



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica

**Diseño de un sistema fotovoltaico-Off Grid para
suministrar energía eléctrica a los colegios nivel
primaria y secundaria de la comunidad Jancapampa
Pomabamba**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista

AUTOR

Junior Edinson FLORES ROSALES

ASESOR

Mg. Alfredo ROCHA JARA

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Flores, J. (2024). *Diseño de un sistema fotovoltaico-Off Grid para suministrar energía eléctrica a los colegios nivel primaria y secundaria de la comunidad Jancapampa Pomabamba*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Eléctrica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Junior Edinson Flores Rosales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72134689
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Alfredo Rocha Jara
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08645523
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-0006-9684
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Hipolito Martin Rodriguez Casavilca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	21461869
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Luis Mejia Olivas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10053479
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jorge Elias Moscoso Sanchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07206008
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.1 Energética
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ancash Provincia: Pomabamba Distrito: Pomabamba Centro poblado: Jancapampa Latitud: -8.8489 Longitud: -77.5211
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 – 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N°029/FIEE-CTGT/2024

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 4 de abril del 2024, como presidente de Jurado el **MG. HIPOLITO MARTIN RODRIGUEZ CASAVILCA**, integrado por el Miembro de Jurado el **MG. JOSÉ LUIS MEJIA OLIVAS**, el Miembro de Jurado **MG. JORGE ELIAS MOSCOSO SANCHEZ** y Miembro Asesor el **MG. ALFREDO ROCHA JARA**.

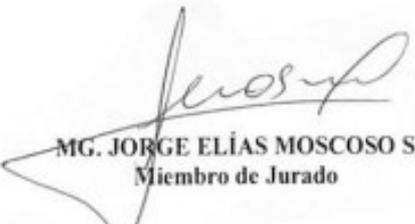
Después de escuchar la Sustentación de Tesis del Bach. **JUNIOR EDINSON FLORES ROSALES** con código N° **16190053** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista sustentó el TESIS titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO-OFF GRID PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LOS COLEGIOS NIVEL PRIMARIA Y SECUNDARIA DE LA COMUNIDAD JANCAPAMPA POMABAMBA**

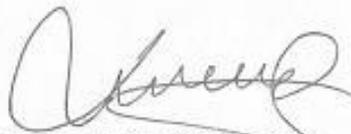
El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de **16 (DIECISÉIS)**

Ciudad Universitaria, 4 de abril del 2024


MG. HIPOLITO MARTIN RODRIGUEZ CASAVILCA
Presidente Jurado


MG. JOSÉ LUIS MEJIA OLIVAS
Miembro Jurado


MG. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ
Miembro de Jurado


MG. ALFREDO ROCHA JARA
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Alfredo Rocha Jara en mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación de TESIS: DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO-OFF GRID PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LOS COLEGIOS NIVEL PRIMARIA Y SECUNDARIA DE LA COMUNIDAD JANCAPAMPA POMABAMBA, presentado por el bachiller Junior Edinson Flores Rosales, para optar al título profesional de Ingeniero Electricista. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 9% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**. Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 08645523

Nombres y apellidos del asesor:

MG. ALFREDO ROCHA JARA



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, por ser una gran inspiración y ejemplo para seguir, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos Flor del Rocío y Jean Marcos por estar ahí cuando más los necesite a mi padre y a la persona que me motiva a ser mejor día a día mi señorita enamorada Yaneth Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por permitirme gozar de buena salud, por guiarme, cuidarme y mantenerme siempre en el camino del bien.

Agradecer a mis padres Teodocia Rosales y Eusebio Flores, por su apoyo incondicional en especial a mi madre por todo el esfuerzo y sacrificio para convertirme en un profesional, ella es mi mayor referencia de humildad, trabajo y sacrificio para lograr mis objetivos.

A mis hermanos Rocío y Jean por estar ahí cuando más los necesite, por sus consejos y su gran apoyo en todo este proceso. A mi señorita enamorada Yaneth por motivarme a ser mejor cada día y a mi Alma Mater, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en cuyas aulas me convertí en un gran ciudadano y recibí la formación académica y en valores de cada uno de los docentes quienes impartieron sus conocimientos de forma correcta para formar profesionales de primera calidad en beneficio de la sociedad A familiares y amigos que estuvieron ahí para darme su aliento y confianza. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos

RESUMEN

El presente trabajo tiene la intención principal de dar a conocer una alternativa confiable y eficiente para suministrar energía eléctrica a los colegios de la comunidad Jancapampa en beneficio de la juventud. Por ello responde al problema principal ¿De qué manera se podrá suministrar energía eléctrica a los colegios nivel primario y secundario de la comunidad Jancapampa-Pomabamba utilizando un sistema fotovoltaico off-grid?, así como también a las preguntas específicas ¿Existe suficiente potencial de radiación solar en la comunidad de Jancapampa para dimensionar un sistema fotovoltaico aislado? ¿Hay espacio dentro del colegio para instalar un sistema fotovoltaico aislado? ¿Cuál es el beneficio técnico-económico del dimensionamiento del sistema fotovoltaico off-grid para el colegio de la comunidad Jancapampa?

En cuanto a la metodología usada, la investigación es de tipo tecnológico, debido a que se pretende aplicar el conocimiento científico para solucionar un problema en específico.

Los resultados de la investigación en base a la hipótesis general y las hipótesis específicas, se concluye que la alternativa fotovoltaica es una gran alternativa para suministrar energía eléctrica a colegios con estas características de carga, esta alternativa resulta ser más económica frente a otro tipo de alternativas como los grupos electrogenos.

Palabras clave: energía solar, sistema fotovoltaico off-grid, suministro de energía, energía eléctrica, panel solar.

ABSTRACT

The main intention of this work is to present a reliable and efficient alternative to supply electrical energy to the schools of the Jancapampa community for the benefit of youth. Therefore, it answers the main problem: How can electricity be supplied to the primary and secondary schools of the Jancapampa-Pomabamba community using an off-grid photovoltaic system?, as well as the specific questions: Is there sufficient radiation potential? solar in the community of Jancapampa to size an isolated photovoltaic system? Is there space within the school to install an isolated photovoltaic system? What is the technical-economic benefit of sizing the off-grid photovoltaic system for the Jancapampa community school?

Regarding the methodology used, the research is technological, because the aim is to apply scientific knowledge to solve a specific problem.

The results of the research based on the general hypothesis and the specific hypotheses, it is concluded that the photovoltaic alternative is a great alternative to supply electric energy to schools with these load characteristics, this alternative turns out to be more economical compared to other types of alternatives. such as generator sets.

Keywords: solar energy, off-grid photovoltaic system, energy supply, electrical energy, solar panel.

