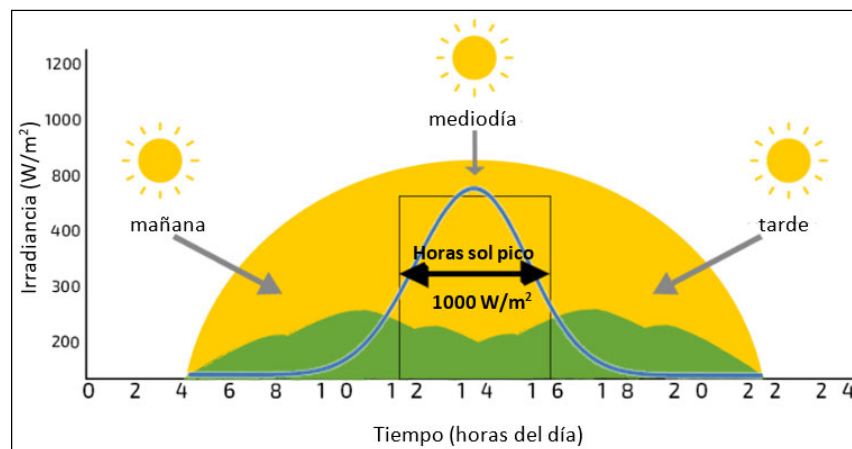
Las horas pico de sol son diferentes a las horas de luz del día, pues la primera se refiere a la intensidad de luz solar en un área específica, definida como una hora de luz solar que alcanza un promedio de 1000 vatios de potencia por metro cuadrado (Efimarket, 2018).

Las horas sol pico hacen referencia al tiempo en que los rayos del sol son los más fuertes en un área determinada, lo que significa que es la porción de tiempo donde se puede maximizar la generación de electricidad de un panel solar (Efimarket, 2018).

Usualmente, los paneles fotovoltaicos reciben un promedio de 5 horas sol pico, donde la radiación alcanza un punto máximo al mediodía, pues es el momento donde el sol alcanza su punto más alto en el cielo. Sin embargo, la cantidad de horas dependerá de que tan próximo estemos respecto al Ecuador, y de las condiciones ambientales, pues aumentará las horas sol pico en los meses de verano (SOLEN, 2019).

Figura 27

Horas solares pico



Nota: Obtenida de (Rajesh, 2017).

2.2.14. Generación distribuida

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) menciona que la generación distribuida hace referencia a varias tecnologías que

producen electricidad, y que será utilizada en el mismo lugar o cerca, como paneles solares combinados, paneles térmicos y eléctricos. Un generador distribuido puede servir a un solo sistema, como un hogar o una empresa, o puede ser parte de una microrred, como una gran instalación industrial o una universidad. Cuando se conecta a líneas de distribución de bajo voltaje, la generación distribuida puede ayudar a brindar energía limpia y confiable a más clientes y reducir las pérdidas de energía en las líneas de transmisión y distribución (United States Environmental Protection Agency, 2022).

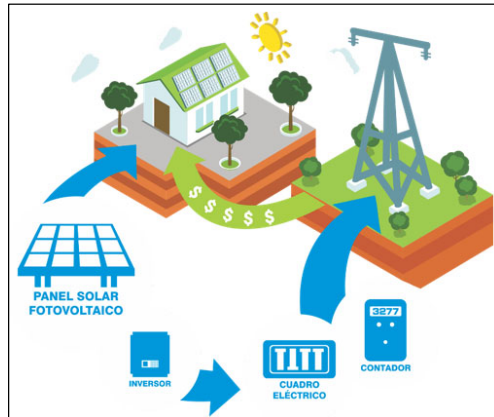
Según Zevallos (2018), un usuario "...puede generar su propia energía eléctrica, aprovechando los recursos energéticos renovables (solar, eólico, minihidráulico, geotérmico, biomasa) o cogeneración eficiente, con el único objetivo de satisfacer su demanda eléctrica total o parcialmente..."

La generación distribuida o descentralizada es un término que describe la generación de electricidad para usar en el sitio, en lugar de transmitirla a través de la red eléctrica desde una gran instalación centralizada. De este modo, al generar electricidad en cantidades más pequeñas y más cerca del usuario final, se puede aumentar significativamente la eficiencia energética y se reduce la contaminación por carbono (Endesa Fundación, 2022).

En el Perú, en la actualidad aún no existe un reglamento aprobado que regule la generación descentralizada de energía eléctrica, aunque el concepto se incluye en dos ordenamientos jurídicos: Ley N°288322 (publicada en 2006) y Decreto Ley N° 12213 (publicado en 2015). Sin embargo, en 2018 por medio de la Resolución Ministerial N° 292-2018, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) anunció con anticipación el proyecto de Reglamento de Generación de Energía Descentralizada, cuya aprobación aún se encuentra pendiente (Huillca, 2021).

Figura 28

Funcionamiento de la generación distribuida



Nota: Obtenida de (DECU3-Energía Solar, 2020).

2.2.15. Mecanismos comerciales para la implementación de los sistemas de generación distribuida (SGD)

Para poder realizar el intercambio o negociación de energía entre el beneficiario y el sistema de generación distribuida (SGD), se debe precisar los siguientes términos:

Energía generada

Es la proporción de energía que el sistema fotovoltaico puede originar, considerando que su máxima potencia se da en las horas solar pico, pues hay más presencia de radiación. En este sentido, la energía generada es la recopilación de energía de autoconsumo y energía inyectada a la red (Palacios et al., 2019).

Energía de autoconsumo

Es la energía que el beneficiario resta de la energía generada por el sistema fotovoltaico para su consumo, cesando el gasto de energía proveniente de la red (Palacios et al., 2019).

Energía inyectada a la red

Es la energía que el sistema fotovoltaico otorga a la red, después de

suministrar y abastecer el autoconsumo del beneficiario o consumidor (Palacios et al., 2019, pág. 27).

Energía total consumida

Es la energía que el consumidor emplea por día para satisfacer sus necesidades en función a la demanda eléctrica. En este sentido, esta energía sería la energía de autoconsumo más la energía consumida de la red (Palacios et al., 2019).

Energía consumida de la red

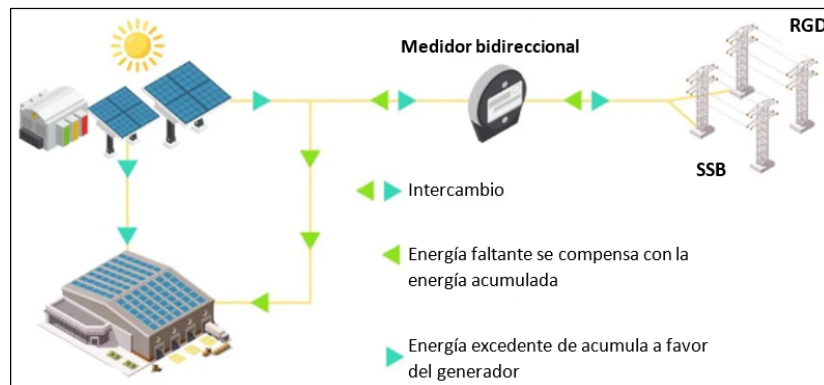
Es la energía que el beneficiario resta de la red, cuando la energía generada no cumple o satisface su demanda eléctrica, en ocasiones, se toma de la red cuando el sistema fotovoltaico no se encuentra funcionando (Palacios et al., 2019).

Los mecanismos comerciales para la implementación de los SGD más conocidos son:

Net Metering: También llamada medición neta, que comprende la energía consumida e inyectada en la red. En el Net metering la electricidad que carga en la red vale lo mismo que la electricidad compraría de la red. Además, ante cualquier exceso de electricidad que se genere se puede depositar para un consumo futuro (Hernández, 2017).

Figura 29

Esquema de distribución con el mecanismo Net Metering



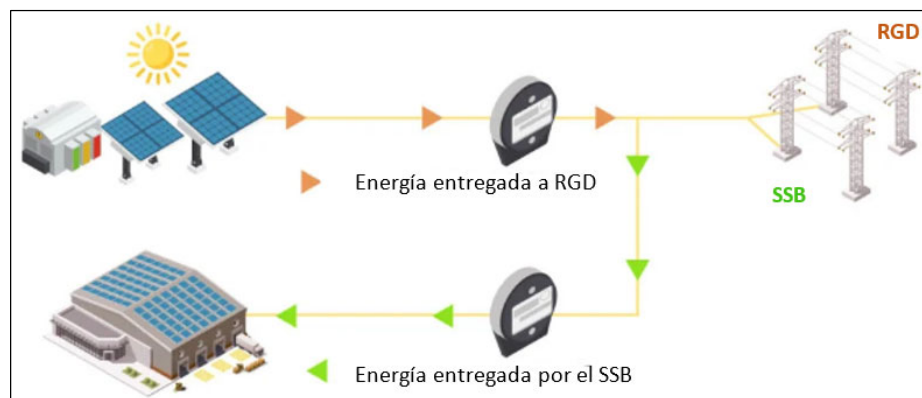
Nota: Obtenida de (Enlight, 2020).

En la figura 29 se observa que la energía capturada por el sistema fotovoltaico pasa por un medidor bidireccional, donde se mide la energía inyectada a la red y la energía consumida de la red. Además, funciona como una gran batería, pues acumula la energía excedente que es generada, para poder compensarla con la energía consumida.

Net Billing: También conocida como facturación neta de la energía inyectada a la red, en este caso el exceso de energía generada por el SFV se vende a la empresa de servicio público a precio mayorista, mientras compran energía a precio minorista. Por lo que, hace que el exceso de electricidad del sistema fotovoltaico sea más valioso y considerado; de modo que, afecta al rendimiento financiero (Hernández, 2017).

Figura 30

Esquema de distribución con el mecanismo Net Billing



Nota: Obtenida de (Enlight, 2020).

En la figura 30 se observa que la línea naranja es la energía capturada por el sistema fotovoltaico y que es inyectada a la red general de distribución (RGD) donde la empresa la vende, y la línea verde es la energía entregada por la red para suministrar los servicios básicos (SSB) eléctricos de la empresa.

2.2.16. Elementos de protección para un sistema de generación fotovoltaica

Es importante que todo sistema fotovoltaico cuente con protección contra cortocircuito adecuada para equipos y conductores, pues en los últimos años se está buscando utilizar voltajes más altos con el fin de alcanzar una

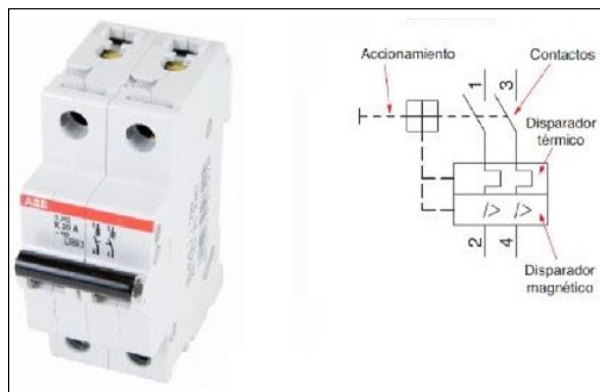
mayor eficiencia. En consecuencia, se tienen los siguientes elementos de protección:

Interruptores magnetotérmicos:

También conocida como llave térmica, tiene el fin de proteger a las personas y a la instalación, disparando y cortando la energía en caso de algún error, sobrecorriente, sobrecarga o cortocircuito (Home Solution, 2022). Está diseñado para tener una tensión en función al número paneles que se tiene, lo que un interruptor con una tensión máxima de 1000 V podrá proteger a 4 módulos FV.

Figura 31

Interruptor magnetotérmico



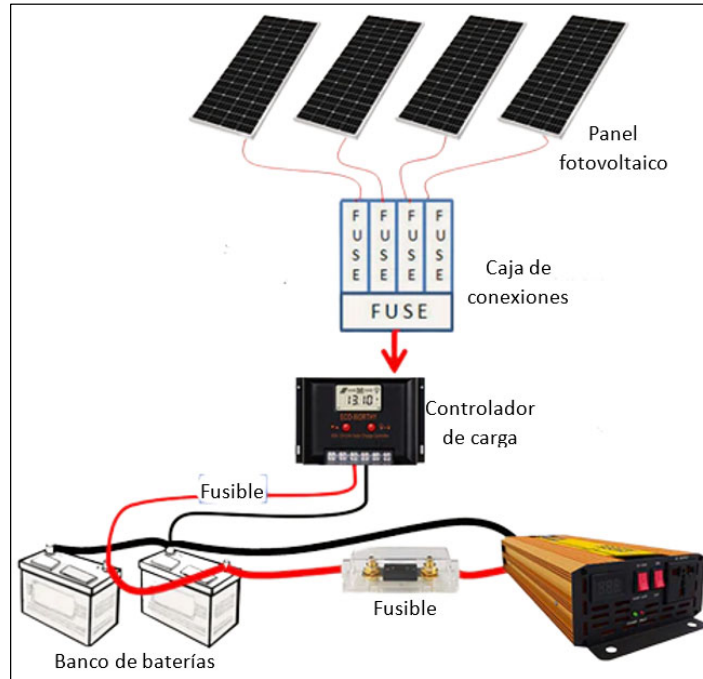
Nota: Obtenida de (Área Tecnológica, 2019).

Fusibles

Son dispositivos simples que tienen la función de protección contra sobre corriente. En un sistema fotovoltaico, los fusibles se pueden agregar entre diferentes componentes, desde el conjunto de paneles solares hasta al controlador de carga, inversor o banco de baterías.

Figura 32

Esquema de instalación de fusible para un sistema fotovoltaico



Nota: Obtenida de (Eco Worthy, 2018).

Seccionadores de corte

También conocidos como interruptores de desconexión, son aparatos de conmutación que se emplean para generar aislamiento a los elementos principales de una planta o para aislar un elemento defectuoso de otro que tiene buen funcionamiento (Diputació de Barcelona, 2020). En un SFV los seccionadores de corte permiten abrir el circuito DC y aíslan al equipo durante el tiempo de mantenimiento.

Figura 33

Seccionadores de corte



Nota: Obtenida de (Dimae Dialectro Manchego, 2022).

Descargador de sobretensiones

Llamado protector contra sobretensiones. Se conoce que un panel solar se instala al aire libre y se ve afectado por diversas situaciones meteorológicas como los rayos, quienes pueden afectar significativamente el rendimiento de la planta fotovoltaica, pues afecta al campo eléctrico (INGESCO, 2022). Además, podría destruir físicamente el equipo solar en una azotea o generar daños en componentes sensibles como placas de circuito impreso.

Figura 34

Protector contra sobretensiones



Nota: Obtenida de (Autosolar Energía del Perú S.A.C. , 2022).

Puesta a tierra

Huete (2008) menciona que es una ruta de respaldo que proporciona una ruta alternativa para que la corriente fluya de regreso a tierra si hay una falla en el sistema de cableado.

2.2.17. Limpieza y mantenimiento

La limpieza y el mantenimiento son factores importantes para alargar la vida útil y asegurar los beneficios a largo plazo de los paneles fotovoltaicos, de modo que se dan algunas recomendaciones:

Vera (2022) menciona que es importante mantener los paneles solares fuera de la sombra, pues la producción o generación de energía resultaría ineficiente. Además, asegura que los inversores presenten luces verdes intermitentes.

Ávalos (2018) recomienda documentar el rendimiento diario del panel solar para mejorar el mantenimiento, teniendo en cuenta la energía generada a la misma hora todos los días, considerando las fechas donde está muy nublado.

En cuanto a la limpieza, si no se cuenta con tiempo para limpiar los paneles solares, se pueden instalar limpiadores automáticos que funcionan como sistemas de rociadores. Así también, Iranzu (2018) menciona que algunas alternativas manuales podrían ser: el sistema de limpieza con pértigas, sistema de limpieza con agua a presión, sistema de rodillo autopropulsado, aclarado con agua y/o producto aclarante.

Figura 35

Mantenimiento de un panel solar



Nota: Obtenida de (Auto Solar, 2021).

2.2.18. Viabilidad técnica y económica

Según Llauce (2016), la evaluación de proyectos de inversión tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades.

En cuanto a la viabilidad técnica, debe de analizarse la disponibilidad de la tecnología y de los recursos necesarios. Benítez (2019) menciona que la evaluación de viabilidad técnica debe de considerar aspectos técnico-operativos con el fin de conseguir un objetivo específico, empleando de manera eficaz los recursos aprovechables.

En cuanto a la viabilidad económica, para que sean factibles los beneficios

esperados, deben igualar o superar los costos esperados. Para esto se realiza una evaluación de costo-beneficio en donde se analizan los costos y beneficios pensados. Según Llauce (2016), los criterios que se utilicen deben garantizar, la eficiencia financiera, económica, social y ambiental.

Indicadores

Llauce (2016), menciona que el VAN y la TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión.

Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual o presente neto hace referencia a la diferencia entre el valor del efectivo actual y el valor del efectivo en una fecha futura. Según Guevara y Silva (2018), el resultado del VAN es el flujo neto actualizado del proyecto, si en este cálculo el resultado es positivo quiere decir que es viable la ejecución.

“Si el resultado fuera lo contrario, quiere decir que la ejecución del proyecto no será rentable y es lo mismo que ponerlo en el mercado con el interés equivalente a la misma tasa de descuentos que se está utilizando (Guevara & Silva, 2018).

En general, una inversión con un VAN positivo será rentable, mientras que una inversión con un VAN negativo da como resultado una pérdida financiera, por lo es muy probable que se rechace el proyecto.

$$VAN = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad [11]$$

Dónde:

VAN: Valor actual neto.

BN_t : Flujo de caja o Beneficios netos en el periodo t.

I_0 : Inversión Inicial, t = 0.

$i = t_d$: tasa de rendimiento requerida, tipo de interés o tasa de descuento (COK= Costo de oportunidad de su capital).

t: periodo de tiempo.

n: números de periodos.

El proyecto es viable, genera ganancias si $VAN > 0$.

El proyecto no genera ganancias ni pérdidas si $VAN = 0$.

El proyecto no es viable, genera pérdidas si $VAN < 0$.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea 0 (cuando el valor del efectivo futuro ajustado en el tiempo es igual a la inversión inicial). Sapag et al. (2008) indican que el criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual.

La TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero (Sapag et al., 2008).

Si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagará con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo (Sapag et al., 2008).

Los inversionistas comparan las TIR para tener proyectos potenciales y evaluando diferentes opciones y generalmente escogen la TIR más alta que cumple o supera la tasa de rentabilidad mínima para las inversiones de la empresa.

La tasa interna de retorno puede calcularse aplicando la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{BN_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad [12]$$

BN_t : Flujo de caja o Beneficios netos en el periodo t .

t : periodos de tiempo.

n : números de periodos.

***TIR** > i , se acepta el proyecto de inversión.*

***TIR** = i , el proyecto debe ser más competitivo y más rentable.*

***TIR** < i , se rechaza el proyecto de inversión.*

Según Márquez y Castro citados por Alvarado (2019): Si la TIR es mayor que el costo de oportunidad (tasa de descuento), el proyecto es rentable ya que permite pagar los costos de la inversión.

Según Márquez y Castro citados por Alvarado (2019): Si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto no es rentable, no cubre con los costos a pagar. Cabe mencionar, que es recomendable que la TIR se trabaje en conjunto con el VAN para tomar mejores decisiones de inversión.

Periodo de recuperación del capital (PR)

Según Silva (2019): El periodo de recuperación del capital también es conocido como el plazo de recuperación del capital o el periodo de recuperación de la inversión. En otras palabras, hace referencia al tiempo en que una empresa recupera su inversión, permitiendo a los inversionistas comparar oportunidades alternativas y decidir sobre un proyecto que devuelve su inversión en el tiempo más corto posible.

El periodo de recuperación del capital es un indicador que muestra el número de años necesarios para que el inversionista logre recuperar el capital invertido en el proyecto (Silva, 2019). En este sentido, mientras más corto sea el tiempo de retorno de una inversión, más atractivo se vuelve el proyecto.

Si los flujos fuesen idénticos y constantes en cada periodo, el cálculo se simplifica a la siguiente expresión:

$$PR = \frac{I_0}{BN} \quad [13]$$

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

Corriente de máxima potencia

Corriente correspondiente al punto de máxima potencia (Vega, 2019).

Punto de máxima potencia

Punto de la curva I-V en donde el producto $I * V$ (potencia) tiene su valor máximo) (Vega, 2019).

Conductor Eléctrico

Material que permite fácilmente el paso de la corriente eléctrica por él, o lo que es lo mismo, el paso de los electrones. Se utilizan para transportar de un sitio a otro la corriente eléctrica (transmisión de energía eléctrica) (Vega, 2019).

Energía Eléctrica

La energía eléctrica es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones) que se produce en el interior de materiales conductores (por ejemplo, cables metálicos como el cobre) (Vega, 2019).

Módulo fotovoltaico

Conocido como placa o panel solar, tiene el fin de captar la energía solar para comenzar el proceso de generación de energía sustentable (Enel Green Power, 2022).

Sistema Fotovoltaico

Un grupo de módulos fotovoltaicos (también llamados paneles o colectores fotovoltaicos) dispuestos para producir el voltaje y corriente deseados (Dankoff Solar Products, 2008).

Voltaje

Según Enrique (2016), es el trabajo que debe realizar una fuente externa sobre los electrones para que estos puedan fluir por el conductor y producir una corriente eléctrica.

CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Según Hernández et al. (2014), el estudio fue de tipo aplicado, pues buscó transformar el conocimiento de forma práctica dando la solución a un problema real a nivel social o a un problema específico, motivo por el que se emplearon teorías científicas y normas ya conocidas, con el objetivo de comprobar y verificar los supuestos establecidos de la investigación.

Fue de diseño no experimental pues en este estudio el investigador observó los fenómenos en su contexto real, sin intervenir en su desarrollo (Hernández et al., 2014).

3.2. Población y muestra

La población estuvo conformada por la Municipalidad Provincial de Trujillo ubicada en el departamento de La Libertad.

La muestra estuvo conformada por la Municipalidad Provincial de Trujillo ubicada en el departamento de La Libertad.

3.3. Hipótesis

Si un sistema de generación distribuida es viable técnica y económicamente permite reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad Provincial de Trujillo – La Libertad.

3.4. Variables – Operacionalización

Las variables para el presente proyecto son los siguientes

Variable independiente: Viabilidad técnica y económica.

Variable dependiente: Sistema de generación distribuida

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
Viabilidad técnica y económica	Según Llauce (2016) “La evaluación de proyectos de inversión tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades” (pág. 41).	Realizar la evaluación económica de un sistema de generación distribuida.	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de VAN - Cálculo de la TIR - Cálculo del período de recuperación del capital
Sistema de generación distribuida	La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) menciona que la generación distribuida hace referencia a varias tecnologías que producen electricidad donde se utilizará o cerca de él, como paneles solares combinados, paneles térmicos y eléctricos (United States Environmental Protection Agency, 2022)	Cálculo del sistema de generación distribuida	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo y selección del equipamiento del sistema de micro generación distribuida. - Cálculo de la energía promedio diaria (kW.h) - Máxima demanda (W)

Nota: Elaboración propia.

3.5. Métodos y técnicas de investigación

Según Bisquerra citado por Revilla (2018), se consideró como técnica el recojo de información cuantitativa, pues permite la sistematización y planificación de la examinación de datos, obtener información fidedigna, práctica y perspectivas de quienes los han escrita. Además, la información fue recolectada de distintas fuentes: textos, tesis, revistas, software, páginas web, y que sirvieron de base para elaborar el marco teórico.

También se aplicó la entrevista, según Murillo (2013), esta técnica permite el acercamiento directo a los individuos relacionados con el estudio. Mientras que el investigador pregunta, va acumulando respuestas objetivas, y es capaz de captar las opiniones, sensaciones, enriqueciendo la información y facilitando la consecución de los objetivos propuestos.

Se realizó la entrevista al encargado del área eléctrica de la Municipalidad Provincial de Trujillo para obtener información sobre el sistema eléctrico, ubicación del tablero para poder facilitar el desarrollo de la presente investigación.

3.6. Análisis estadístico e interpretación de los datos

Con la data de los equipos y artefactos eléctricos, se pudo calcular la potencia de consumo de energía eléctrica, además del consumo promedio de energía diario. Luego con los datos de irradiación solar y velocidad del viento se realizó una evaluación para saber si es posible utilizar ambas o solamente una de ellas, en base a ello se calculó y seleccionaron los equipos. Se utilizó la estadística descriptiva.

CAPÍTULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

Hoy en día el avance de la tecnología y el aumento de población ha generado la construcción de más establecimientos (educativos, recreativos, centros comerciales, etc), provocando una mayor demanda en el consumo energético; lo que lleva a que los sistemas de generación de energía convencionales que se tiene en el país incrementen. A partir de esto, en la presente investigación se está implementando un sistema de generación distribuida con la finalidad de ser una alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la municipalidad de Trujillo, lo que lleva a un ahorro económico y al mismo tiempo a contribuir con el cuidado del ambiente por ser una fuente de energía limpia.

En la presente investigación se propone un sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico enfocado principalmente en cubrir la demanda energética con el fin de reducir el consumo eléctrico convencional de la municipalidad de Trujillo-La Libertad

Se tienen en cuenta los siguientes elementos del sistema:

Generador fotovoltaico

Está constituido por celdas y módulos solares de una marca conocida y sugerida por expertos, teniendo en cuenta que la cantidad de paneles se evaluarán y valorarán en los cálculos del capítulo V de la presente investigación.

Inversor

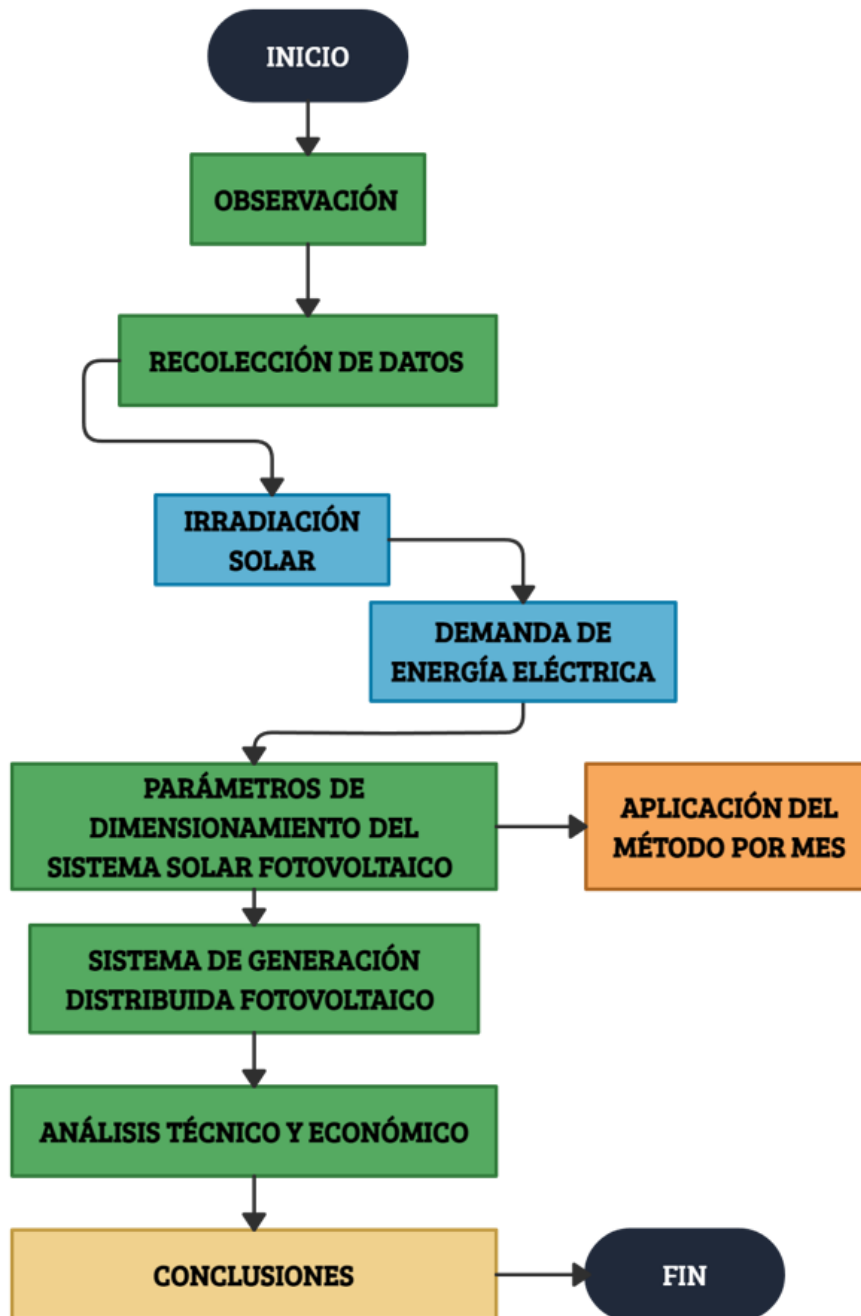
Se utiliza una marca conocida y sugerida por expertos, teniendo en cuenta que la cantidad se evaluará y valorará en los cálculos del capítulo V de la presente investigación.

En cuanto a la evaluación de máxima potencia y energía demandada por los usuarios de la municipalidad de Trujillo, se realiza basándose en el Código

Nacional de Electrificación del Perú y aspectos dentro del campo eléctrico. Seguido, se realiza cálculos para la evaluación y explicación de los resultados, donde se especifica cada elemento con el objetivo de comprobar su viabilidad técnica y económica.

Figura 36

Flujograma de la evaluación y desarrollo de la propuesta



Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Resultados

5.1.1. Cálculo de la demanda de energía promedio y diaria consumida

Características de la municipalidad de Trujillo

En el presente estudio se investigó a la municipalidad provincial de Trujillo, que se encuentra situada en Jirón Diego de Almagro N° 525, en la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, específicamente a una latitud de $-8,11268395082358$ y una longitud de $-79,02840517893162$. En la Figura 37 se aprecia la fachada de la Municipalidad Provincial de Trujillo, donde se puede observar el tamaño de la misma, con un área de construida $1\ 020\ m^2$ en el primer piso y de $900\ m^2$ en el segundo piso, obteniendo un área total construida de $1\ 920\ m^2$.

Figura 37

Municipalidad de Trujillo

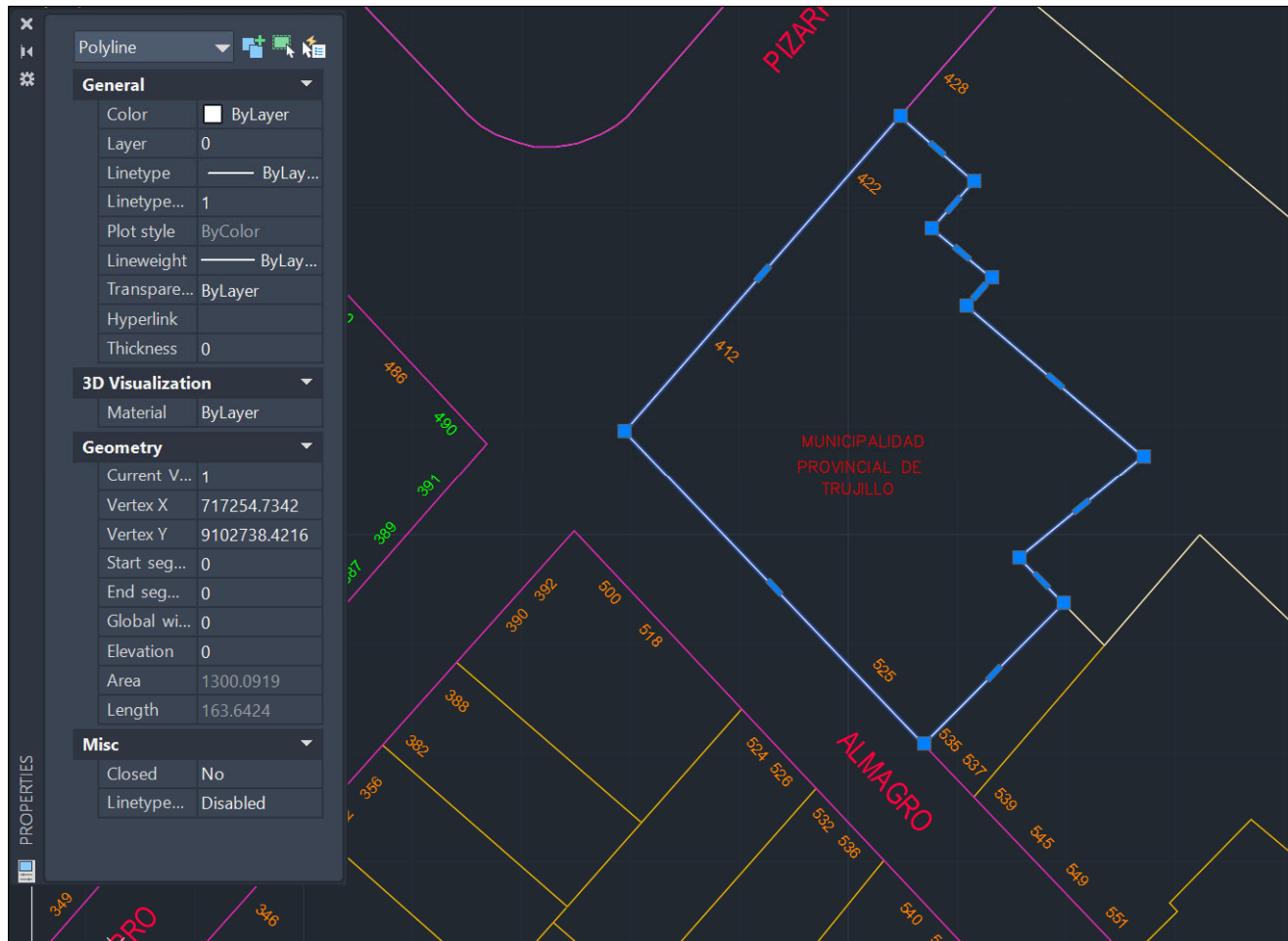


Nota: Obtenida de (La República, 2022).