INDICE

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xi
CAPITULO I: INTRODUCCION	1
CAPITULO II: PROBLEMÁTICA DE LA FALTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLEGIOS RURALES	3
2.1 Declaración del Marco Problemático	3
2.2 Formulación del Problema	8
2.2.1 Problema General	8
2.2.2 Problemas específicos	8
2.3 Objetivos	8
2.3.1 Objetivo General	8
2.3.2 Objetivos específicos	9
2.4 Importancia y Justificación de la investigación	9
2.5 Limitaciones de la investigación	11
CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID	12
3.1 Antecedentes	12
3.1.1 Antecedentes internacionales	12
3.1.2 Antecedentes nacionales	14
3.2 Bases Teóricas	16
3.2.1 Energías renovables:	16

3.2.2	Energía solar:.....	16
3.2.3	Energía Eléctrica:.....	17
3.2.4	Célula fotovoltaica:.....	18
3.2.5	Tipos de Sistema Fotovoltaico:.....	19
3.2.6	Principales componentes de un sistema fotovoltaico aislado. 20	
3.2.7	Radiación solar	29
3.2.8	Irradiancia	31
3.2.9	Irradiación	31
3.2.10	Hora solar pico.....	32
3.2.11	Angulo de inclinación óptimo	33
3.2.12	Estructuras de Soporte:	34
3.2.13	Factores que afectan el rendimiento de paneles solares	36
3.3	Glosario de términos y Definiciones Importantes:.....	37
CAPITULO IV: HIPOTESIS Y VARIABLES		42
4.1	Formulación de hipótesis general y específicas.....	42
4.1.1	Hipótesis General	42
4.1.2	Hipótesis Especificas	42
4.2	Variables.....	43
4.2.1	Variable Independiente	43
4.2.2	Variable Dependiente	43
CAPITULO V: MATERIALES Y METODOS		44
5.1	Área de estudio y descripción de la zona de trabajo	44
5.2	Diseño de investigación	47
5.3	Población y Muestra	47
5.3.1	Población	47
5.3.2	Muestra	48

5.4	Procedimientos, Técnicas e instrumentos de recolección de Información.....	48
5.4.1	Obtención de Recurso Solar en la zona de Trabajo	49
5.4.2	Determinación de la Demanda Energética de los Colegios ..	52
5.4.3	Proveedores y comparativa de tecnologías de los principales componentes de un sistema fotovoltaico off grid.....	54
5.4.4	Dibujo de Variables.....	58
5.4.5	Diseño De Un Sistema Fovoltaiico Off Grid Para Suministrar Energía Eléctrica A Los Colegios De La Comunidad Jancapampa-Pomabamba	58
5.5	Análisis Económico.....	81
5.5.1	Costo de la implementación del Sistema Fovoltaiico Off-Grid	81
5.5.2	Análisis de costos de operación y mantenimiento.	84
5.6	Cálculo de Emisiones de CO2	86
CAPITULO VI: RESULTADOS		87
6.1	Presentación y análisis de los resultados	87
6.1.1	Resultado del Dimensionamiento del Sistema Fovoltaiico Off-Grid	87
CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		90
7.1	Análisis Económico.....	90
7.2.	Flujo de Caja	90
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		92
8.1.	Conclusiones	92
8.2.	Recomendaciones	94
CAPITULO IX: REFERENCIAS		95
CAPITULO X: ANEXOS		103

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CÉLULA FOTOVOLTAICA	18
FIGURA 2. TIPOS DE PANELES SOLARES	23
FIGURA 3. TECNOLOGÍA DE CELDA TRASERA DE PASIVADO	24
FIGURA 4. APARIENCIA FÍSICA DE LAS BATERÍAS.....	26
FIGURA 5. APARIENCIA FÍSICA DE LOS CONTROLADORES.....	27
FIGURA 6. FORMAS DE ONDA DE UN INVERSOR.....	29
FIGURA 7. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR QUE RECIBIMOS EN LA TIERRA.....	31
FIGURA 8. HORA SOLAR PICO	33
FIGURA 9. LNCLINACIONES PARA DIFERENTES INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS.....	34
FIGURA 10. ESTRUCTURA FIJA PARA PANELES SOLARES	35
FIGURA 11. ESTRUCTURA CON SEGUIDOR SOLAR PARA PANELES.....	36
FIGURA 12. UBICACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO.....	45
FIGURA 13. PERÍMETRO Y ÁREA DE LOS COLEGIOS NIVEL PRIMARIA Y SECUNDARIA DE LA COMUNIDAD JANCAPAMPA.....	46
FIGURA 14.	58
FIGURA 15. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO.....	61
FIGURA 16. CICLO DE VIDA DE UNA BATERÍA DE PLOMO ACIDO EN FUNCIÓN A LA PROFUNDIDAD DE DESCARGA.....	64
FIGURA 17. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO MONOCRISTALINO	66
FIGURA 18. CURVA CORRESPONDIENTE A LA BATERÍA DE GEL DE LA MARCA TENSITE, CANTIDAD DE CICLOS VS LA DESCARGA DE LA BATERÍA.	69
FIGURA 19. CURVA CORRESPONDIENTE A LA BATERÍA ESTACIONARIA DE PLOMO-ÁCIDO DE LA MARCA ENERSOL, CANTIDAD DE CICLOS VS LA DESCARGA DE LA BATERÍA.	71
FIGURA 20. CARTA SOLAR JANCAPAMPA.....	74

FIGURA 21. VISTA DE PLANTA DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO	75
FIGURA 22. DATOS DE RADIACIÓN SOLAR OBTENIDOS DEL SOFTWARE PVSYSY.....	76
FIGURA 23. PERFIL DIARIO DE CONSUMO DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS	77
FIGURA 24. INCLINACIÓN OPTIMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	78
FIGURA 25. RESULTADOS PRINCIPALES DE LA SIMULACIÓN EN PVSYSY.....	79
FIGURA 26. ENERGÍA SUMINISTRADA POR EL CONJUNTO FOTOVOLTAICO VS NECESIDAD ENERGÉTICA DEL USUARIO MES DE DICIEMBRE.	80
FIGURA 27. PARÁMETROS BÁSICOS PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES	87

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. VIVIENDAS PARTICULARES CON ACCESO A UNA RED ELÉCTRICA SEGÚN CENSO 2007-2017	5
TABLA 3. ELECTRIFICACIÓN RURAL EN EL PERÚ PERIODO 2010-2020.....	7
TABLA 4. <i>RESUMEN CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL COLEGIO JANCAPAMPA</i>	46
TABLA 5. DATOS DE RECURSO SOLAR EN LA COMUNIDAD JANCAPAMPA.....	49
TABLA 6. <i>DATOS CLIMATOLÓGICOS OBTENIDOS DE LA NASA</i>	50
TABLA 7. DATOS DE RADIACIÓN SOLAR OBTENIDO DE NREL.....	51
TABLA 8. DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO POR EQUIPO	53
TABLA 9. COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN PANELES SOLARES	54
TABLA 10. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS EN BATERÍAS.....	55
TABLA 11. <i>COMPARATIVA DE CONTROLADORES SEGÚN SU TECNOLOGÍA</i>	56
TABLA 12. COMPARATIVA DE INVERSORES SEGÚN SU TECNOLOGÍA	57
TABLA 13. <i>PRODUCCIÓN ANUAL DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID</i> 68	
TABLA 14. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE CONDUCTORES POR TRAMO.....	73
TABLA 15. <i>PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID</i>	82
TABLA 16. <i>PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN GRUPO ELECTRÓGENO</i>	83
TABLA 17. <i>DATOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS IMPORTANTES ACERCA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO Y EL GRUPO ELECTRÓGENO</i>	85
TABLA 18. <i>RESUMEN DE RESULTADOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ELEGIDO</i> ...	88
TABLA 19. <i>FLUJO DE CAJA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO SELECCIONADO (ELABORACIÓN PROPIA)</i>	91