En la Figura 38 se adjunta el plano de la Municipalidad Provincial de Trujillo, para conocer como están distribuidos los límites de manera que posteriormente se pueda elaborar el plano de distribución para la instalación de los paneles fotovoltaicos en el techo, por lo que se puede verificar que el área es de $1\ 300,09\ m^2$ pero que posee algunas áreas abiertas como tragaluz, que aproximadamente es de $280\ m^2$, obteniendo al final un área construida de $1\ 920\ m^2$.

Figura 38

Área de la Municipalidad Provincial de Trujillo



Nota: Obtenido de AutoCAD 2021.

Demanda de energía promedio

Para determinar la máxima demanda de dicha municipalidad, se utilizó el Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006, específicamente la sección 050, considerando que en la práctica son oficinas administrativas o similares y empleando el Anexo 1, logrando obtener lo siguiente:

Tabla 2*Máxima demanda para la Municipalidad Provincial de Trujillo*

Descripción	Área (m ²)	Cantidad	Carga Unitaria por m ² (W)	Carga unitaria (W/pto)	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
Iluminación y Tomacorrientes (Primer piso)	930		50		46 500	90	41 850
Iluminación y Tomacorrientes (Primer piso)	90		50		4 500	70	3 150
Iluminación y Tomacorrientes (Segundo piso)	900		50		45 000	70	31 500
Televisor de 50 pulgadas		1		100	100	50	50
Computadoras 1er piso		4		180	720	75	540
Computadoras 2do piso		4		180	720	75	540
Impresoras 1er piso		2		250	500	50	250
Impresoras 2do piso		2		250	500	50	250
Cámaras de seguridad		1		100	100	100	100
Luces de emergencia (1er piso)		8		5	40	100	40
Luces de emergencia (2do piso)		8		5	40	100	40
Router para internet (1er piso)		2		10	20	100	20
Router para internet (2do piso)		2		10	20	100	20
Electrobomba 1/2 HP		1		373	373	50	186.5
Potencia Instalada (W)							78 536,5
Factor de simultaneidad (F.S.)							0,5
Máxima Demanda (W)							39 268,25

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 2 se obtuvo que la máxima demanda obtenida en la Municipalidad Provincial de Trujillo es de 39,26825 kW, para poder suplir todos los requerimientos de energía en el primer y segundo piso, considerando los televisores, computadoras, impresoras, cámaras de seguridad, luces de emergencia, Router de internet y electrobomba de 0,5 HP.

Consumo de energía eléctrica diario promedio

Ahora, se sabe que en la Municipalidad Provincial de Trujillo se trabaja durante aproximadamente 8 horas.

Tabla 3

Consumo de energía eléctrica para la Municipalidad Provincial de Trujillo

M.D. (W)	Tiempo (h)	Energía (Wh)
39 268,25	8	314 146

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 3 se obtuvo que el consumo de energía eléctrica diario promedio para la Municipalidad Provincial de Trujillo es de 314,146 kWh, dato que sirvió para el dimensionamiento del sistema de generación distribución con energía renovable.

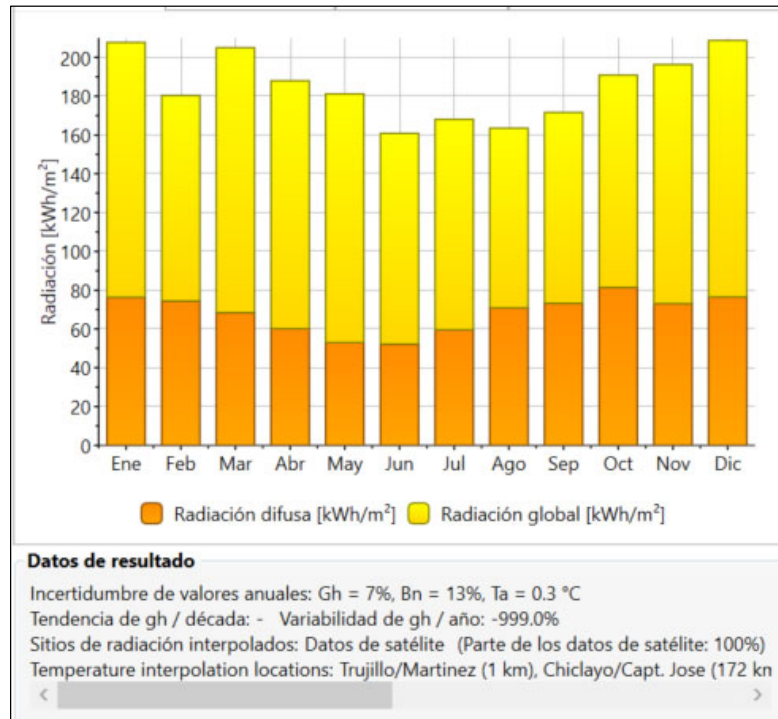
5.1.2. Análisis del potencial eólico y solar

Para evaluar el potencial eólico y solar disponible en la ubicación de la Municipalidad Provincial de Trujillo, se utilizó el software Meteonorm v8.2.0 para el análisis, que se muestra a continuación en la Figura 39 y Tabla 4.

En la Figura 39 se puede apreciar los niveles de radiación difusa y global durante todo el año de estudio obtenido del software Meteonorm v8.2.0. en la Tabla 4 se observan los datos de radiación solar, temperaturas y velocidad del viento en la Municipalidad Provincial de Trujillo.

Figura 39

Nivel de radiación difusa y global disponible en la MPT



Nota: Obtenida de Meteororm v8.2.0.

Tabla 4

Datos de radiación solar, temperaturas y velocidad del viento en la MPT

	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s	
Enero	208	76	184	21.8	18.4	3.5	
Febrero	180	74	147	22.9	19.4	3.3	
Marzo	205	68	190	22.6	19.4	3.4	
Abril	188	60	187	20.7	17.8	3.6	
Mayo	181	53	198	19.6	16.8	3.7	
Junio	161	52	175	18.9	16.1	3.5	
Julio	168	60	172	18.2	15.4	3.5	
Agosto	164	71	136	17.6	14.8	3.6	
Setiembre	172	73	136	17.4	14.6	3.9	
Octubre	191	81	154	17.7	14.7	3.9	
Noviembre	196	73	178	18.6	15.5	3.7	
Diciembre	209	76	191	20	16.8	3.6	
Año	2223	819	2047	19.7	16.6	3.6	

Datos de resultado
 Incertidumbre de valores anuales: Gh = 7%, Bn = 13%, Ta = 0.3 °C
 Tendencia de gh / década: - Variabilidad de gh / año: -999.0%
 Sitios de radiación interpolados: Datos de satélite (Parte de los datos de satélite: 100%)
 Temperature interpolation locations: Trujillo/Martinez (1 km), Chiclayo/Capt. Jose (172 km)

Nota: Obtenida de Meteororm v8.2.0.

Seguidamente, se elaboró una tabla con los niveles de radiación diaria ocurrida durante todo el tiempo de análisis.

De la Tabla 5 se obtuvo que la radiación solar diaria mínima fue de 4,39 kWh/m²/día ocurrido en el mes de agosto, que fue la utilizada para el diseño del sistema de generación distribuida.

Tabla 5

Datos de radiación solar diaria en la MPT

Mes	Gh (kWh/m ²)	Bh (kWh/m ²)	Días	Gh diaria (kWh/m ² /día)	Bh diario (kWh/m ² /día)
Enero	208	184	31	6,71	5,94
Febrero	180	147	29	6,21	5,07
Marzo	205	190	31	6,61	6,13
Abril	188	187	30	6,27	6,23
Mayo	181	198	31	5,84	6,39
Junio	161	175	30	5,37	5,83
Julio	168	172	31	5,42	5,55
Agosto	164	136	31	5,29	4,39
Septiembre	172	136	30	5,73	4,53
Octubre	191	154	31	6,16	4,97
Noviembre	196	178	30	6,53	5,93
Diciembre	209	191	31	6,74	6,16

Nota: Adaptado de Meteonorm v8.2.0.

De la Tabla 6 se obtuvo que la velocidad del viento es inferior a la mínima velocidad requerida para poder generar energía eléctrica, que es de 3,9 m/s de acuerdo con Farriz et al. (2021), obteniendo una mínima velocidad de 3,3 m/s en febrero y máxima de 3,9 m/s en septiembre y octubre. Por lo tanto, se concluye que emplear energía eólica para la generación de electricidad no es la suficiente para poder ser aprovechada, ya que apenas se obtiene la mínima velocidad requerida en septiembre y octubre, pero para el resto de meses no se llega a la mínima velocidad.

Tabla 6

Datos de velocidad del viento en la MPT

Mes	Velocidad del viento (m/s)
Enero	3,5
Febrero	3,3
Marzo	3,4
Abril	3,6
Mayo	3,7
Junio	3,5
Julio	3,5
Agosto	3,6
Septiembre	3,9
Octubre	3,9
Noviembre	3,7
Diciembre	3,6

Nota: Obtenida de Meteonorm v8.2.0.

Finalmente, para el estudio se utilizó como energía renovable a la energía solar disponible en la ubicación de la Municipalidad Provincial de Trujillo, por lo que la información obtenida se utilizó posteriormente para los cálculos respectivos.

5.1.3. Selección del equipamiento electromecánico

De acuerdo con la información de la radiación solar obtenida, se procedió de la siguiente manera:

Al inicio, se determina el valor HEP (número teórico de horas equivalentes de potencia), aplicando la fórmula:

$$HEP = \frac{\text{Índice de radiación solar}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$HEP = \frac{4,390 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,390 \text{ h}$$

Considerando la metodología descrita por Sánchez (2019) y Ladrón (2018), se obtuvo la eficiencia o rendimiento global del sistema propuesto, considerando los parámetros de la Tabla 7.

Tabla 7

Coefficientes para estimar la eficiencia de un sistema fotovoltaico

Coeficiente	Descripción
k_b	0.05 = Acumuladores nuevos, sin descargas intensas 0.10 = Acumuladores viejos, descargas intensas
k_r	0.10 = Controlador de carga eficiente 0.15 = Controlador de carga antiguo, poco eficiente
k_a	0.002 = Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento 0.005 = Baterías estacionarias de energía solar 0.012 = Baterías de alta autodescarga
k_i	0.00 = No hay inversor en la instalación 0.05 = Rendimiento del inversor de 95% 0.10 = Rendimiento del inversor de 90% 0.15 = Rendimiento del inversor de 85% 0.20 = Rendimiento del inversor menor a 85%
k_v	0.10 = Si no se han tenido en cuenta pérdidas en cableado y equipos 0.05 = Si ya se han considerado pérdidas en cableado y equipos
N	Número de días de autonomía en la instalación
P_d	Profundidad de descarga diaria de la batería (80%, Alonso Lorenzo (2015))

Nota: (Ladrón de Guevara, 2018).

Es necesario utilizar la expresión matemática siguiente:

$$R = (1 - k_b - k_r - k_i - k_v) \times \left(1 - \frac{k_a \times N}{P_d}\right)$$

$k_b = 0,005$ (acumulador nuevo).

$k_r = 0,10$ (se utilizó un controlador de carga con una eficiencia elevada).

$k_i = 0,05$ (rendimiento del inversor es superior a 95%).

$k_a = 0,005$ (baterías estacionarias para sistemas fotovoltaicos).

$k_v = 0,05$ (considerando pérdidas originada por equipamiento)

En consideración con Eliseo (2022), se debe considerar el factor N, porque indica la autonomía requerida para el sistema fotovoltaico, el cual posee un

valor de 2 días, porque se cuenta con un clima local soleado.

Tabla 8

Parámetro para determinar la autonomía en relación al clima local

Clima Local	Días de autonomía
Muy Nuboso	4
Variado	3
Soleado	2

Nota: (Eliseo, 2022)

Según Alonso (2015), también es necesario considerar el parámetro P_d , porque permite determinar la máxima profundidad de descarga del conjunto de baterías, y que generalmente representa un valor de 80%.

Sustituyendo todos los parámetros descritos anteriormente, se obtuvo el rendimiento global "R":

$$R = (1 - 0,05 - 0,10 - 0,05 - 0,05) \times \left(1 - \frac{0,005 \times 2}{0,8}\right) = 0,740625$$

Luego, se estimó el consumo energético corregido por el rendimiento global:

$$E_{total} = 314,146 \frac{kWh}{día} \times 1 \text{ día} = 314,146 kWh$$

$$E_{corregido} = \frac{E_{total}}{R}$$

$$E_{corregido} = \frac{314,146 kWh}{0,740625} = 424,163 kWh$$

Cálculo de la cantidad de paneles solares

En el mercado existen múltiples opciones de módulos fotovoltaicos, pero a medida que la potencia aumenta, también la eficiencia y se mejoran los costos y luego de comparar dichos aspectos, se consideró emplear módulos de 900 Wp, donde todas las propiedades más relevantes se adjuntaron en el Anexo 1.

Según López & Fonthal (2019), para estimar la cantidad de módulos solares, se aplica la expresión:

$$N_{ps} = \frac{E_{corregida}}{W_{p.u.} \times H_{sp}}$$

$$N_{ps} = \frac{424,163 \text{ kWh}}{900 \text{ W} \times 4,39 \text{ h}} = 107,36 \approx 108 \text{ paneles}$$

El área que ocupa el sistema de generación distribuida es:

$$A_{total} = N_{ps} \times A_{panel}$$

$$A_{total} = 108 \times 2,59 \text{ m} \times 1,73 \text{ m} = 483,92 \text{ m}^2$$

Tomando como referencia un área en forma de cuadrado, se obtiene:

$$L = \sqrt{A_{total}} = \sqrt{483,92 \text{ m}^2} = 22 \text{ m}$$

El área aproximada que ocupa el sistema de generación distribuida debe ser de 22mx22m (anchoxlargo), aunque sin considerar la separación entre módulos, dicha área sufre un incremento que se obtiene al final de elaborar los planos del sistema fotovoltaico propuesto.

Sistema de generación distribuida

El sistema de generación distribuida se encuentra conformado de 108 módulos solares de 900 Wp (Anexo 1).

Aplicando las expresiones matemáticas correspondientes, se calculó el número de módulos en serie, tomando como referencia un voltaje de 48V, obteniendo:

$$N_{p.serie} = \frac{V_{trabajo}}{V_{panel}} = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 2$$

Luego, el número de módulos en paralelo:

$$N_{p,paralelo} = \frac{N_{ps}}{N_{p,serie}} = \frac{108}{2} = 54$$

Por ende, la energía que genera por día el sistema de generación distribuida fue:

Tabla 9

Energía diaria generada por sistema fotovoltaico

Nivel de radiación solar	Cantidad de paneles	Potencia por panel (Wp)	Energía de minicentral fotovoltaica
4,39 kWh/m ² /día	108	900	426,708 kWh

Nota: Elaboración propia.

Por tanto, es necesario emplear 108 módulos con 900 Wp cada uno, con el fin de brindar la energía eléctrica necesaria a la MPT, pudiendo generar 426,708 kWh, valor por encima de 424,163 kWh necesarios para satisfacer la demanda energética requerida.

Seleccionando el controlador

Para poder seleccionar adecuadamente el controlador, es indispensable emplear la corriente de cortocircuito del módulo (17,64 A), obteniéndose:

$$I_c = I_{panel\ ckto} \times N_{p,paralelo}$$

$$I_c = 1,10 \times 17,64 \text{ A} \times 54 = 1\ 047,82 \text{ A}$$

Existen controladores que poseen una capacidad de corriente de 200 A como máximo, por tanto, se seleccionó un controlador SmartSolar MPPT RS 450V 200A, que en el Anexo 2 se adjuntó sus propiedades. El número de controladores se obtuvo con la expresión:

$$N_c = \frac{I_c}{I_{unitaria\ controlador}}$$

$$N_c = \frac{1\ 047,82 \text{ A}}{200 \text{ A}} = 5,24 \approx 6$$

Finalmente, es necesario contar con seis controladores de 200 A, con el fin

de otorgar la demanda energética requerida.

Seleccionando el inversor

Seguidamente, empleando la máxima demanda que es:

$$MD_{mf} = 39,26825 \text{ kW}$$

$$W_{inversor} = \frac{MD_{mf}}{\eta_{inv}}$$

$$W_{inversor} = \frac{39,26825 \text{ kW}}{0,984} = 39,91 \text{ kW}$$

La cantidad de inversores es de:

$$N_{inv} = \frac{W_{inversor}}{P_{unitaria \ inversor}}$$

$$N_{inv} = \frac{39,91 \text{ kW}}{20 \text{ kW}} = 1,995 \cong 2$$

Seleccionando dos inversores Huawei SUN2000-20KTL-M5 de 20 kW trifásico, y en el Anexo 3 se adjuntaron sus propiedades técnicas.

Seleccionando las baterías

Para poder estimar el conjunto de baterías, se aplicó la expresión:

$$BB_{mf} = \frac{N_{autonomía} \times E_{corregida}}{PD_{max} \times V_{mf}}$$

Donde:

BB_{mf} : Capacidad del conjunto de baterías (Ah).

$N_{autonomía}$: Días de autonomía (2 días).

$E_{corregida}$: Energía que se requiere (424,163 kWh/día)

PD_{max} : Máxima profundidad de descarga (0,8) (Alonso, 2015).

V_{mf} : Voltaje de trabajo de la minicentral fotovoltaica (48 V).

Reemplazando los datos en la ecuación anterior:

$$BB_{mf} = \frac{2 \text{ días} \times 424,163 \text{ kWh/día}}{0,80 \times 48 \text{ V}}$$

$$BB_{mf} = 22\,091,84 \text{ Ah}$$

Al buscar diferentes tipos de baterías, se logró considerar la batería TENSITE, que posee una capacidad de 300 Ah (12 V), y que en el Anexo 4 se observan sus datos relevantes. La misma fue seleccionada porque tiene una capacidad bastante aceptable, además de un costo bastante atractivo a comparación de otros modelos y marcas, una eficiencia relativamente elevada.

Entonces, el número de baterías que se conectan en serie son:

$$N_{baterias \text{ serie}} = \frac{V_{mf}}{V_{unitario \text{ batería}}}$$

$$N_{baterias \text{ serie}} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4$$

Ahora, el número de baterías que se conectan en paralelo son:

$$N_{baterias \text{ paralelo}} = \frac{BB_{mf}}{C_{unitaria \text{ batería}}}$$

$$N_{baterias \text{ paralelo}} = \frac{22\,091,84 \text{ Ah}}{300 \text{ Ah}} = 73,64 \approx 74$$

Entonces, la cantidad de baterías necesarias es de 296 unidades. Cabe indicar, que la batería que se seleccionó es correcta y sus datos técnicos se observan en el Anexo 4, además de que se realizó un análisis comparativo de precios con otros modelos similares en capacidad, eficiencia y precio.

Tabla 10*Comparativo de diferentes baterías solares*

Marca	Capacidad (Ah)	Costo de la batería (S/.)	Tensión de batería (V)	Total de baterías	Costo Total (S/.)	Capacidad Total (Ah)
RITAR	200	2 006,50	12	444	890 886,00	22 200
RITAR	260	2 540,28	12	340	863 695,20	22 100
TENSITE	300	1 499,91	12	296	443 973,36	22 200
ROLLS	503	4 955,51	12	176	872 169,76	22 132

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 10 muestra los costos totales para diferentes baterías como RITAR, TENSITE y ROLLS, donde la seleccionada en el estudio brindó un costo total por S/.443 973,36, que comparado con los costos totales de las demás, el costo es superior logrando superar los S/.850 000,00.

Seleccionando conductores eléctricos

En dicho apartado, se aplicaron las expresiones matemáticas necesarias para poder seleccionar de forma correcta el cableado eléctrico.

En el trayecto módulos fotovoltaicos – controladores, se logró estimar la intensidad de corriente:

$$I_{mf-cont} = I_{mckto} \times N_{p,paralelo.cont}$$

$$I_{pf-cont} = 17,64 A \times 9 = 158,76 A$$

Por tanto, el cable que puede soportar dicha intensidad de corriente es el NHX-90 de 95 mm², que puede soportar 375 A (en aire) y 242 A (en ducto). Pero, se debe comprobar que cumple con la caída de tensión estipulada por norma.

$$\Delta V_{mf-cont} = \frac{2 \times I_{mf-cont} \times L_{mf-cont}}{56 \times S_{cond}}$$

$$\Delta V_{mf-cont} = \frac{2 \times 158,76 A \times 21 m}{56 \times 95 mm^2}$$

$$\Delta V_{mf-cont} = 1,2534 V$$

Al convertirse en porcentaje:

$$\Delta V_{mf-cont} (\%) = \frac{\Delta V_{mf-cont}}{V_{mf}} \times 100\%$$

$$\Delta V_{mf-cont} (\%) = \frac{1,2534 V}{48 V} \times 100\%$$

$$\Delta V_{mf-cont} (\%) = 2,61 \%$$

Se logró comprobar que se cumple con ambos criterios, por lo tanto, el cable descrito es correcto, y en el Anexo 5 se adjuntaron sus características técnicas.

Trayecto controlador – inversor:

Como se debe utilizar 2 inversores, la potencia se divide equitativamente, obteniendo:

$$MD_{mf} = 39,26825 kW$$

$$P_{unitaria inversor} = \frac{MD_{mf}}{N_{inv}} = \frac{39,26825 kW}{2} = 19,634 kW$$

Luego:

$$I_{cont-inv} = \frac{P_{unitaria inversor}}{V_{mf} \times \eta_{inversor}}$$

Considerando:

$I_{cont-inv}$: Intensidad de amperaje máximo entre controlador e inversor (A).

$P_{unitaria inversor}$: Potencia unitaria de un inversor para servicio continuo (W).

V_{mf} : Tensión a la que trabaje el inversor (V).

$\eta_{inversor}$: Representa la eficiencia o rendimiento en el inversor (0.988).

Reemplazando:

$$I_{cont-inv} = \frac{19\,634\,W}{48\,V \times 0,984}$$

$$I_{cont-inv} = 415,70\,A$$

Por tanto, el cable que puede soportar dicha intensidad de corriente es el NHX-90 de 150 mm², que puede soportar 501 A (en aire). Pero, se debe comprobar que cumple con la caída de tensión estipulada por norma.

$$\Delta V_{cont-inv} = \frac{2 \times I_{cont-inv} \times L_{cont-inv}}{56 \times S_{cable}}$$

$$\Delta V_{cont-inv} = \frac{2 \times 415,70\,A \times 5,50\,m}{56 \times 150\,mm^2}$$

$$\Delta V_{cont-inv} = 0,544\,V$$

Al convertirse en porcentaje:

$$\Delta V_{cont-inv}(\%) = \frac{\Delta V_{cont-inv}}{V_{mf}} \times 100\%$$

$$\Delta V_{cont-inv}(\%) = \frac{0,544\,V}{48\,V} \times 100\%$$

$$\Delta V_{cont-inv}(\%) = 1,134\,\%$$

Se logró comprobar que se cumple con ambos criterios, por lo tanto, el cable descrito es correcto, y en el Anexo 5 se adjuntaron sus características técnicas.

Ángulo óptimo de inclinación

Para poder obtener dicho ángulo, es necesario emplear la latitud del lugar del proyecto, siendo de -8,11268395082358, obteniéndose:

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

$$\beta_{opt} = 3,70 + (0,69 \times |-8,11268395082358|)$$

$$\beta_{opt} = 9,30^\circ$$

Dicho valor es de 9.30° , pero cabe indicar que para evitar que se acumule humedad y polvo, se emplea 10° .

Distancia mínima de separación entre paneles

Para poder determinar la distancia mínima de separación entre paneles se aplicó el método descrito por Mamani & Nina (2022):

$$h = \tan \beta_{\acute{o}ptimo} \times d_1$$

Calculando la altura horizontal (h) en relación al ángulo de inclinación de los módulos y la distancia que se proyecta en el piso (d_1):

$$d_1 = w \times \cos \beta_{\acute{o}ptimo}$$

$$d_1 = 2,59 \text{ m} \times \cos 10^\circ$$

$$d_1 = 2,55 \text{ m}$$

Sustituyendo:

$$h = \tan 10^\circ \times 2,55 \text{ m}$$

$$h = 0,45 \text{ m}$$

Calculando la distancia d_2 :

$$d_2 = \frac{h}{\tan \gamma}$$

Considerando:

$$\gamma = 61 - \phi$$

$$\gamma = 61 - 8,1127$$

$$\gamma = 52,8873^\circ$$

Calculando d_2 :

$$d_2 = \frac{0,45 \text{ m}}{\tan 52,8873^\circ}$$

$$d_2 = 0,34 \text{ m}$$

Al sumar las distancias:

$$d = d_1 + d_2$$

$$d = 2,55 \text{ m} + 0,34 \text{ m}$$

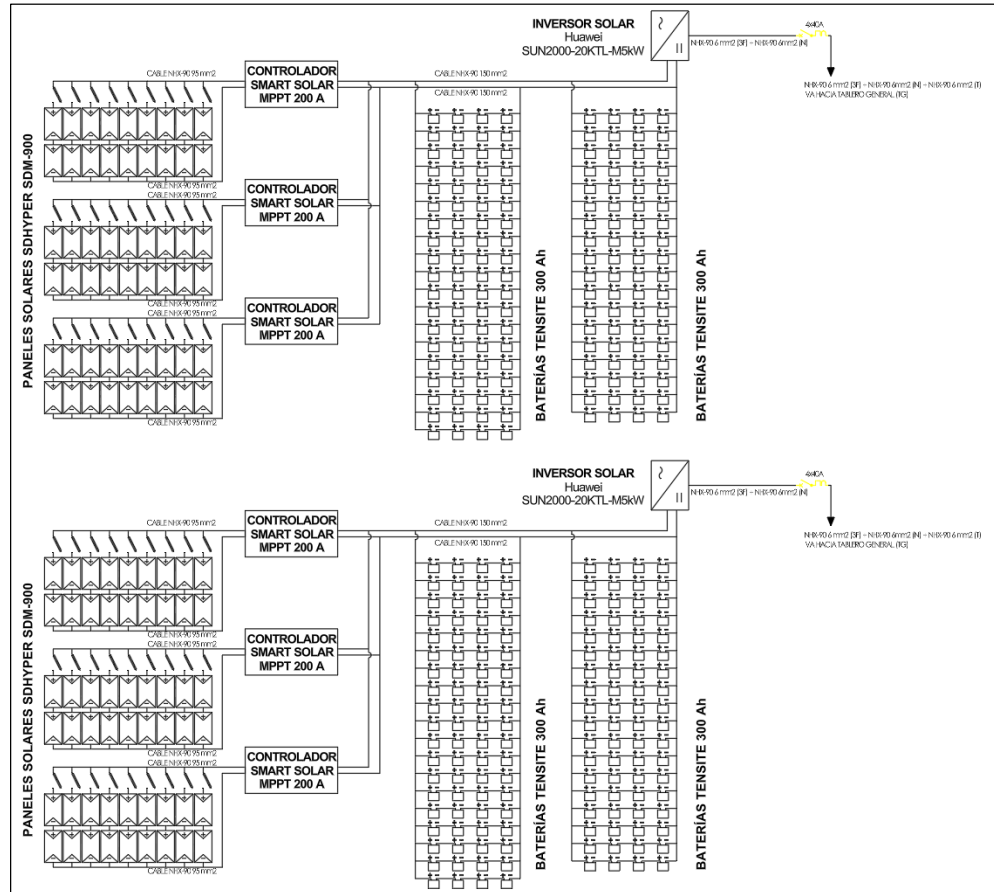
$$d = 2,89 \text{ m}$$

Entonces, la distancia o longitud que se proyecta en el piso debe ser de 2,89 m y la longitud que separa a los módulos debe ser de 0,45 m. Cabe precisar que, para realizar un adecuado mantenimiento, se empleó 1 m como distancia que separa a los módulos.

En la Figura 40 se puede observar el esquema de configuración del sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico, apreciando la cantidad de paneles y su instalación, los controladores, las baterías, el cableado respectivo y los inversores para llevar la energía generada al sistema eléctrico de la Municipalidad Provincial de Trujillo.

Figura 40

Esquema de configuración del sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico



Nota: Elaborada con AutoCAD 2021.

5.1.4. Viabilidad técnica y económica

Una vez finalizado el cálculo y selección para el sistema de generación distribuida mediante el uso de un sistema fotovoltaico, se procedió a elaborar el presupuesto que conlleva poder llevarlo a la realidad, además del análisis de rentabilidad respectivo.

En la Tabla 11 se verifica el presupuesto detallado respecto a los equipos, materiales e insumos involucrados para poder instalar el sistema de generación distribuida mediante un sistema fotovoltaico, donde se obtuvo un gasto total de S/.827 970,59 incluyendo IGV, además de la mano de obra que cuesta

poder realizar su instalación y puesta en servicio para verificar que funciona de forma correcta.

En la Tabla 12 se aprecia el flujo de caja respectivo, donde se consideró el costo de inversión inicial, el ahorro económico obtenido por consumo de energía, es decir, lo que se paga a la concesionaria eléctrica por concepto de consumo de energía eléctrica que es de S/.131 596,57 por año, además de un costo de mantenimiento que conlleva más que todo limpieza de los paneles y corroborar el estado del cableado, con un gasto aproximado de S/.8 104,64 anuales, y cada 10 años se debe efectuar el cambio del banco de baterías, con un gasto de S/.450 000,00 anuales incluyendo la mano de obra. Entonces, del análisis de rentabilidad se obtuvo un ingreso neto total al final de los 20 años de vida útil del sistema de S/. 939762,62, un VAN de S/.126 753,30, una TIR de 11,29% y un tiempo de recuperación de la inversión de 15,16 años.

Tabla 11*Presupuesto del sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico*

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Precio Unitario	Precio parcial
Panel Solar SDHYPER SDM-900 de 900 Wp	108	Und	S/ 2 003,57	S/ 216 385,56
Controlador Smart Solar MPPT RS 450V 200A	6	Und	S/ 7 571,75	S/ 45 430,50
Inversor Huawei SUN2000-20KTL-M5 de 20 kW	2	Und	S/ 5 309,14	S/ 10 618,27
Batería TENSITE de 300 Ah	440	Und	S/ 1 127,38	S/ 333 704,48
Cable INDECO NHX-90 de 95mm2	300	Metro	S/ 46,61	S/ 12 118,64
Cable INDECO NHX-90 de 150mm2	40	Metro	S/ 61,02	S/ 2 440,68
Cable INDECO NHX-90 de 6mm2	20	Metro	S/ 3,62	S/ 72,37
ITM Chint 4x40A	2	Und	S/ 101,69	S/ 203,39
Estructura para 18 paneles	6	Und	S/ 1 086,44	S/ 6 518,64
Estructuras para 40 baterías	11	Und	S/ 383,73	S/ 3,069,84
Tablero general para sistema fotovoltaico	1	Glb	S/ 762,71	S/ 762,71
Accesorios eléctricos (conectores, cinta, etcétera)	1	Glb	S/ 423,73	S/ 423,73
Mano de obra + puesta en servicio	1	Glb	S/ 55 084,75	S/ 55 084,75
Costo total por materiales e insumos sin impuestos				S/ 686 833,56
IGV		18%		S/ 179 724,92
Presupuesto total incluyendo IGV				S/ 810 463,60

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12

Análisis de rentabilidad para el sistema de generación distribuida con sistema fotovoltaico

Año	Inversión	Ahorro de energía	O&M	Cambio baterías	Ingreso total	Ingreso actualizado
0	-S/ 810 463,60					-S/ 810,463.60
1		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
2		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
3		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
4		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
5		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
6		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
7		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
8		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
9		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
10		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64	S/. 443 973,36	-S/ 320 481,43	-S/ 320 481,43
11		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
12		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
13		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
14		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
15		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
16		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
17		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
18		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
19		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
20		S/ 131 596,57	S/ 8 104,64		S/ 123 491,93	S/ 123 491,93
TIR					11,29%	S/ 939 762,62
VAN					S/ 126 753,30	

Nota: Elaboración propia.