CAPITULO I: INTRODUCCION

El uso de energías convencionales ha significado el desarrollo de la sociedad; Por otro lado, estas energías son limitadas y son desfavorables para el medio ambiente emitiendo Gases de Efecto Invernadero (GEI), provocando aumentos de temperatura y por consiguiente cambios perjudiciales en el clima. Sumado a esto la desigualdad, el reparto inequitativo de los recursos y el difícil acceso a bienes y servicios de primera necesidad como lo son la electricidad, educación de calidad y buena alimentación son causantes del retraso que existe en muchos lugares aislados, el no tener acceso a la electricidad en muchos casos dificulta el desarrollo socio-económico en un determinado lugar, el no tener energía eléctrica en un centro educativo dificulta al correcto aprendizaje y aprovechamiento de equipos informáticos con los que cuenta la institución. Ante este panorama el uso de las energías renovables y en especial la energía solar fotovoltaica se presenta como una gran alternativa para suplir esta falta.

En la actualidad se habla de un avance progresivo de las energías renovables a nivel mundial y el Perú no está exento de este tema, en muchos puntos de nuestro país se están llevando a cabo el desarrollo e implementación de este tipo de tecnología la cual beneficia de gran manera al desarrollo y progreso de nuestro país.

La presente tesis titulada **“Diseño de un Sistema Fotovoltaico-Off Grid para Suministrar Energía Eléctrica a los Colegios nivel Primaria y Secundaria de la Comunidad Jancapampa-Pomabamba”** es una alternativa que surge por la necesidad de abastecer de energía eléctrica a los colegios de dicha comunidad para lo cual en el CAPITULO 1 estaremos abordando la Problemática existente en los colegios nivel primaria y secundaria de Comunidad Campesina de Jancapampa.

En el CAPITULO 2 veremos los fundamentos teóricos necesarios para comprender un sistema fotovoltaico aislado o también llamado sistema fotovoltaico Off-Grid, centrándonos en definir nuestras variables principalmente, ya en el CAPITULO 3 abarcaremos la metodología que se va a seguir para cumplir con el objetivo principal de nuestro trabajo de tesis, así como también veremos la Población y Muestra con la cual se va a trabajar, en el CAPITULO 4 abordaremos el dimensionamiento de nuestro Sistema Fotovoltaico, seleccionaremos los equipos principales del sistema fotovoltaico, realizando para ello un análisis técnico-económico de la alternativa elegida y finalmente daremos las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

CAPITULO II: PROBLEMÁTICA DE LA FALTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLEGIOS RURALES

2.1 Declaración del Marco Problemático

El desarrollo de la sociedad trae consigo crecimiento poblacional, creando mayor demanda de energía. El crecimiento acelerado de la población y la falta de estrategias y proyectos por parte de las autoridades ha generado desigualdad en el acceso a necesidades básicas como son la electricidad, buena educación y alimentación adecuada. Hasta hoy uso de energía convencional, contribuye de gran manera al cambio climático el cual es un problema que causa gran impacto a nivel mundial y el Perú no está exento de esto.

En la última década por efectos del cambio climático y calentamiento global la principal fuente de agua dulce de la provincia de Pomabamba que es el nevado Jancapampa ha sufrido una pérdida significativa en el volumen de hielo, haciendo que la principal fuente energética en la zona que es de tipo hidroeléctrica disminuya, esto sumado a la accidentabilidad de la zona y su difícil acceso dificulta el desarrollo de ampliaciones en las redes de distribución por lo que actualmente dicha comunidad no cuenta con acceso a energía eléctrica. La comunidad de Jancapampa tiene un colegio de nivel secundario al cual acuden muchos jóvenes provenientes de centros poblados cercanos y es así como surge la necesidad de analizar posibles alternativas para suministrar energía eléctrica que pueda ser aprovechado en beneficio de la educación. Debido a la alta demanda de alumnos provenientes de comunidades y centros poblados cercanos como los centros poblados de Yegua Corral, Jancacucho, Pingospampa, Viñauya y Chogorajra surge la necesidad de seguir ampliando el colegio pero al no tener acceso a energía eléctrica se torna en una tarea complicada, mencionar también que

actualmente en la institución no se puede aprovechar los equipos informáticos con los que cuenta la institución generando así retraso y mucha dificultad en el correcto aprendizaje y desarrollo académico de los jóvenes, creemos que el acceso de energía eléctrica puede impactar positivamente en una educación de calidad para muchos jóvenes lo que a la larga generará progreso para la comunidad y sus habitantes.

Lo que buscamos principalmente es contribuir en la educación de los jóvenes de este sector y de la misma forma también contribuir al desarrollo de los habitantes de la comunidad ya que con un sistema como el que se está planteando ya no habría la necesidad de mandar a los hijos a los colegios principales que se encuentran en la provincia de Pomabamba lo cual les genera grandes gastos en transporte, alquiler y alimentación, además de una gran preocupación por la seguridad de sus jóvenes, es por ello la necesidad de dimensionar como alternativa el sistema fotovoltaico aislado para generar energía eléctrica de manera eficiente.

Basándonos en datos estadísticos podemos mencionar que el acceso a la energía eléctrica en el Perú es hasta hoy un tema pendiente y una de las más importantes consignas del estado peruano, así tenemos que según el censo del año 2017 llevada a cabo por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017) nos menciona lo siguiente:

El acceso a energía eléctrica es elevado, destacando las Provincias de Lima (95,3%), Callao (98,3%), Ica (90,6%), Lambayeque (91,7%), y Arequipa (90,0%) con porcentajes más altos, mientras que otros departamentos como Huancavelica (77,5%), Ucayali (77,2%), Pasco (76,9%), Loreto (74,9%), Puno (74,2%), Amazonas (73,7%) y Huánuco (72,1%) presentan menos del 80% de viviendas con acceso a este servicio.