5.2. Discusión de resultados

En consideración con la información obtenida, la Municipalidad Provincial de Trujillo posee un área construida de 1 920 m², logrando obtener una máxima demanda de 39,26825 kW, además de un consumo de energía promedio por día de 314,146 kWh para poder abastecer en su totalidad al sistema eléctrico. Dicha información tiene coherencia con los datos obtenidos por Vásquez (2019), logrando obtener una máxima demanda de 2,041 kW y un consumo de energía por día de 13,45 kWh para la Municipalidad de Pícsi perteneciente al departamento de Lambayeque, siendo menor a la obtenida para la Municipalidad Provincial de Trujillo debido a que la edificación es mucho más pequeña con pocas dependencias, lo cual se puede deber a que el pueblo es pequeño y requiere de pocas dependencias especializadas. De igual modo, concuerda con la información obtenida por Lizana (2019), que logró obtener una máxima demanda de 1,1 kW y un consumo de energía promedio por día de 16,16 kWh, siendo bastante menor a la obtenida en el presente estudio, debido a que las dimensiones de la edificación son mucho menores con un área bastante pequeña que no logra alcanzar los 200 m² y que, además, no posee mucho equipamiento eléctrico como es el caso de la municipalidad. Además, concuerda con los datos que obtuvo López (2019), logrando obtener una máxima demanda 13 kW y un consumo de energía por día de 2 200 kWh para la empresa Viettel Perú SAC ubicada en Trujillo, donde dichos datos son mucho menores debido a que el área del recinto de la empresa es mucho menor al área de la Municipalidad Provincial de Trujillo.

Con relación a la evaluación del recurso potencial eólico y solar en la ubicación de la Municipalidad Provincial de Trujillo, se obtuvo que no es recomendable utilizar la energía eólica ya que la velocidad existente se encuentra por debajo de la requerida para generación de energía eléctrica pero que la energía solar si tiene el potencial para poder hacerlo, con un valor de radiación solar de 4,39 kWh/m² por día. Dicha información tiene concordancia con los datos obtenidos por Potes (2019), donde obtuvo un valor de radiación solar disponible en la Universidad Técnica de Cotopaxi de 5,4 kWh/m² por día, con una irradiancia media mayor de 931 W/m², otorgando el potencial suficiente para poder generar energía eléctrica de forma continua en la ubicación descrita, siendo mucho más elevado al obtenido en el presente estudio,

lo cual brinda una mejor seguridad de generación y de una menor inversión ya que la cantidad de paneles es menor. Igualmente concuerda con la información obtenida por Aguirre (2019), ya que obtuvo un nivel de radiación mínima de 3,18 kWh/m² por día, siendo bastante menor con el obtenido en la presente investigación, lo que determina que la cantidad de paneles solares es mucho mayor debido a que el nivel de radiación es menor, pero que si se tiene el potencial suficiente para generar energía eléctrica pero que no es tan rentable en el mediano plazo. También tiene coherencia con los datos de Vásquez (2019), ya que logró obtener un nivel de radiación en un rango de 4,47 a 5,95 kWh/m² por día, suficientes para la generación de electricidad mediante el uso de energía solar de forma sustentable y rentable. Adicionalmente, tiene coherencia con los datos de radiación obtenida en un rango de 5,5 a 6 kWh/m² por día, con el potencial suficiente para poder generar energía eléctrica de manera continua en la ubicación descrita.

Respecto a la selección del equipamiento electromecánico, son necesarios 108 paneles solares de 900 Wp, 6 controladores de 200 A cada uno, 2 inversores de 20 kW cada uno, 296 baterías de 300 Ah cada una, cable NHX-90 de 6 mm², cable NHX-90 de 95 mm², cable NHX-90 de 150 mm², dos ITM de 3x40A, además de accesorios necesarios para complementar el sistema y pueda operar adecuadamente. La información obtenida tiene concordancia con los datos de Vásquez (2019), logrando seleccionar un total de 28 paneles solares de 330 Wp, con una potencia total de 9,24 kW, además de un inversor de 8,2 kW, para lograr generar el 93% de la energía eléctrica requerida y el restante es suministrado por la concesionaria. De igual forma concuerda con la información de Aguirre (2019), que logró seleccionar para el sistema propuesta un total de 8 paneles fotovoltaicos de 310 Wp además de los distintos componentes, para poder suministrar de forma continua la energía eléctrica requerida en la I.E. N° 16531 en el puerto Chinchipe, ubicado en San Ignacio, departamento de Cajamarca. También tiene coherencia con la información que obtuvo Gutiérrez & Olaya (2016), determinando que el nivel de radiación solar en Bogotá es bastante elevado para la generación continua de energía eléctrica, con un alto potencial para explotación de forma rentable tanto en términos técnicos como económicos.

Finalmente, teniendo en cuenta el presupuesto de inversión para el sistema de

generación distribuida con energía solar es de S/. 810 463,60. incluido el IGV, que, al analizar para una vida útil de 20 años del proyecto, se obtuvo un VAN de S/.126 753,30, TIR de 11,29% y un tiempo para recuperar la inversión de 15,16 años, demostrando la viabilidad del proyecto, pero que se recupera en el mediano plazo. Dichos datos tienen coherencia con los obtenidos por Vásquez (2019), ya que obtuvo una inversión de S/.41 135,70 y para 25 años de vida del proyecto propuesto, el VAN fue de S/.5 989,64 además de una TIR de 14%, y es de esperarse ya que el nivel de radiación es más alto, lo que permite obtener un costo menor en la cantidad de paneles solares, lo que genera una mayor rentabilidad que se ve reflejada en la Tasa Interna de Retorno. De igual forma tiene concordancia con los datos que obtuvo Lizana (2019), con un presupuesto de S/.15 552,10, con un VAN de S/.3 341,43 y una TIR de 14%, y es de esperarse, ya que el nivel de radiación es superior, logrando obtener menor cantidad de paneles y por ende, un menor costo, logrando una mejor rentabilidad reflejada en la Tasa Interna de Retorno. Además, tiene coherencia con los datos de López (2019), que obtuvo un VAN de S/.12 874,08, una TIR de 12%, demostrando que el proyecto propuesto es rentable tanto técnica como económicamente, como en el presente estudio, pero que los datos son algo elevados debido a que el nivel de radiación fue mayor, ello permite obtener una mejora en términos económicos, ya que la cantidad de paneles fotovoltaicos es menor en comparación si la radiación es menor, ya que la cantidad de paneles es mayor, para poder suministrar la energía o potencia requerida.

CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- De acuerdo con la información obtenida, la Municipalidad Provincial de Trujillo posee un área construida de 1 920 m², logrando obtener una máxima demanda de 39,26825 kW, además de un consumo de energía promedio por día de 314,146 kWh para poder abastecer en su totalidad al sistema eléctrico.
- Al evaluar el recurso potencial eólico y solar en la ubicación de la Municipalidad Provincial de Trujillo, se obtuvo que no es recomendable utilizar la energía eólica ya que la velocidad existente se encuentra por debajo de la requerida para generación de energía eléctrica pero que la energía solar si tiene el potencial para poder hacerlo, con un valor de radiación solar de 4,39 kWh/m² por día.
- Respecto a la selección del equipamiento electromecánico, son necesarios 108 paneles solares de 900 Wp, 6 controladores de 200 A cada uno, 2 inversores de 20 kW cada uno, 296 baterías de 300 Ah cada una, cable NHX-90 de 6 mm², cable NHX-90 de 95 mm², cable NHX-90 de 150 mm², dos ITM de 3x40A, además de accesorios necesarios para complementar el sistema y pueda operar adecuadamente.
- El presupuesto de inversión para el sistema de generación distribuida con energía solar es de S/.810 463,60 incluido el IGV, que, al analizar para una vida útil de 20 años del proyecto, se obtuvo un VAN de S/.126 753,30, TIR de 11,29% y un tiempo para recuperar la inversión de 15,16 años, demostrando la viabilidad del proyecto, pero que se recupera en el mediano plazo.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar energía renovable para mitigar el impacto ambiental, de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, evaluando el potencial de cada tipo existente en el lugar donde se requiera aplicar, para obtener la mejor alternativa y explotar su potencial de generación de energía eléctrica u otro tipo de aplicación.
- Se recomienda utilizar información actualizada de los distintos datos a emplear, ya que, por ejemplo, la radiación solar y velocidad del viento pueden variar cada año, además de la tasa de descuento para el análisis de rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre Peña, N. E. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica pública para la I.E N° 16531, Puerto Chinchipe – San Ignacio*. Repositorio de la Universidad Nacional de Jaén. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/185/Aguirre_PNE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AliExpress. (2022). *Lámina trasera para panel Solar encapsulado*. <https://es.aliexpress.com/i/32989375582.html>

AliExpress. (2022). *Película de EVA Solar para encapsulación de células solares, panel de laminación, bricolaje, 8m x ancho, 680mm*. <https://es.aliexpress.com/item/32815275542.html>

Almanza-Fundora, I., García-Fernández, R. R., & García-Reina, C. F. (2019). Desarrollo de un sistema para la medición de la eficiencia energética de celdas solares. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), 1-10.

Alonso Lorenzo, J. A. (2015). *Conceptos sobre baterías solares*. Retrieved 14 de junio de 2023, from SUNFIELDS Europe: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/#:~:text=2%20%E2%80%93%20Profundidad%20de%20descarga%3A,-La%20profundidad%20de&text=Descargas%20superficiales%3A%20son%20descargas%20de,80%25%20de%20la%20capacitad>

Alvarado, P. (2019). "VAN Y TIR COMO MÉTODOS DE VALORACIÓN DE INVERSIONES FINANCIERAS PARA EL ESTUDIO DEL ARRENDAMIENTO DE UNA CAMARONERA". (*Tesis de Grado*). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14493/1/EUACE-2019-AE-DE00501.pdf>

Área Tecnológica. (2019). *Interruptor magnetotérmico*. https://www.areatecnologia.com/electricidad/magnetotermico.html#%C2%B4Qu%C3%A9_es_un_Interruptor_Magnetot%C3%A9rmico

- Auto Solar. (13 de Agosto de 2021). *¿Qué mantenimiento requiere un panel solar?*
<https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/que-mantenimiento-requiere-un-panel-solar>
- Autosolar Energía del Perú S.A.C. . (2022). *Descargador Sobretensiones Solar 1000V DEHNguard YPV.* <https://autosolar.pe/accesorios-de-inversores/descargador-sobretensiones-solar-1000v-dehnguard-ypv>
- Ávalos, E. (2018). *Propuesta de un programa de mantenimiento para un sistema fotovoltaico de 1.5 Kw para la Universidad Tecnológica Mariano Escobedo y Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo.* México.
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/825/2/Eduardo%20%C3%A1valos%20de%20le%C3%B3n%20MER.pdf>
- Barrionuevo Chipana, I. D., Rocca Guadamur, B. B., & Rujel Rugel, H. R. (2022). *Generación distribuida fotovoltaica para mejorar la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná - 2021.* Repositorio de la Universidad Nacional del Callao.
- Barzola Meza, H. (2020). *Optimización del diseño de paneles solares fotovoltaicos aplicando grafeno.* Universidad Continental. Huancayo: Repositorio de la Universidad Continental.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10387/1/IV_FIN_109_TI_Barzola_Meza_2020.pdf
- Benítez, G. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económico-financiera para la construcción, explotación y mantenimiento de una pata de tratamiento de residuos de construcción y demolición.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/54393/1/TFG_GONZALO_BENITEZ_VILLANUEVA.pdf
- Blas Martínez, D., & Torres, M. Á. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica: Instalación de paneles fotovoltaicos en Bosal S.A.* Zaragoza: Repositorio de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.
<https://core.ac.uk/download/pdf/289971257.pdf>

- Collazos Acosta, M. B. (2021). *Modelamiento matemático del panel fotovoltaico para el análisis de su comportamiento eléctrico frente a la irradiancia y temperatura*. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Construir Argentina S.A. (2017). *El Sol como fuente de energía renovable!*
<https://www.construirargentina.com/energia-solar/>
- Dankoff Solar Products. (2008). *Guía de Traducción y Glosario de Términos Técnicos Relativos a Bombas de Agua Movidas por Energía Solar*.
<https://www.aice-interpretres.com/noticias/pdfnoticias1590.pdf>
- DECU3-Energía Solar. (2020). *Como funciona la generación distribuida*.
<https://decu3.com.ar/como-funciona-la-generacion-distribuida/>
- Dimae Dialectro Manchego. (2022). *INT.Interpact INS250 4P Estándar*.
<https://dimae.com/31107-int-interpact-ins250-4p-estandar.html>
- Diputació de Barcelona. (2020). *Manual básico de seguridad e las instalaciones eléctricas de baja tensión*.
https://www.diba.cat/documents/467843/102692054/MANUAL_INSTALACIONES_ELECTRICAS_WEB.pdf/1e9394dc-b0f0-429b-9178-4dab4110d952
- DS New Energy. (18 de Febrero de 2021). *La caja de conexiones solar fotovoltaica*.
<https://www.dsisolar.com/info/the-solar-pv-junction-box-54220372.html>
- Eco Worthy. (2018). *Sizing suitable fuse for PV system*.
- EcoInventos Green Technology. (4 de septiembre de 2022). *Células solares fotovoltaicas: qué son y cómo funcionan*. <https://ecoinventos.com/celulas-solares-fotovoltaicas/>
- Efimarket. (1 de Marzo de 2018). *Efimarket. ¿Qué es la Hora Solar Pico (HSP), para qué sirve y cómo calcularlo?*: <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>
- Eliseo, S. (2022). *Energía Solar*. Retrieved 13 de mayo de 2023, from Autonomía Panel Solar: <https://eliseosebastian.com/autonomia-en-panel-solar-fotovoltaico/>

- Endesa Fundación. (2022). *Generación distribuida*.
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida>
- Enel Green Power. (2022). *Módulo Fotovoltaico*.
<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>
- Enerver Eficiencia Energética. (2019). *Inversores solares*.
<http://enerverperu.com/inversores>
- Enlight. (17 de Junio de 2020). *Net metering y net billing: esquemas de interconexión en México*. <https://www.enlight.mx/blog/conoce-los-esquemas-de-interconexion-que-existen-en-mexico>
- Enrique, S. (2016). *"ELECTROTECNIA BÁSICA"*.
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/12002/P-1783-%20Nina%20Si%C3%B1ani%2C%20Salomon%20enrique.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Especialización en Sistemas Fotovoltaicos. (2010). *El efecto fotoeléctrico*.
http://seslab.org/fotovoltaico/11_el_efecto_fotoelctrico.html
- Falcón, N., Peña, F., Mavo, H., & Muñoz, R. (2001). Irradiación solar global en la ciudad de Valencia. *Revista Ingeniería UC*, 8(2).
<https://www.redalyc.org/pdf/707/70780207.pdf>
- Farriz Basar, M., Musfirah Norazizi, A., Mustaffa, I., Trenado Colin, C., Suhaila Mirin, S. N., & Jano, Z. (2021). Investigation on the Performance of a Portable Power Generation System with a Low-Cost Vertical Axis Wind Turbine. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(6), 7809-7813.
- Feksa Ramos, L., Canha, L. N., Antunes Vieira, E., Silva, M. P., & Carvalho Jr., C. A. (2020). *Adaptive Algorithm for Solar Tracking in Photovoltaic Power Plants*. Federal University of Rondonia.
<https://doi.org/10.48011/asba.v2i1.1550>

- Flores Rivera, N. R., & Domínguez Ramírez, M. Á. (2016). *Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio*. Centro de investigación en materiales avanzados, S.C. Repositorio de la Escuela de Posgrado del Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/791/1/Norma%20Rosario%20flores%20Rivera%2C%20Miguel%20%C3%81ngel%20Dom%C3%ADnguez%20Ram%C3%ADrez%20Maestr%C3%ADa%20en%20Energ%C3%ADas%20Renovables.pdf>
- Gemisa S.A.S. (2022). *¿Por qué debemos considerar conectar un sistema fotovoltaico a la red eléctrica?* Solmic un futuro brillante: <https://www.solmic.co/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red>
- Global Solar Atlas. (2022). *Global Solar Atlas*. <https://globalsolaratlas.info/map>
- Globe of God. (2020). *Panel solar fotovoltaico*. <https://www.pinterest.com/pin/387661480406550770/>
- Gomez, A. (27 de abril de 2014). *Vidrio fotovoltaico de Onxy Solar: Energía limpia muy económica*. Fikos News: <https://efikosnews.com/vidrio-fotovoltaico-de-onxy-solar-energia-limpia-muy-economica/>
- González Sobrino, L. L. (2018). *Estudio de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos*. Repositorio de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- González, J. (2010). *Películas delgadas de seleniuro de plata y antimonio por medio de la combinación de baño químico y evaporación térmica para aplicaciones fotovoltaicas*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/3483/1/1080167885.pdf>
- Guevara, A., & Silva, R. (2018). "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para el cultivo de espárrago en el fundo Bobadilla – Ferreñafe". (*Tesis de pregrado*). http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/29181/Guevara_BAP-Silva_DRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gürtürk, M., Benli, H., & Koçdemir Ertürk, N. (2020). Determination of the effects of temperature changes on solar glass used in photovoltaic modules.

Renewable Energy, 145, 711-724.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.091>

Gutiérrez Henao, J. C., & Olaya Betancourt, O. L. (2016). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico sin baterías conectado a una red de distribución secundaria*. Repositorio de la Universidad de La Salle.

Helio esfera. (10 de Octubre de 2021). *La radiación solar*.
<https://www.helioesfera.com/la-radiacion-solar/>

Henríquez, C. (2003). *Regulador de panel solar - batería - carga con microcontrolador PIC*. Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1383/IME_076.pdf?sequence=1

Hernández, R. (2017). *Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV*. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, Tabasco.
<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf>

Hernández, R. (2017). *Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV*. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Villahermosa, Villahermosa.
<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf>

Home Solution. (12 de Mayo de 2022). *¿Cuál es la diferencia entre llave térmica y disyuntor?* Home Solution: <https://homesolution.net/blog/termica-y-disyuntor/>

Huete, M. (2008). *Sistema de puesta a tierra y proteccion para sistemas de telecomunicaciones*. Universidad de San Carlos de Guatemala . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0214_EO.pdf

- Huillca, M. (2021). *Diseño de generación distribuida empleando paneles solares fotovoltaicos y efectos en calidad de energía sobre la red de baja tensión*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/13883>
- INGESCO. (2022). *Protectores para placas fotovoltaicas*. INGESCO: <https://www.ingesco.com/es/productos/protectores-para-plantas-fotovoltaicas>
- Inmagine Lab . (2022). *Fondo del concepto de energía con panel solar y batería de carga, ilustración 3d*. https://es.123rf.com/photo_79672643_fondo-del-concepto-de-energ%C3%ADa-con-panel-solar-y-bater%C3%ADa-de-carga-ilustraci%C3%B3n-3d.html
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). *Características de la radiación solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- Iranzu, A. (2018). *Diseño de equipo automatizado para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos*. Trabajo de fin de grado, Universidad Pública de Navarra, España. https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/29115/MEMORIA_Alfredo_Iranzu_Balbuena.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Jaramillo Marín, M. (19 de enero de 2024). *Espectro electromagnético en Colombia: ¿Qué es y por qué es tan valioso?* Impacto Tic: <https://impactotic.co/tecnologia/espectro-electromagnetico/>
- La República. (2022). *Elecciones 2022: 19 precandidatos buscarán llegar al sillón de la Municipalidad de Trujillo*. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flarepublica.pe%2Fpolitica%2F2022%2F04%2F14%2Felecciones-2022-19-precandidatos-buscaran-llegar-al-sillon-de-la-municipalidad-de-trujillo-lrnd%2F&psig=AOvVaw2ln3ZTyczZSdgPnBt3yjdO&ust=1666139975600000&source>
- Ladrón de Guevara, J. A. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. Repositorio de la Universidad Politécnica de Madrid.

- Lino Veas, L. A. (2022). *Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil: Repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <http://201.159.223.180/bitstream/3317/18022/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-289.pdf>
- Liu, Z., Cui, M., Sun, S., Wang, Q., Yang, W., Li, R., & Yue, X. (2023). Application of Multivariate Modelling to Global Warming Projections. *Academic Journal of Science and Technology*, 7(2), 61-65. <https://doi.org/10.54097/ajst.v7i2.11777>
- Lizana Rivera, C. R. (2020). *Dimensionamiento de un sistema con recursos energéticos renovables conectado a red en el Distrito de Tarapoto, San Martín*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8169/BC-4535%20LIZANA%20RIVERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Llauce, A. (2016). Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura. (*Tesis de pregrado*).
- Llorens Manclús, S. (2023). *Estudio y dimensionamiento de placas fotovoltaicas para autoconsumo con conexión a red en vivienda unifamiliar, incluyendo punto de recarga para vehículo eléctrico y diversas alternativas*. Repositorio de la Universidad Miguel Hernández de Elche.
- López Barboza, J. L. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red en la Empresa Viettel Perú S.A.C. ubicado en Trujillo - La Libertad*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/5494/BC-TES-%204079%20LOPEZ%20BARBOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López Castrillón, Y., & Fonthal Rico, F. (2019). En *El efecto Fotovoltaico y la celda solar*. Colombia: AlfaOmega.

- Mamani Mamani, E. G., & Nina Limache, C. A. (2022). *Dimensionamiento de paneles solares para reducir costos de facturación de energía eléctrica en el mercado del distrito de Samegua - Moquegua 2022*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- Mártil, I. (30 de noviembre de 2015). *La energía solar fotovoltaica, en la vanguardia frente al cambio climático*. Público Display Connectors SL.: <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2015/11/30/la-energia-solar-fotovoltaica-en-la-vanguardia-frente-al-cambio-climatico/>
- McGraw Hill Education. (2020). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. España: McGraw Hill Education. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Radiación Dolar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- MPPT Solar. (2018). *Paneles solares: conexión en paralelo*. <https://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>
- Murillo, T. (2013). *La entrevista*. http://www.uca.edu.sv/mcp/media/archivo/f53e86_entrevistapdfcopy.pdf
- Nugraha, M. R., & Adriansyah, A. (2022). Development of a solar radiation sensor system with pyranometer. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12(2), 1385-1391. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1385-1391>
- Osinermin. (2009). *Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables*. Congreso de la República.
- Oyarzún Gerdtzen, J. C. (2016). *Evaluación proyecto fotovoltaico en instalaciones de Colbún S.A*. Universidad de Chile. Santiago de Chile: Repositorio de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/138273>
- Palacios, D., Rojas, R., & Ramirez, E. (2019). *Aspectos regulatorios a considerar en la implementación de la micro generación distribuida residencial fotovoltaica en el mercado eléctrico peruano*. Tesis de maestría, Universidad

- Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/631313/Palacios_ED.pdf?sequence=3
- Panel Power. (2019). *¿Cómo funcionan los paneles solares?*
<https://www.panelpower.com.mx/como-funcionan-los-paneles-solares>
- Potes, P., & Proaño, X. (2020). Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. *Revista Técnica energía*, 16(2), 148-157.
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.362>
- Rajesh, K. (2017). Reliability of Renewable Power Systems. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 217-230.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489101472>
- Reggio. (2018). *Como conectar paneles solares a un inversor*.
<https://primapaginareggio.com/naturaleza/como-conectar-paneles-solares-a-un-inversor/>
- Responsabilidad Social. (8 de enero de 2022). *Calentamiento global: que es, definición, causas, consecuencias y combate*.
<https://www.responsabilidadsocial.net/calentamiento-global-que-es-definicion-causas-consecuencias-y-combate/>
- Revilla Figueroa, D. M. (2018). TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN EDUCACIÓN CON MENCIÓN EN CURRÍCULO:
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13900/R_OJAS_BONILLA_MAR%C3%8DA_LUZ1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ríos Gutiérrez, J. A., Enrique, J., Barragán Piña, A. J., & Andújar Márquez, J. M. (2020). Comparación de estrategias de control para sistemas MPPT: optimización de la potencia entregada a la carga vs optimización de la potencia extraída del generador fotovoltaico. *XL Jornadas de Automática*, 589-595. <https://doi.org/10.17979/SPUDC.9788497497169.589>
- Rodriguez, E. (2019). *Regulador de carga solar*.
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

- RPP Noticias. (3 de Enero de 2022). *¿Cómo impacta mi consumo de electricidad en el medio ambiente?* <https://rpp.pe/campanas/valor-compartido/como-impacta-mi-consumo-de-electricidad-en-el-medio-ambiente-noticia-1378450?ref=rpp>
- Sánchez García, G. (2019). *Dimensionamiento de un sistema híbrido con energía renovable para el caserío Victor Raúl en Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Sánchez, R. (2018). *Diseño y construcción de medidor de radiación con seguimiento solar y registrador de datos*. Tesis de magister, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4869/S%C3%A1nchez%20Poma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santamaría, G., & Castejón, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editorial Editex.
- Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. (2008). *Preparacion y evaluacion de proyectos*. Colombia.
- Silva, G. (2019). *"PROYECTOS II"*. (Tesis de Pregrado), Iquitos, Perú. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6148/Grecia_Informe_Titulo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SOLEN. (26 de Octubre de 2019). *¿Cuántas horas solares pico necesitan los paneles solares?* <https://solentechnology.com/cuantas-horas-solares-pico-necesitan-los-paneles-solares/>
- SunFields Europe. (2011). *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. SunFields Europe: https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/08/Sunfields_Manual-Calculo_Fotovoltaica_Autonomas.pdf
- Sunwise. (2023). *¿Qué tipos de paneles fotovoltaicos existen?* <https://blog.sunwise.io/que-tipos-de-paneles-fotovoltaicos-existen/>
- Taki, M., Rohani, A., & Yildizhan, H. (2021). Application of machine learning for solar radiation modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 1599-1613. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03484-x>

- United States Environmental Protection Agency. (23 de Junio de 2022). *Distributed Generation of Electricity and its Environmental Impacts*.
<https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts>
- Universidad de Jaén. (2020). *Tecnología de fabricación de la célula solar*.
http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm
- Universidad del País Vasco. (2022). *¿Quieres conocer el impacto ambiental del consumo energético y cuidar el medio ambiente?*
<https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-energia-kontsumoa-eraginak#%C2%BFQUIERESCONOCERELIMP1>
- Vásquez Ducep, G. F. (2019). *Microgeneración distribuida con sistema fotovoltaico para autoconsumo en la Municipalidad de Picsi en el departamento de Lambayeque*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPRG_dab1360bc926fee3633ee35b05d98ab7
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- Vega, L. (2019). "DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE 3,7 KW PARA EL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO". (Tesis de pregrado).
<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3942/BC-2662%20VEGA%20ROJAS.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Vera, G. (2022). *Problemas de paneles solares y recomendaciones*.
<https://www.hogarsense.es/placas-solares/problemas-paneles-solares>

- Wright, J. (2008). Cálculo espectral de la irradiación solar directa, difusa y global. *Uniciencia*, 22(1-2), 71-85. <https://www.redalyc.org/pdf/4759/475948929009.pdf>
- Zhu, G. (2017). *Módulo de panel solar de marco negro el marco de metal de aluminio para bricolaje Perfil Bastidor Panel Solar*. https://es.made-in-china.com/co_cneverfaith/product_Black-Frame-Solar-Panel-Module-Metal-Frame-DIY-Aluminum-Profil-for-Solar-Panel-Frame_rrhoosog.html
- Zweibel, K. (2021). *The Photovoltaics*. hotovoltaics from Milliwatts to Gigawatts. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-6110-5_2.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica panel fotovoltaico SDHYPER SDM-900 de 900 Wp

SDHYPER

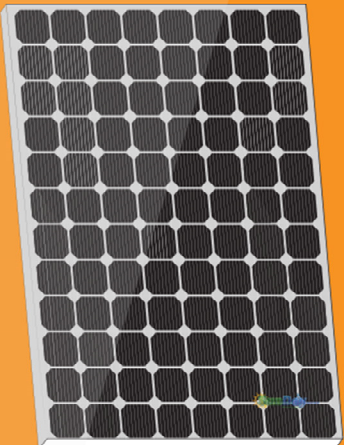
"Make Difference, Make Better."

MONO

850-900w

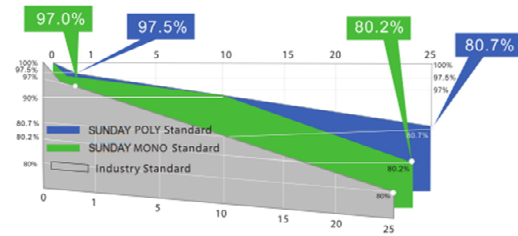
Sunday Energy 9BB Mono Modules
Assembled with the advanced 9busbar-cell technology offer advantages of higher power output, reduced series resistance loss and lower risk of hotspot. In order to meet the customers' requirements of best quality and efficiency.

9BB 210cells





LINEAR PERFORMANCE WARRANTY



- 9BB

9BB cell design
 Smaller electric current, less CTM loss
 Lower risk of hot spot
- Globe

ISO9001:2015&ISO14001
 management systems
- IEC

IEC61215 & IEC61730
 standard quality
- Wind/Snow

Wind load up to 3800Pa
Snow load up to 5400Pa
- +6W

0-6W positive power sorting
- Moon

Stable performance under weaklight conditions
- 10-year
25-year

25-year power warranty
10-year product warranty



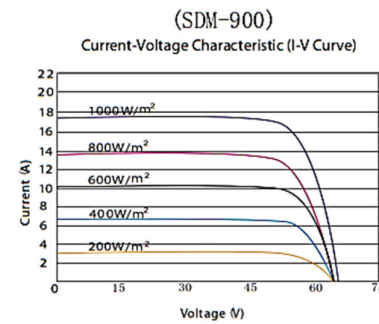
210 BIG CELL MONO 850W-900W 9BB



ELECTRICAL PARAMETERS

Model Type	SDM-850	SDM-860	SDM-870	SDM-880	SDM-890	SDM-900
Nominal Maximum Power (Pmax)	850W	860W	870W	880W	890W	900W
Optimal Operating Voltage (Vmp)	52.98V	53.38V	53.76V	54.12V	54.53V	54.53V
Optimal Operating Current (Imp)	16.01A	16.11A	16.18A	16.26A	16.33A	16.50A
Open Circuit Voltage (Voc)	62.57V	62.89V	63.08V	63.37V	63.55V	63.74V
Short Circuit Current (Isc)	17.21A	17.33A	17.42A	17.56A	17.60A	17.61A
Module Efficiency	18.97%	19.19%	19.42%	19.64%	19.86%	20.08%
Power Tolerance	0 to +6W					
Maximum System Voltage	DC 1500V					
Operating Temperature	-10C--+85 C					
Maximum Series Fuse Rating	30A					
Number of Bypass Diode	4					

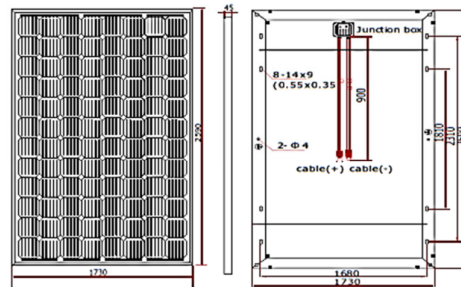
ELECTRICAL CHARACTERISTICS



MECHANICAL DATA

Cell Type	210mm x 210mm
Cell Arrangement	96 cells in series
Dimensions	2590 x 1730 x 45 mm (With bar fixed in the middle)
weight	53.4kg
Front Cover	3.2mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	1P67/1P68, 4 diodes
Cable	4mm ² (IEC) / 12AWG (UL), 900mm (650mm is optional)
Connectors	MC4 or MC4 compatible

PHYSICAL CHARACTERISTICS Unit: mm (inch)



TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Temperature Coefficient (Pmax)	-0.380% /°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.360% /°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.07% /°C
Nominal operating Cell Temperature	45.3 ± 2°C

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and creation, technical data above mentioned may be of modification timely, Sunday Energy has the own right to make such modification at anytime without future notice.

CHANGZHOU SUNDAY ENERGY CO., LTD.
Tel: +86 0519 6808 1230 Fax: +86 0519 6808 1233
Email: sa.res@sundayenergy.cn
Website: www.sundayenergy.cn



Anexo 2: Ficha técnica de controlador SmartSolar MPPT RS 450V 200A



MPPT RS SmartSolar 450|100 y 450|200 - Aislado

Controlador de carga solar 5,76 kW y 11,52 kW con entrada FV de 450 V

www.victronenergy.com



MPPT RS SmartSolar 450|100

Controlador de carga solar con Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

El MPPT RS SmartSolar es un controlador de carga solar de 48 V con una entrada FV de hasta 450 VCC PV y una salida de 100 A o 200 A. Se usa en aplicaciones solares aisladas y conectadas a la red en las que se requiere máxima potencia de carga de la batería.

Varias entradas de seguimiento MPPT independientes

Con varios rastreadores de MPPT, se puede optimizar el diseño de sus paneles solares para obtener el máximo rendimiento en una ubicación concreta.

Conexiones FV aisladas para más seguridad

El aislamiento galvánico completo entre las conexiones de la batería y FV proporciona seguridad adicional a todo el sistema.

Amplio rango de tensión MPPT

Rango operativo de entre 80 y 450 VCC FV con una tensión de arranque de 120 VCC FV.

Ligero, eficiente y silencioso

Gracias a su tecnología de alta frecuencia y a su nuevo diseño, el modelo de 100 A de este potente cargador solo pesa 7,9 kg. Además, tiene una eficiencia excelente, bajo consumo de energía en reposo y un funcionamiento muy silencioso.

Pantalla y Bluetooth

La pantalla muestra parámetros de la batería y del controlador. Se puede acceder a estos parámetros con una *smartphone* u otro dispositivo con Bluetooth. Además, se puede usar Bluetooth para configurar el sistema y cambiar los parámetros con VictronConnect.



Vigilancia de la resistencia al aislamiento fotovoltaico para estar tranquilo con tensiones más altas

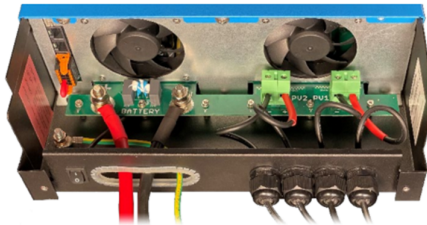
El MPPT RS vigila continuamente el conjunto FV y puede detectar si hay fallos que reduzcan el aislamiento de los paneles hasta niveles poco seguros.