Podemos observar cómo ha evolucionado de la electrificación en nuestro país en la tabla 1 que tenemos a continuación:

Tabla 1: Viviendas Particulares con Acceso a una Red Eléctrica según Censo 2007-2017

Departamento	Censo 2007		Censo 2017		Variación 2007-2017		Crecimiento Promedio 2007-2017
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	
Total	474730	74.1	675790	87.9	201060.00	42.2	3.6
Amazonas	43162	48.5	75445	73.7	32283	74.8	5.7
Ancash	181804	73.2	252107	85.2	70303	38.7	3.3
Apurímac	59295	56.6	96951	80.4	37656	63.5	5
Arequipa	241142	84.2	343176	90	102034	42.3	3.6
Ayacucho	81010	51.2	140310	80.9	59300	73.2	5.6
Cajamarca	130871	40.2	303555	80.7	172684	131.9	8.8
Prov. Cont. Callao	185007	93.1	240611	98.3	55604	30.7	2.7
Cusco	188985	64.4	266048	82.2	77063	40.8	3.5
Huancavelica	62141	55.8	79777	77.5	17636	28.4	2.5
Huánuco	75723	43.1	136908	72.1	61185	80.8	6.1
Ica	128004	76.2	200952	90.6	72948	57	4.6
Junín	210544	73.4	276869	85.4	66325	31.5	2.8
La Libertad	261911	71.9	393739	89.1	131828	50.3	4.2

Departamento	Censo 2007		Censo 2017		Variación 2007-2017		Crecimiento
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Promedio 2007-2017
Lambayeque	183557	76.1	265797	91.7	82240	44.8	3.8
Lima	1787542	93	2303762	95.3	516220	28.9	2.6
Loreto	104661	61.3	142019	74.9	37358	35.7	3.1
Madre de Dios	18102	68.3	33024	83.9	14922	82.4	6.2
Moquegua	38168	80.3	48474	85.9	10306	27	2.4
Pasco	44673	69	49170	76.9	4497	10.1	1
Piura	247246	66.4	403052	85.9	155806	63	5
Puno	203412	57.5	286817	74.2	83405	41	3.5
San Martín	98914	59	181978	86.3	83064	84	6.3
Tacna	65443	81.5	84558	86.7	19115	29.2	2.6
Tumbes	39458	81.1	54758	89.9	15300	38.8	3.3
Ucayali	60954	64.6	90933	77.2	29979	49.2	4.3
Prov. Lima 1	1627161	94.7	2088460	96	461299	28.3	2.5
Región Lima 2	160381	78.7	215302	88.7	54921	34.2	3

Nota. En la tabla podemos ver la evolución en el acceso a la energía eléctrica entre los años 2007 y 2017 así como también apreciamos la cantidad de viviendas que accedieron a este servicio y una tasa de crecimiento. Fuente (INEI, 2017).

Y si nos centramos netamente en el ámbito rural, notaremos que el acceso a la electricidad es más preocupante y una gran tarea pendiente para nuestro gobierno, en la Tabla 2 podemos ver el coeficiente de electrificación rural en nuestro país según datos del Banco Mundial (BM), contrastado con las proyecciones que se tenía por parte del Ministerio de Energía y Minería (MINEM).

Tabla 2: Electrificación Rural en el Perú periodo 2010-2020

Año	% de Electrificación Rural BM	% de Electrificación Rural Proyecciones MINEM
2010	55.63	55
2011	61.3	59
2012	66.16	63
2013	69.9	70.2
2014	72.76	75.2
2015	76.69	78
2016	77.97	89.2
2017	80.49	93
2018	81.8	95
2019	82.9	98.1
2020	96.8	99

Nota. Podemos apreciar que la electrificación rural en el país está lejos de cubrir algunas proyecciones que se tenían para el año 2020. Fuente (Banco Mundial, 2020).

2.2 Formulación del Problema

2.2.1 Problema General

¿Cómo suministrar energía eléctrica a los colegios nivel primario y secundario de la comunidad Jancapampa-Pomabamba utilizando un sistema fotovoltaico autónomo?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Existe suficiente potencial de radiación solar en la comunidad de Jancapampa para dimensionar un sistema fotovoltaico aislado?
- ¿Cuál es la demanda energética en los colegios de la comunidad Jancapampa?
- ¿Hay espacio dentro del colegio para implementar un sistema fotovoltaico off-grid?
- ¿Cuál es el beneficio técnico-económico del dimensionamiento del sistema fotovoltaico off-grid para el colegio de la comunidad Jancapampa?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo para abastecer de energía eléctrica a los colegios de la comunidad Jancapampa-Pomabamba.

2.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el potencial de radiación solar para la comunidad Jancapampa.
- Cuantificar la demanda energética total de las instituciones en la comunidad Jancapampa.
- Seleccionar los principales componentes del sistema fotovoltaico aislado basándonos en las eficiencias de la tecnología y características climáticas de la zona de estudio.
- Evaluar técnico y económicamente el impacto de un sistema fotovoltaico off-grid en ambos colegios.

2.4 Importancia y Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación toma relevancia basándose en el beneficio que tiene el acceso a energía eléctrica de calidad y el correcto aprovechamiento de fuentes renovables que faciliten el acceso a este tipo de energía en zonas de difícil acceso y que esta energía pueda ser aprovechada en beneficio de la educación de los jóvenes, en el caso del colegio de la comunidad Jancapampa el contar con este beneficio sería de gran ayuda para aprovechar al máximo los equipos informáticos con los que cuenta la institución los cuales se encuentran guardados debido a la falta de energía eléctrica. Actualmente la zona en estudio no cuenta con energía eléctrica y el punto más cercano de suministro se encuentra a más de 5 km de distancia haciendo que el acceso a energía eléctrica sea una tarea un tanto complicada.

Justificación del problema

El presente trabajo de investigación es muy importante porque se basa principalmente en atender una necesidad básica de la población estudiantil que es el acceso a una educación de calidad.

A. Justificación Técnica:

El presente trabajo se justifica debido a que este está contemplado en el plan de electrificación de nuestro país, donde se impulsa el uso de energías renovables como alternativa energética limpia, ya que se trata de un sistema confiable y mediante la selección correcta de componentes haremos de este un sistema de fácil mantenimiento frente al uso de un grupo electrógeno.

B. Justificación Económica:

El presente trabajo se justifica económicamente porque a partir de su factibilidad e implementación ya no se tendrán que realizar gastos como pilas, comprar baterías, uso de grupos electrógenos o realizar viajes muy largos para poder realizar alguna búsqueda de información por parte de los estudiantes.

C. Justificación Social:

La realización de esta investigación hará posible el acceso de los jóvenes de la comunidad Jancapampa a beneficios muy provechosos en el ámbito educativo como por ejemplo el acceso a información actualizada, al uso y aprovechamiento de equipos informáticos que faciliten el aprendizaje, además ayudara en mejorar la calidad de vida de los habitantes ya que con esto las futuras generaciones podrán salir a estudiar una carrera profesional. Dando lugar a un buen inicio de expectativas de progreso y desarrollo, brindando un mejor futuro para las familias.

D. Justificación ambiental:

La excesiva emisión de gases de efecto invernadero ha traído consigo el cambio climático que actualmente afecta a la sociedad, en el caso de la provincia de Pomabamba específicamente ha repercutido negativamente en el nevado existente en la provincia causando su desglaciación acelerada lo que en un futuro va a causar escases del recurso hídrico y esto traerá consigo la reducción en la cantidad de energía generada. Este trabajo de investigación tiene como uno de sus objetivos sentar las bases para implementaciones futuras de esta alternativa de energía a nivel provincial y ayudando así a una reducción de emisión de gases contaminantes.

De todo esto podemos concluir que este trabajo de investigación se encuentra enmarcada en dos ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) muy importantes los cuales se menciona a continuación:

ODS 4: EDUCACION DE CALIDAD

ODS 13: ACCION POR EL CLIMA

2.5 Limitaciones de la investigación

El tipo de alternativa suministro de energía que se está manejando está dirigida principalmente a zonas aisladas y de difícil acceso, lugares donde no hay suministro eléctrico convencional cercana que haga posible conectarse a la red a un bajo costo, este tipo de alternativa de suministro puede aplicarse a postas médicas, iglesias, locales comunales, tambos, etc.

Además, se tiene conocimiento de que el punto de suministro de energía eléctrica convencional se encuentra a más de 5 km de distancia que sumado a la accidentabilidad de las vías de acceso hacia la comunidad hace complicado el suministro mediante redes de distribución, lo cual nos lleva a evaluar nuevas fuentes de suministro de energía eléctrica.

CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

De los trabajos internacionales referentes a energía fotovoltaica off grid, Villao y Consuegra (2021) en su tesis titulada, Dimensionamiento Optimo de un Sistema Fotovoltaico a travez de Herramientas Computacionales en Zonas Aisladas, tesis para optar por el Titulo de Ingeniero Eléctrico, en la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador. El autor uso el software PVsyst y el software PVsol para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico con una capacidad de 320 W, concluyendo que este tipo de software facilita el dimensionamiento y es de gran ayuda para futuros proyectos dentro de la comunidad, además concluyen que la energía solar fotovoltaica es una alternativa muy efectiva pero muy costosa a la vez.

Salto (2018) en su trabajo de investigación titulada, Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la comunidad Puntahacienda de Quingeo, trabajo de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador. El autor trabajó en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para suministrar electricidad a 8 lámparas para vivienda y 12 lámparas para la iglesia concluyendo que:

El buen recurso solar dentro de la zona andina y los bajos consumos de energía, permiten la fácil implementación de un sistema fotovoltaico, mejorando la calidad de vida de los habitantes y recomienda que la batería no debe descargarse a más del 20 % para no afectar su vida útil de la misma.

El análisis del buen recurso solar es importante para un sistema fotovoltaico aislado, respecto a esto Petrel (2021) en su tesis titulada, Diseño de Sistema Solar Fotovoltaico Aislado e Individual en El Corregimiento Bocas del Atrato - Turbo, tesis para optar por el Título de Ingeniero Eléctricista, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, Colombia. Quien realizó en dimensionamiento mediante cálculos matemáticos para un sistema fotovoltaico de 815 W concluyendo que:

La radiación solar en el lugar es muy importante ya que primordial y el inicio para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, además menciona que implementar energías limpias en especial la energía fotovoltaica en zonas aisladas de la red mejora la calidad de vida de los habitantes, también ayuda a reducir el impacto ambiental debido al uso de energía convencional. (p.29)

Puco (2020) en su tesis titulada, Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para el uso en casas flotantes en la ciudad de Babahoyo, tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico Electrico en la facultad de Educacion Técnica para el Desarrollo de la Universodad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador. El autor dimensiono un sistema fotovoltaico aislado con una capacidad de 2521 W utilizando cálculos matemáticos y concluye que:

La energía solar es una energía que no contamina el medio ambiente y es inagotable con respecto a los combustibles fósiles, la generación de este tipo de energía va a depender del clima del lugar y de los ángulos de inclinación como azimut y altura solar. Además, se debe tener en cuenta el precio de los componentes de este tipo de sistema y el lugar de instalación debe tener bastante espacio para la correcta instalación de los paneles fotovoltaicos y las estructuras que lo sujetan. (p. 70)

3.1.2 Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional también se vienen realizando investigaciones referentes a sistemas fotovoltaicos.

Quintanilla (2020) en la tesis titulada, Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico Aislado para suministrar de Energía Eléctrica la localidad de Patahuasi-Pampa Cañahuas, Tesis para optar el Grado de Ingeniero Mecánico Electricista en la facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales de la Universidad Católica de Santa María. El autor realiza el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para una capacidad de 97 kW utilizando cálculos matemáticos y realiza un análisis económico concluyendo que:

Para no tener inconvenientes en la generación de energía eléctrica es necesario optar por el nivel de radiación solar más bajo que en este caso es de 5.35 kWh/m²/día, además del análisis económico menciona que el sistema fotovoltaico tiene una vida útil hasta de treinta años y el periodo de recuperación de la inversión es de 17 años con un VAN de S/. 442645.05 y un TIR de 5% haciendo viable este proyecto. (p.71)

Príncipe (2019) en su tesis titulada, Diseño del Sistema Fotovoltaico de 3 KW en Zonas Rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash, tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Eléctrico y de Potencia en la facultad de Ingeniería Eléctrica y de Potencia de la Universidad Tecnológica del Perú, Perú. El autor dimensiona un sistema fotovoltaico con una demanda de 3 kW utilizando cálculos matemáticos y concluye que:

Los criterios que hay que tener en cuenta para desarrollar este tipo de proyecto son la radiación y que las viviendas estén libres de árboles alrededor, evitando así las sombras.

El uso de energía solar va en aumento en el Perú ya sea por inversión de empresas privadas o por parte del estado al ser esta una opción de suministro de energía para lugares inaccesibles, la implementación del sistema fotovoltaico trae muchos beneficios como el mejorar la calidad de vida de los pobladores y generación de nuevas fuentes de ingreso. (pp. 69-70)

Al seleccionar los datos de radiación obtenidos de una cierta base de datos se debe tener en cuenta algunos aspectos muy importantes. De acuerdo con lo anterior Cayotopa (2019) en la tesis, Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para electrificar al caserío Flor del Valle en Yambrasbamba provincia de Bongará departamento de Amazonas, tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Mecánico electricista en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Dimensiona un sistema fotovoltaico con demanda de 3.71 kW usando cálculos matemáticos, concluye que para un correcto diseño es importante elegir los datos de radiación solar en el punto de dimensionamiento mencionando que:

Los valores obtenidos de SENAMHI son 4,25 kWh/m² /día y del software METEORNOM es de 4,94 kWh/m² /día, y según datos de la NASA se ha obtenido un valor de 3,64 kWh/m² /día. De estos valores obtenidos se ha considerado el menor de ellos, es decir: 3,64 kWh/m² /día. (p.110)

Romero (2020) en su tesis titulada, Sistema Fotovoltaico Autónomo para mayor disponibilidad de Energía Eléctrica en Senati, tesis para optar por el grado de maestro en Gestión del Mantenimiento de Sistemas Energéticos en la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. El autor realiza un dimensionamiento utilizando cálculos matemáticos para un sistema fotovoltaico de 96 W recomendando que los paneles solares deben tener la inclinación adecuada en función a la incidencia solar y recomienda usar batería tipo líquida para cargas de consumo directo, que no necesiten almacenamiento por mucho tiempo.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Energías renovables:

“Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de recursos inagotables y naturales, debido a que tienen enormes cantidades de energía o porque por medios naturales pueden regenerarse” (MIEM, 2014).