Puerto VE.Can y VE.Direct

Permite conectarlo a un dispositivo GX para seguimiento del sistema, registro de datos y actualizaciones de firmware a distancia. El VE.Can permite conectar hasta 25 unidades juntas en paralelo y sincronizar sus procesos de carga.

Conexiones I/O

Conexiones de relé programable, sensor de temperatura, auxiliar, entrada digital y sensor de tensión. La entrada remota puede aceptar el smallBMS de Victron y otros tipos de BMS con señal para permitir la carga.



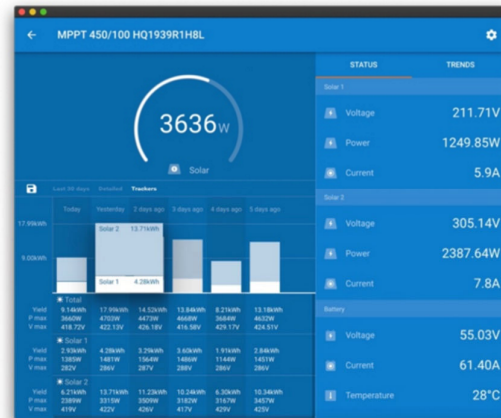
Interior del MPPT RS SmartSolar 450|100

Configuración y control con VictronConnect →

La conexión integrada Bluetooth Smart permite un rápido seguimiento y ajuste de la configuración.

El historial de 30 días integrado muestra el rendimiento de cada uno de los rastreadores MPPT.

Pruebe la demo de VictronConnect para ver todo el rango de configuraciones y opciones de pantalla con datos de muestra.



Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Teléfono general: +31 (0)36 535 97 00 | Correo electrónico: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com



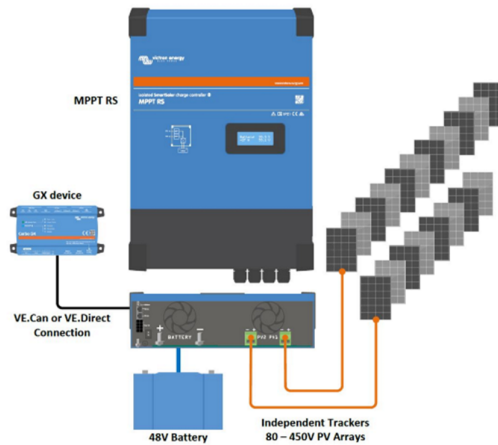
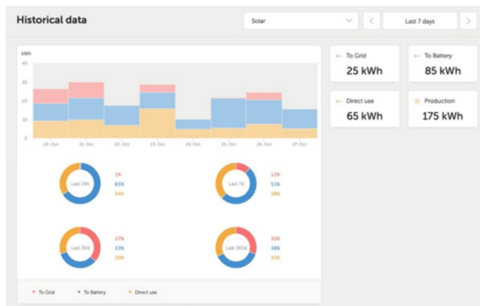
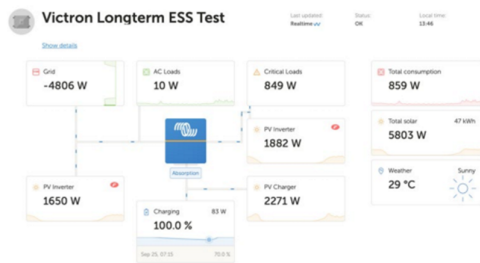


Diagrama de ejemplo de sistema
El MPPT RS de 100 A combinado con un dispositivo GX, cargando una batería de 48 V con dos cadenas FV solares separadas.

Portal VRM

Cuando el MPPT RS esté conectado a un dispositivo GX con conexión a Internet, o al GlobalLink 520 con conectividad 4G integrada, podrá acceder a nuestro sitio web gratuito de seguimiento a distancia (VRM). Le mostrará todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Se pueden recibir alarmas por correo electrónico.



Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Teléfono general: +31 (0)36 535 97 00 | Correo electrónico: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com



MPPT RS SmartSolar aislado	450 100	450 200
CARGADOR		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 62 V	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
SOLAR		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V ⁽¹⁾	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV ⁽²⁾	20 A por rastreador	
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador ⁽³⁾	7200 Wp (450 V x 20 A) ⁽³⁾	
Nivel de fallo del aislamiento FV ⁽⁴⁾	100 kΩ	
GENERAL		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Sí, hasta 25 unidades con VE.Can	
Relé programable ⁽⁶⁾	Sí	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretensión	
Comunicación de datos	Puerto VE.Direct, puerto VE.Can y Bluetooth ⁽⁶⁾	
Puerto de entrada analógico/digital de uso general	Sí, 2	
On/Off remoto	Sí	
Rango de temperatura de trabajo	-40 a +60°C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación)	máx. 95%	
CARCASA		
Material y color	acero, azul RAL 5012	
Grado de protección	IP21	
Conexión de la batería	Pernos M8	
Peso	7,9 kg	13,7 kg
Dimensiones (al x an x p) en mm	440 x 313 x 126	487 x 434 x 146
NORMAS		
Seguridad	EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	

- 1) El rango de funcionamiento del MPPT está limitado por la tensión de la batería - VOC FV no debe superar la tensión de flotación de la batería multiplicada por 8. Por ejemplo, para una tensión de flotación de 52,8 V, sería una VOC FV máxima de 422,4 V. Para más información, consulte el manual del producto.
- 2) Una corriente de cortocircuito más alta podría dañar el controlador en caso de que el conjunto FV se haya conectado con polaridad inversa.
- 3) Máximo de 450 Voc resulta en 360 Vmpp aprox., por lo que el conjunto FV máximo es de aprox. 360 V x 20 A = 7200 Wp
- 4) El MPPT RS comprobará si hay suficiente aislamiento resistivo entre FV+ y GND y FV- y GND. En caso de resistencia inferior al umbral, la unidad dejará de cargar, mostrará el error y enviará la señal de error al dispositivo GX (si está conectado) para que se envíe una notificación sonora y por correo electrónico.
- 5) Relé programable que puede configurarse como alarma general, subtensión CC o función de arranque/parada del generador. Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 VCC y 1 A hasta 70 VCC
- 6) Actualmente el MPPT RS no es compatible con las redes VE.Smart

Anexo 3: Datos técnicos del inversor Huawei SUN2000-20KTL-M5 de 20 kW

SUN2000-12/15/17/20/25KTL-M5
Smart PV Controller



Active Safety

AI Powered Arcing Protection



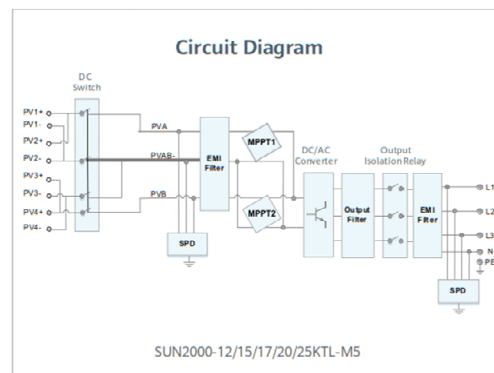
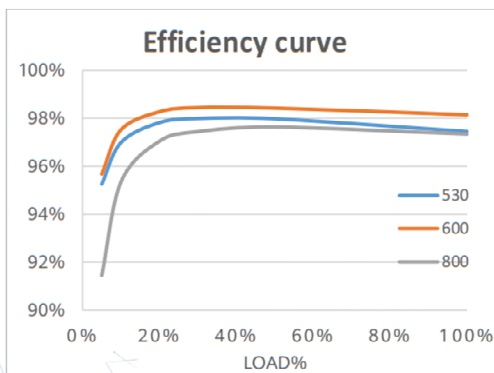
Higher Yields

Up to 30% More Energy with Optimizer



Flexible Communication

WLAN, Fast Ethernet, 4G
 Communication Supported



SUN2000-12/15/17/20/25KTL-M5
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -12KTL-M5	SUN2000 -15KTL-M5	SUN2000 -17KTL-M5	SUN2000 -20KTL-M5	SUN2000 -25KTL-M5
Efficiency					
Max. efficiency	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European weighted efficiency	97.9%	98.0%	98.1%	98.1%	98.2%

Input					
Recommended max. PV power ¹	18,000 Wp	22,500 Wp	25,500 Wp	30,000 Wp	37,500 Wp
Max. input voltage ²			1100 V		
Full-load MPPT voltage range	370V~800V	410V~800V	440V~800V	480V~800V	530~800V
MPPT Operating voltage range ³	200 V ~ 1000 V				
Start-up voltage	200 V				
Rated input voltage	600 V				
Max. input current per MPPT	30 A (two string) / 20 A (single string)				
Max. short-circuit current	40 A				
Number of MPP trackers	2				
Max. number of inputs	4				

Output					
Grid connection	Three phase				
Rated output power	12,000 W	15,000 W	17,000 W	20,000 W	25,000 W
Max. apparent power	13,200 W	16,500 VA	18,700 VA	22,000 VA	27,500 VA
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 239.6 Vac / 415Vac, 3W + N + PE				
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz				
Max. output current	18.2A/380Vac 17.3A/400Vac 16.7A/415Vac	25.2A/380Vac 23.9A/400Vac 23.1A/415Vac	28.6A/380Vac 27.1A/400Vac 26.1A/415Vac	33.6A/380Vac 31.9A/400Vac 30.8A/415Vac	42.0A/380Vac 39.9A/400Vac 38.5A/415Vac
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging				
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %				

Features & Protections	
Overvoltage Category	PV II/AC III
Input-side disconnection device	Yes
Anti-islanding protection	Yes
AC over-current protection	Yes
DC reverse-polarity protection	Yes
String fault detection	Yes
DC surge protection	TYPE II
AC surge protection	CLASS II
Residual current monitoring unit	Yes
Arc fault protection	Yes
Ripple control	Yes
Integrated PID recovery ⁴	Yes

General Data	
Operation temperature range	-25 ~ +60 °C (-13 °F ~ 140 °F)
Relative humidity	0 % RH ~ 100% RH
Max. operating altitude	0 ~ 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)
Cooling	Smart air cooling
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App
Communication	RS485; WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)
Weight (with mounting plate)	21kg (46.4 lb)
Dimensions (W x H x D) (incl. mounting plate)	546 x 460 x 228mm (21.5 x 18.1 x 9.0 inch)
Degree of protection	IP66

Optimizer Compatibility	
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P, SUN2000-450W-P2, SUN2000-600W-P, SUN2000-1300W-P, SUN2000-1100W-P

Standard Compliance (more available upon request)	
Safety	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2
Grid connection standards	G99, EN 50549, CEI 0-21, CEI 0-16, VDE-AR-N-4105, VDE-AR-N-4110, C10/11, ABNT, VFR 2019, UNE 217001, UNE 217002, RD 244, TOR D4, IEC61727, IEC62116

¹ Inverter max input PV power is 40,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.
² The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
³ Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.
⁴ SUN2000-12~20KTL-M2 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly)






Version No. 01-(20190716)

SOLAR.HUAWEI.COM

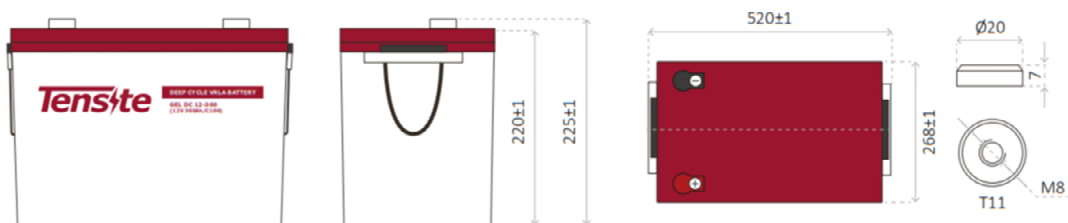
Anexo 4: Datos técnicos de batería TENSITE de 300 Ah



CARACTERÍSTICAS

-  Tamaño compacto ideal para cualquier tipo de uso.
-  Gran rendimiento debido a su ciclo de vida de descarga profunda.
-  Ideado para instalaciones fotovoltaicas.

DIMENSIONES



BATERÍA DE GEL 12V 300 AH

BATERÍA SERIE GEL

Las baterías de la serie GEL están fabricadas con separadores especiales y gel de sílice que mantiene los electrolitos dentro de la batería. La tecnología de gel sílice ayuda a que las baterías duren más tiempo y funcionen mejor en diferentes temperaturas. La vida útil del ciclo de descarga puede durar un 50% más en comparación con las baterías normal.



APLICACIÓN

- Sistema de energía de emergencia
- Equipos de comunicación
- Sistemas de telecomunicaciones
- Fuente de energía ininterrumpida
- Herramientas eléctricas
- Equipo marino
- Equipo médico
- Sistema de energía solar y eólica

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Sellado de seguridad
- Tecnología antiderrames
- Alta densidad de potencia
- Excelente recuperación de descarga profunda
- Placas gruesas y materiales altamente activos
- Mayor vida útil y diseño de baja autodescarga

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

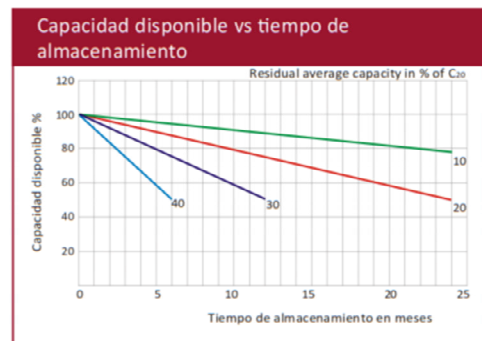
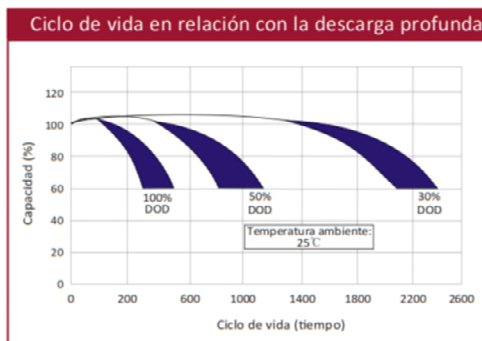
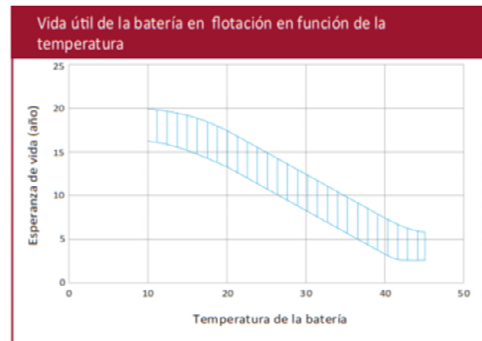
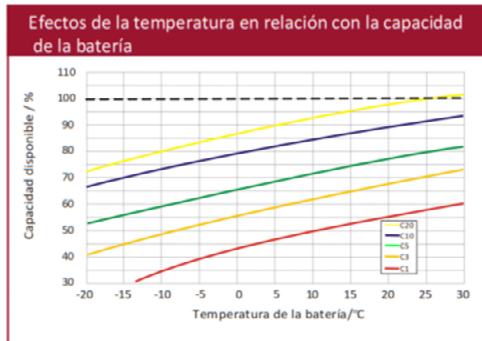
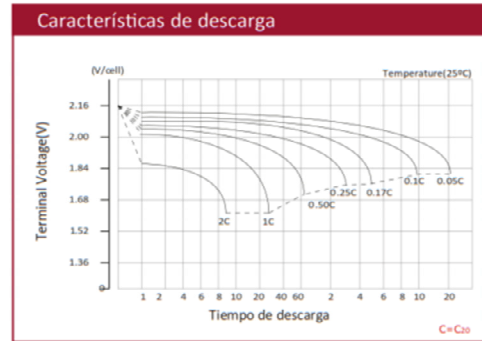
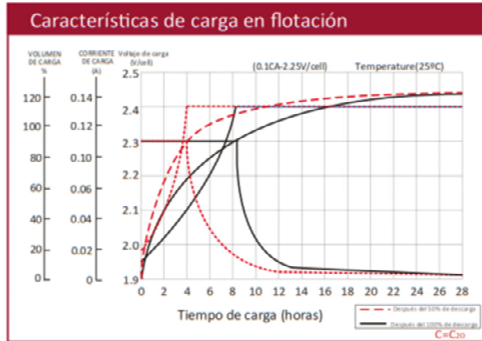
MODELO DE BATERÍA	Voltaje nominal		12V	
	Capacidad nominal (100 Hora)		300Ah	
DIMENSIONES	Células por batería		6	
	Longitud	Ancho	Altura	Altura total
PESO APROXIMADO	520 mm	268 mm	220 mm	225 mm
CAPACIDAD @ 25°C	67.0 kg ± 3%			
	10 Horas(25.0A)	5 Horas (43.7A)	3 Horas (66.2A)	1 Hora(161.5A)
CORRIENTE DE DESCARGA MÁX	250.0 Ah	218.7 Ah	198.7 Ah	161.5 Ah
RESISTENCIA INTERNA	2000 A (5 seg.)			
CAPACIDAD AFECTADA POR LA TEMPERATURA(10 HR)	Cargado por completo Vat 25°C: Aprox. 2.0mΩ			
	40°C	25°C	0°C	
MÉTODO DE CARGA @25°C	103%		100%	
	Rango de voltaje de carga (Bulk) 14.1-14.4V (Corriente de carga inicial inferior a 27A)		Rango de voltaje de flotación (Float) 13.50-13.80V	