Considerando el grado de tecnología y el grado de participación en la matriz energética nacional, las energías renovables pueden ser energías renovables no convencionales y convencionales como las grandes plantas hidroeléctricas; y las primeras como generadores eólicos, solares fotovoltaicos, solares térmicos, geotérmicos, mareomotrices, de biomasa y pequeños hidroeléctricos. (Osinergmin, s.f.)

3.2.2 Energía solar:

Sebastián (2009) nos menciona que, el sol es fuente primordial de recurso energético para los seres vivos y el hombre. En este siglo estamos comprobado que la revolución tecnológica crece, sobre todo para lograr el aprovechamiento de la energía de recursos renovables. Esta fuente energética se caracteriza por ser natural, no contaminante e inagotable. (p.33) Al respecto Méndez & Cuervo (2011) nos mencionan que “Es una fuente de energía renovable la energía solar debido a que es limpia e inagotable por ende esta puede ser aprovechada en el mismo lugar en que se produce (autogestionada)”.

El sol un recurso renovable por medio del cual se puede generar energía eléctrica captando la radiación, convirtiendo la radiación solar en energía eléctrica, es la energía fotovoltaica y es la más usada en proyectos de paneles solares. (Vásquez et al., 2015)

3.2.3 Energía Eléctrica:

La Energía eléctrica es una forma de energía esencial para el funcionamiento del mundo moderno. Esta energía se genera por medio de un flujo continuo de electrones a través de un circuito eléctrico, generado a partir de una fuente de energía. Esta fuente puede ser desde la energía solar hasta la energía por combustible. El flujo de electrones a través del circuito produce una corriente eléctrica, que es la fuente de energía utilizada para alimentar dispositivos eléctricos.

Dicho de otra forma “La electricidad es la energía que se origina debido a una diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, unidos mediante transmisor eléctrico” (Coluccio, 2021, párr. 2).

Y si nos referimos a la energía solar fotovoltaica esta es producida por células fotovoltaicas, que son dispositivos semiconductores que convierten la luz en energía eléctrica. Un pueblo que utiliza tecnología fotovoltaica puede reducir su huella de carbono y utilizar energía sostenible para satisfacer sus necesidades.

A la transformación directa de la radiación solar en electricidad la conocemos como energía fotovoltaica. La cual se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los cuales, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor y se genera diferencia de potencial. (APPA Renovables, 2021)

3.2.4 Célula fotovoltaica:

La célula fotovoltaica o célula solar es la base de la operación de un sistema fotovoltaico, se trata de un dispositivo capaz de generar electricidad a partir de proveniente del sol en forma de radiación. Las células solares disponibles en la actualidad en su mayoría son de Silicio ya sea Policristalino o monocristalino y la unión de varias de estas hoy en se conoce como módulo fotovoltaico o panel solar.

La célula solar es una lámina de aproximadamente 0.3 mm de silicio con una superficie de entre 10x10cm y 16x16cm. Se elabora en hornos a temperaturas de 40 °C. Partiendo de una masa fundida de silicio con pureza de aproximadamente 99.99% al cual previamente se le ha añadido una ínfima cantidad de boro (material menos electronegativo que el silicio), este lingote es un monocristal con cierta carencia de electrones (tipo P).

Así vamos a conseguir que en una zona existan mayor cantidad de electrones denominada lado P y por otro lado menor cantidad de electrones denominado lado N y así establecemos corriente eléctrica, la célula obtenida para ser capaz de canalizar la energía producida debe estar dotada de unos contactos eléctricos (Ávalos, 2007).

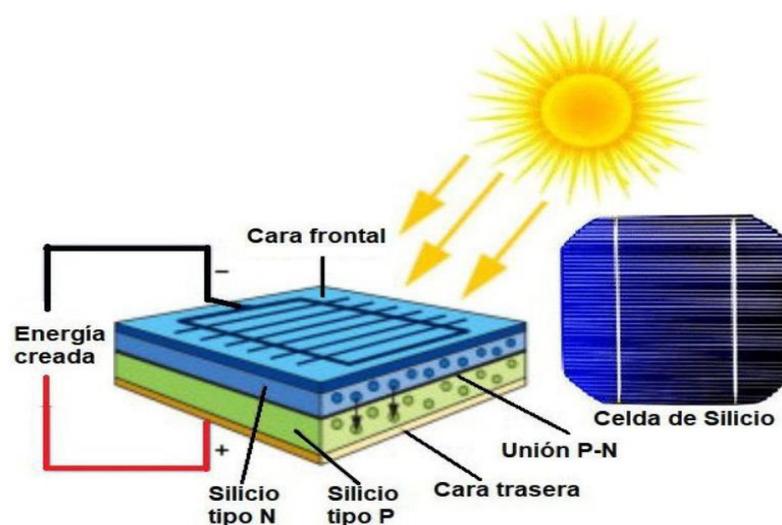


Figura 1: Célula Fotovoltaica. Fuente: Reyes (VOLTAICA), 2020.

3.2.5 Tipos de Sistema Fotovoltaico:

3.2.5.1 Sistema fotovoltaico aislado.

El sistema fotovoltaico aislado es un sistema a base de paneles solares que no se conecta a la red eléctrica.

Este tipo de sistema se emplea en lugares donde no hay acceso a energía eléctrica convencional y resulta más económico implementar este tipo de sistema. Debido a que los paneles sólo producen energía en horas de sol y la energía muchas veces es necesaria durante todo del día, es indispensable acumular esta energía. La cantidad de energía a acumular se va en función a la demanda energética y la cantidad de paneles solares a usar se calcula en función a la demanda máxima de potencia y teniendo en cuenta el recurso solar en los meses más desfavorables.

Los elementos principales que posee un sistema fotovoltaico off grid podemos encontrar al Generador(paneles), el Controlador de carga(regulador), las baterías para la acumulación y el ondulator(inversor). (Cayotopa, 2019, p. 40) Complementando lo mencionado anteriormente Salto (2018) nos menciona que "Un sistema fotovoltaico es una reunión de equipos que hacen posible el aprovechamiento de la energía solar, para transformarla en energía eléctrica para uso final".

3.2.5.2 Sistema fotovoltaico conectado a red.

También conocidos como sistemas fotovoltaicos On-Grid son sistemas que pueden aprovechar la energía proveniente de la red o también pueden inyectar energía excedente no utilizada.

Generalmente están poseen equipos como un generador fotovoltaico que se encuentra en interacción con a la red eléctrica convencional mediante un inversor especial, haciendo intercambio energético entre la red y el sistema fotovoltaico, algo peculiar en este tipo de instalaciones. De esta manera, el

sistema entrega energía en la red cuando se produce en exceso, y extrae energía de ella en caso de baja producción.