TABLA DE DESCARGA DE BATERÍA

CORRIENTE CONSTANTE (AMP) Y POTENCIA CONSTANTE (WATT) TABLA DE DESCARGA A 25 °C

F.V / TIME	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	2 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
1.80	A	656.8	437.5	351.8	234.5	168.3	165.0	93.0	68.0	45.0	28.0	13.00
	W	1224.8	815.9	656.0	437.3	313.8	307.7	173.4	126.8	83.9	52.2	25.7
1.75	A	696.2	463.8	369.3	241.5	173.3	170.0	95.3	69.7	45.7	28.3	13.13
	W	1298.3	864.9	688.8	450.5	323.2	317.0	177.8	130.0	85.2	52.7	25.9
1.70	A	788.1	525.0	386.9	248.6	178.3	174.9	97.7	71.4	46.4	28.6	13.38
	W	1469.8	979.1	721.6	463.6	332.6	326.2	182.1	133.2	86.4	53.3	26.4
1.65	A	775.0	516.3	404.5	255.6	183.4	179.9	99.5	72.8	47.0	28.8	13.55
	W	1445.3	962.8	754.4	476.7	342.0	335.4	185.6	135.7	87.7	53.8	26.7
1.60	A	840.6	560.0	422.1	262.6	188.4	184.8	101.4	74.1	47.7	29.1	13.63
	W	1567.8	1044.4	787.2	489.8	351.4	344.7	189.1	138.2	89.0	54.3	26.8

CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA



Anexo 5 – Datos técnicos de cable INDECO NHX-90 desde 2.5 a 300 mm²



FREETOX NHX-90 (LSOHX-90)

Usos

Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados en los cuales ante un incendio, las emisiones de gases tóxicos, corrosivos y la emisión de humos oscuros, pone en peligro la vida y destruye equipos eléctricos y electrónicos, como, por ejemplo, edificios residenciales, oficinas, plantas industriales, cines, discotecas, teatros, hospitales, aeropuertos, estaciones subterráneas, etc.
En general en todas las instalaciones en ductos que requieran capacidades de corriente mayores al NH-80.

Descripción

Conductor de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado. Aislamiento de compuesto termoestable no halogenado.

Características

Alta resistencia dieléctrica, es retardante a la llama, baja emisión de humos tóxicos y libre de halógenos.

Marca

INDECO S.A. FREETOX NHX-90 (LSOHX-90) 450/750 V <Sección> <Año>

Calibres

2.5 mm² – 300 mm²

Embalaje

De 2.5 a 6 mm²: En rollos estándar de 100 metros.

De 10 a 300 mm²: En carretes de madera.

Colores

De 2.5 a 6 mm²: blanco, negro, rojo, azul, amarillo y verde.

Mayores de 10 mm²: solo en color negro (1)



Norma(s) de Fabricación
NTP 370.252, IEC 60754-2,
IEC 60332-3 CAT. C
Tensión de servicio
450/750 V
Temperatura de operación
90 °C

(1) A solicitud del cliente se puede cambiar de color.

TABLA DE DATOS TECNICOS NHX-90

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	RE. ELECT. MAX. CC 20°C	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	ohm/km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	7.41	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	48	4.61	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	3.08	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	116	1.83	88	62
16	7	1.69	4.67	1.1	6.9	174	1.15	124	85
25	7	2.13	5.88	1.1	8.1	265	0.727	158	107
35	7	2.51	6.92	1.1	9.1	359	0.524	197	135
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	489	0.387	245	160
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	689	0.268	307	203
95	19	2.51	11.55	1.4	14.4	942	0.193	375	242
120	37	2.02	13.00	1.7	16.4	1197	0.153	437	279
150	37	2.24	14.41	1.7	17.8	1456	0.124	501	318
185	37	2.51	16.16	1.7	19.6	1809	0.0991	586	361
240	37	2.87	18.51	1.7	21.9	2352	0.0754	654	406
300	37	3.22	20.73	2	24.7	2959	0.0601	767	462

(*) No más de tres conductores por ducto.

Temperatura ambiente: 30°C.

Anexo 6 – Ficha técnica de ITM Chint 3x40A

P-015 Descripción del producto | Interruptores automáticos



Interruptores automáticos NXB-63

1. Estándares con los que cumple

IEC60898-1

2. Certificados con los que cumple

CE

3. Función principal

Protección contra sobrecargas, protección contra cortocircuitos y aislamiento positivo.

4. Parámetros técnicos

Corriente nominal: 10A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A.

Tensión nominal: 220V~/230V~/240V ~ (1P), 380V~/400V~/415V ~ (2 ~ 4P);

Frecuencia: 50Hz;

Tipo de disparo electromagnético: C ;

Número de polos: 1P, 2P, 3P, 4P;

Vida mecánica: 10000 ciclos;

Vida eléctrica: 4000 ciclos;

Poder nominal de corte en cortocircuito(Icn): 6000A;

Poder de corte en cortocircuito (Ics): 6000A;

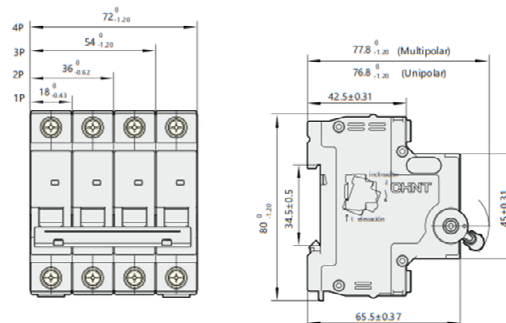
Tensión nominal soportada al impulso (Uimp): 4kV;

Consumo eléctrico en cada uno de los polos del interruptor: véase Tabla 1.

Tabla 1

Corriente nominal In (A)	Consumo máximo por polo (W)
16	3.5
20~25	4.5
32	6
40	7.5

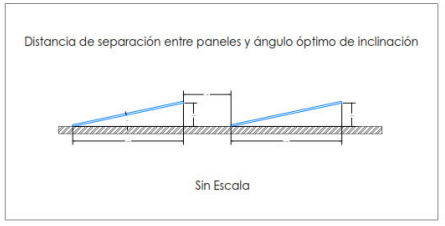
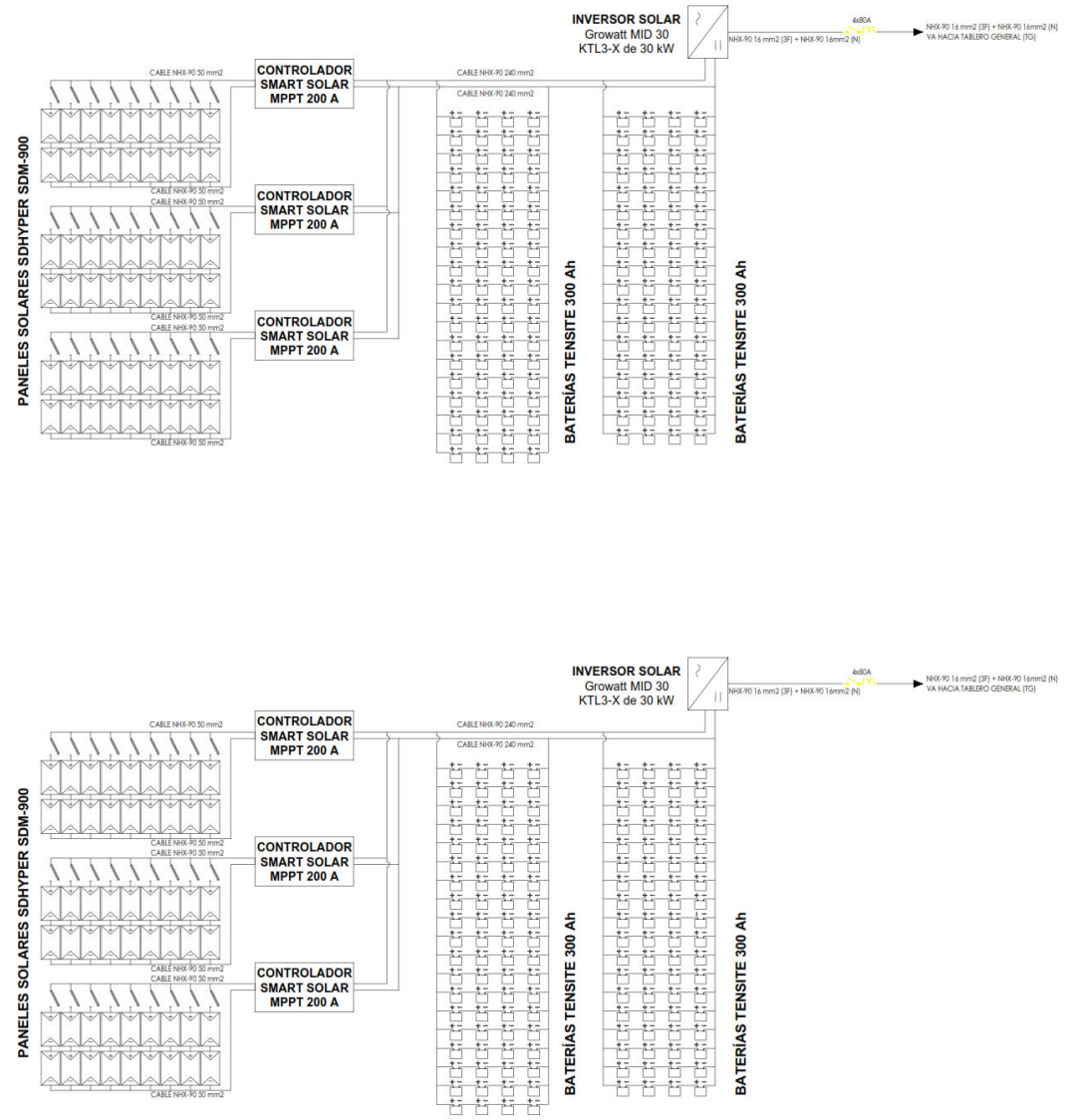
5. Dimensiones y tamaños de instalación



Parámetros de los interruptores

Modelo de producto		NXB-63
Estándares con los que cumple		IEC60898-1
Corriente nominal (A)		10~40
Tensión nominal (V ~)		240/415
Frecuencia nominal (Hz)		50
Número de polos		1P, 2P, 3P, 4P
Vida mecánica (ciclos)		10000
Vida eléctrica (ciclos)		4000
Poder nominal de corte en cortocircuito Icn (A)		6000
Poder de corte en cortocircuito Icu (A)		6000
Tensión nominal soportada al impulso (1.2/50) (kV)		4
Tensión de prueba dieléctrica (V)		(Frecuencia de red 1 minuto) 2000
Propiedades anti-humedad y calor (IEC60068-2-30:55°C/90~96%,25°C/95~100%)		28 ciclos
Terminales	Sección mínima (mm ²)	1
	Sección máxima (mm ²)	25
	Par de conexión estándar (N m)	2
	Par máximo admisible (N m)	2.5
	Profundidad de inserción de cable (mm)	12.5
Temperatura de referencia para ajustar el elemento térmico (°C)		30
Temperatura ambiente (°C)		-5~+40
Temperatura ambiente de almacenamiento (°C)		-25~+70
Altitud aplicable (m)		2000
Tipo de disparo electromagnético	Tipo B (3In ~ 5In)	
	Tipo C (5In ~ 10In)	■
	Tipo D (10In ~ 16In)	
	Tipo C (6.4In ~ 9.6In)	
	Tipo D (9.6In~14.4In)	
Factor de corrección con varios productos uno junto al otro (valor recomendado)		(0.9~0.95)In
		(0.86~0.80)In
		(0.78~0.76)In
		0.76In
Coeficiente de compensación de temperatura (valor recomendado)	Cambio por cada 10°C de aumento desde la temperatura de referencia	-(0.03~0.05)In
	Cambio por cada 10°C de descenso desde la temperatura de referencia	+(0.03~0.08)In
Entrada de cable		Entrada superior o inferior
Montaje		Montaje sobre carril TH35-7.5-
Grado de contaminación		Grado de contaminación II
Grado de protección	Montaje directo	IP20
	Montaje en la caja de distribución	IP40

**Anexo 7 – Plano de sistema fotovoltaico en Municipalidad Provincial de
Trujillo**



- NOTAS :**
- 1.- TODOS LOS CALCULOS SE ENCUENTRAN DETALLADOS EN EL TRABAJO DE INVESTIGACION ELABORADO POR LOS INVESTIGADORES.
 - 2.- LA ESTRUCTURA SERA FABRICADA EN ACERO ASTM A36, CON PERFIL L20 x 2mm Y SE FIJARA CON TORNILLO DE 4mmx20mm.
 - 3.- EL AREA OCUPADA POR LOS PANELES ES DE 29.96 m x 26.672 m.
 - 4.- EL TABLERO GENERAL SERA DE PLANCHAS DE ACERO DEL TIPO ATOSPORTADO Y LOS DE DISTRIBUCION SERAN PARA EMPOTRAR, CON INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS TIPO NO FUSE.
 - 5.- LAS CAJAS DE PASE SERAN DE FIERRO GALVANIZADO DE 1.5 mm DE ESPESOR CON TAPA.
 - 6.- LAS ACOMETIDAS EN PARED A LOS TABLEROS Y CAJAS, LOS CONDUCTORES SE EMBUJAN EN TUBOS DE PVC-P.
 - 7.- EN CASO QUE EL SUMINISTRO DE ENERGIA SEA TRIFASICO CON LINEA NEUTRA (380/220V), TODOS LOS ALIMENTADORES LLEVARAN SU LINEA NEUTRA RESPECTIVA Y LOS TABLEROS SERAN PARA ESTE SISTEMA DE CUATRO BARRAS (R,S,T,N) Y LOS INTERRUPTORES SERAN DEL TIPO PARA ATORNILLAR.
 - 8.- LOS CONDUCTORES HASTA 2.5 mm² SERAN SOLIDOS, LOS DE CALIBRES MAYORES A 2.5 mm² SERAN CABLEADOS.
 - 9.- LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS MENORES DE 60 A. SERAN DE 10 KA DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA Y MAYORES E IGUALES A 63 A. SERAN DE 20 KA, SALVO OTRA INDICACION ESPECIFICA.

Descripción	Área (m ²)	Cantidad	Carga Unitaria por m ² (W)	Carga unitaria (W/pto)	P.L. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
Iluminación y Tomacorrientes (Primer piso)	930		50		46500	90	41850
Iluminación y Tomacorrientes (Primer piso)	90		50		4500	70	3150
Iluminación y Tomacorrientes (Segundo piso)	900		50		45000	70	31500
Televisor de 50 pulgadas		1		100	100	50	50
Computadoras 1er piso		4		180	720	75	540
Computadoras 2do piso		4		180	720	75	540
Impresoras 1er piso		2		250	500	50	250
Impresoras 2do piso		2		250	500	50	250
Cámaras de seguridad		1		100	100	100	100
Luces de emergencia (1er piso)		8		5	40	100	40
Luces de emergencia (2do piso)		8		5	40	100	40
Router para internet (1er piso)		2		10	20	100	20
Router para internet (2do piso)		2		10	20	100	20
Electrobomba 1/2 HP		1		373	373	50	186.5
Potencia Instalada (W)							78536.5
Factor de simultaneidad (F.S.)							0.5
Máxima Demanda (W)							39268.25

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TÍTULO: "Viabilidad técnica y económica de un sistema de generación distribuida como alternativa para reducir el consumo eléctrico convencional en la Municipalidad de Trujillo - La Libertad"

AUTORES: LUIS ALFONSO CORREA BOBADILLA

ASESOR: ING. ROBINSON TAPIA ASENJO

LUGAR: MUNICIPALIDAD DE TRUJILLO

FECHA: FEBRERO 2025

ESCALA: 1/50

LIBRO: SF-1

INSTALACIONES ELÉCTRICAS - SISTEMA FOTVOLTAICO

DISTRITO: TRUJILLO
PROVINCIA: TRUJILLO
DEPARTAMENTO: LA LIBERTAD