La diferencia resaltante entre un sistema fotovoltaico off grid y on grid, consiste en que este último no cuenta con un sistema de acumulación de energía. (Cornejo, 2013, p. 9)

Complementado las definiciones de un sistema fotovoltaico conectado a red Aguilar (2018) nos menciona que:

Estos sistemas son pequeñas centrales de generación eléctrica ya que al tener una interconexión los excedentes de energía se pueden ir directo a la red y así mismo durante las horas con falta de luz solar la red le proporciona la energía que necesite. (p.22)

3.2.6 Principales componentes de un sistema fotovoltaico aislado.

Los componentes más primordiales de este tipo de sistema son los siguientes; panel solar o modulo fotovoltaico, controlador de carga o regulador, acumulador o banco de baterías, el inversor.

3.2.6.1 Modulo fotovoltaico o panel solar:

El panel solar o también conocido como modulo solar es el sistema que va a captar la radiación proveniente del sol convirtiéndola en energía eléctrica utilizable. “El módulo fotovoltaico es el componente clave dentro de un sistema fotovoltaico, ya que este convierte el recurso solar existente en la zona en energía eléctrica” (sotysolar, 2020).

Un módulo fotovoltaico es la unión de varias células fotovoltaicas a esto Cayotopa (2019) nos menciona que:

Por sí misma una célula entrega muy poca energía, y a muy baja tensión. Además, las células individuales son frágiles y difíciles de comercializar. Los fabricantes los agrupan para garantizar que funcionen como una unidad, buscando proporcionar el voltaje y los niveles de potencia adecuados para cada aplicación, y protegerlos de las inclemencias del tiempo y a esto se le conoce como panel o módulo solar.

Eléctricamente en un panel se combinan un determinado número de células solares las cuales son protegidas sellándolas al vacío. (p.26)

Respecto a estas definiciones referente a módulos fotovoltaicos Salto (2018) nos menciona que:

El módulo solar está conformado por diferentes células interconectadas, pudiendo estar conectadas en paralelo y serie, esto debido a que se requiere adaptar el panel a diferentes valores de corriente y tensión, entre los tipos de paneles solares comerciales se puede mencionar al amorfo, policristalino y monocristalino cada uno de diferente tecnología y eficiencia.

Panel solar monocristalino: derivado de silicio puro fundido, se añade boro para su embrutecido, se le identifica por su azulada oscura monocromía y forma romboide metálico, genera un mayor rendimiento.

Panel solar policristalino: disminuye su rendimiento debido a zonas irregulares, con proceso de fabricación similar al monocristalino, pero de cristalización escaza y distinguiéndose debido a que en su superficie se diferencian tonos azules.

Amorfo: en su combinación química posee numerosos defectos estructurales, con un costo de elaboración menor que las otras tecnologías, de uso limitado debido al espacio que ocupa al ser más grande que las otras tecnologías. (pp. 10-11)

Respecto al costo de estos tipos de módulos fotovoltaicos Chapoñan (2018) nos menciona que:

Resulta más económico producir silicio policristalino que monocristalino debido a la materia prima menos costosa. Sacrificando la eficiencia ya que es menor. (p. 55)

3.2.6.2 Clasificación de los paneles solares:

Para complementar lo mencionado actualmente tenemos diversas tecnologías en cuanto a panel solar se refiere, podemos encontrar paneles monocristalinos, policristalinos, amorfos, monocristalinos PERC entre los más comerciales y usados en proyectos solares, a continuación, mencionaremos

una breve definición de cada tipo de tecnología para poder determinar las diferencias de cada uno.

Monocrystalino:

Algunos artículos e investigaciones sobre este tipo de tecnología nos indican lo siguiente:

Las células de silicio monocrystalino están hechas de lingotes (bloques cilíndricos de silicio). Se cortan los cuatro lados del cilindro, desperdiciando mucho silicio y creando una lámina con bordes redondeados. Como resultado, los cristales son de alta pureza, lo que mejora el rendimiento de cada celda, entregándonos un rendimiento aproximado de entre 19 al 22% (sotysolar, 2020).

Las características más resaltantes de este tipo de tecnología según (AutoSolar, 2021) es que: “Su uso se remonta a tiempos históricos, con una mayor lentitud en el proceso de calentamiento y alto coste energético para su fabricación, esta tecnología fotovoltaica tiene fabricación más lenta pero resulta ligeramente más eficiente”.

Policristalino:

Por otro lado, actualmente contamos con la tecnología policristalina, que posee características diferentes las cuales mencionaremos a continuación:

Los paneles solares basados en células policristalinas tienen una larga trayectoria en la industria, ya que se fabrican desde la década de 1980. Su mayor ventaja proviene de los menores costos del proceso de producción en comparación con las células monocrystalinas, lo que abarata el precio final de estos sistemas.

Son más económicas para realizar una instalación fotovoltaica, pero cuentan con algunas desventajas como la menor tolerancia a cambios bruscos de temperatura haciendo que tenga menor eficiencia que la tecnología monocrystalina. Se estima que en los paneles que incluyen esta tecnología poseen eficiencia aproximada de 16%, debido a que tienen menor cantidad de silicio. (EcoInventos, 2022, párr. 7).

Amorfo:

Los paneles de tipo amorfo son otro tipo de tecnología que se puede usar dentro de una instalación fotovoltaica, las características de este varían en cuanto a tamaño y eficiencia respecto a los paneles monocristalinos y policristalinos.

Las características más resaltantes de este tipo de panel es que se fabrican depositando una pequeña película de silicio sobre una superficie de acero, también nos hace mención que debido a la menor potencia entregada van a requerir mucho más espacio que otros tipos de paneles solares para entregar los mismos niveles de potencia, debido a esto su eficiencia no es tan alta como en paneles cristalinos, aunque sea más accesibles se recomienda su uso siempre y cuando tengamos bastante espacio , además hay que tener en cuenta que al tener grandes dimensiones los costos en estructura y cableado serán mayores. (DamianSolar, 2017, párr. 6)

En la (Figura 2) podemos ver la apariencia física de los tres tipos de panel antes mencionados.



Figura 2: Tipos de Paneles Solares. Fuente: Cordero (SUNFIELDS), 2018.

Células Solares con tecnología PERC:

Durante los últimos años y gracias al avance de la tecnología se han podido desarrollar otros tipos de tecnologías en cuanto a panel solar se refiere así actualmente encontramos la tecnología PERC.

La tecnología PERC se ha convertido en una de las mejores alternativas elegidas en la actualidad, tanto en tecnologías monocristalinas como policristalinas. PERC (Passivated Emitter Rear Cell), consiste en añadir en la parte trasera de la placa solar una capa adicional, esta capa adicional se encarga de reflejar los fotones que pasan a través de la célula nuevamente hacia la célula, haciendo que la eficiencia aumente en este tipo de panel con ganancia de hasta 1%, algunas ventajas de este tipo de tecnología es que esta posee a diferencia del resto de tecnologías una mayor eficiencia, el calentamiento de este tipo de placa es menor (Insa, 2018, párr. 1).

En la (Figura 3) podemos ver las características de este tipo de tecnología respecto a las tecnologías de paneles convencionales.

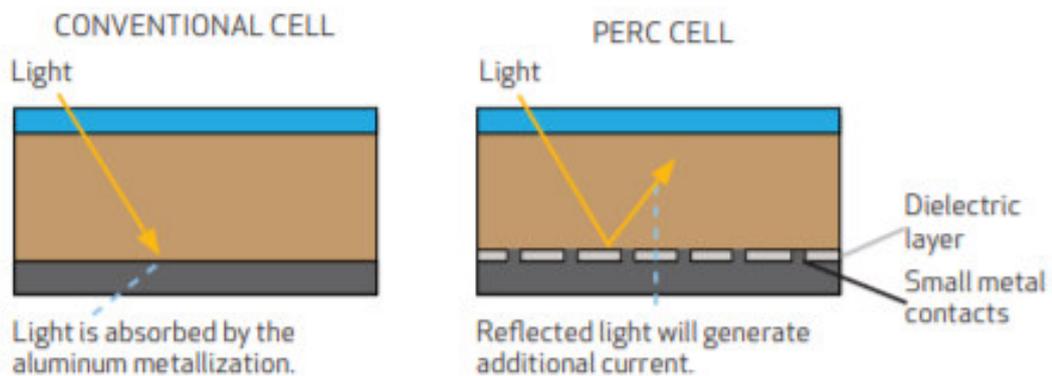


Figura 3: Tecnología de Celda Trasera de Pasivado. Fuente: Recgroup,2014

3.2.6.3 Sistema de Acumulación (Baterías).

Su principal objetivo es almacenar la energía producida por los paneles para abastecer la demanda durante en horas de la noche o cuando el recurso solar sea escaso (Petrel, 2021).

Como sabemos los módulos fotovoltaicos crean electricidad en horas de sol y el gran inconveniente a veces es la demanda de energía durante las noches o cuando no haya presencia de sol, he aquí la necesidad de usar baterías que almacenen la energía para ser usada en ecenarios como los que se menciono con anterioridad.

Los acumuladores o baterías se dividen en varios tipos, dependiendo a la tecnología de fabricación y para elegir correctamente la batería, es útil conocer todas las diferencias, ya que no todas las instalaciones fotovoltaicas requieren el mismo tipo de acumulador, según la tecnología podemos encontrar Baterías de plomo Acido abierto, Baterías AGM, Baterías en Gel, Baterías estacionarias, Baterías de litio (Hilcu, 2023).

Baterías de Plomo Acido: Las baterías abiertas de plomo-ácido son una tecnología deficiente. Tienen una vida útil de 300 ciclos de carga, lo que significa que la batería durará poco menos de un año si la carga y descarga una vez al día. Están diseñados para consumidores más pequeños como vehículos recreativos y pueden descargar hasta un 60 por ciento, mientras que las baterías fabricadas con tecnología más avanzada pueden descargarse por completo. Estas baterías requieren mantenimiento.

Baterías AGM: En segundo lugar está la batería AGM. Al igual que los ácidos abiertos, tienen un ciclo de vida más corto, pero más largo que el presentado anteriormente: 500 ciclos de carga y descarga. También se utilizan en caravanas y emiten hasta un 60 por ciento más. Su ventaja sobre los ácidos abiertos es que no requieren mantenimiento.

Baterías en Gel: Las baterías de gel también se pueden utilizar en el hogar, pero solo si su consumo es muy bajo. Duran más y soportan 1.200 ciclos. Además, la tasa de descarga es tan alta como 60%.

Baterías Estacionarias: Los acumuladores solares estacionarios tienen una tecnología superior y pueden proporcionar 3.000 ciclos de carga y descarga. Además, se puede descargar hasta un 80%. Son útiles para grandes cargas o sistemas desconectados de la red.

Por último, las baterías de litio que proporcionan hasta 6.000 ciclos de carga y descarga, lo que supone casi el 100 %. Están pensadas para familias con alto consumo o aislamiento. Otra ventaja es su reducido peso (Hilcu, 2023).



Figura 4: Apariencia Física de las Baterías. Fuente: Auto solar Perú, 2023.

3.2.6.4 Controlador o Regulador.

Se encarga de controlar el voltaje producido por nuestro arreglo fotovoltaico, enviando esta al sistema de acumulación. Tiene como función principal función la correcta carga y descarga de la batería, protegiendo y alargando la vida útil de las baterías (Salto, 2018).

Controladores hay de diversos tipos, pero principalmente podemos mencionar a los MPPT (Rastreador del punto de máxima potencia) y el PWM (Controlador por modulación de ancho de Onda).

Controlador de Carga PWM: Es la primera tecnología de controladores que salió al mercado, tiene un solo diodo en su interior, lo que permite que el panel funcione al mismo voltaje que la batería. Esto significa que el controlador ingresa y emite la misma cantidad de energía (voltaje y corriente). Esto ocasiona que los paneles no trabajen en su punto de máxima potencia, y que la potencia se impuesta por el sistema de acumulación según la carga en ese instante, ocasionando perdidas de potencia en torno a 25-30% (Serrano, 2017).

Controlador de Carga MPPT: A diferencia de los reguladores PWM con diodos de protección, este posee convertidor de tensión DC-DC y seguidores de punto de máxima potencia. Permitiéndole trabajar con diferentes potencias (voltaje y amperaje) al sistema fotovoltaico y a las baterías (convertidores de voltaje DC-DC). Asimismo, el seguidor MPPT ajusta la tensión del sistema a

la tensión que proporciona la máxima potencia. Permitiendo aumentar la tensión del panel solar e incrementa la producción solar en hasta un 30% respecto a los controladores PWM, esta tecnología resulta muy útil especialmente en zonas con sombreados constantes debido a nubosidad (Serrano, 2017).



Figura 5: Apariencia física de los controladores. Fuente: Auto solar Perú, 2023.

3.2.6.5 Inversor.

Transforma la corriente directa proporcionada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna aprovechable por la mayoría de los equipos de la instalación. Esta corriente es la que puedes usar en equipos que trabajan con corriente alterna o verter a la red de ser el caso. Su función es fundamental en un sistema fotovoltaico para el correcto funcionamiento de la instalación fotovoltaica. (Sotysolar, 2022)

Entre los principales tipos de inversores para un sistema fotovoltaico podemos encontrar tres: optimizadoras de potencia, inversores string o en cadena y micro inversores.

Características Técnicas de los inversores: Es importante conocer los parámetros técnicos de un inversor y respecto a esto Cantos (2016) nos menciona que debemos conocer lo siguiente:

Potencia nominal: Es la potencia que el inversor es capaz de proporcionar en funcionamiento normal y continuadamente.

Tensión nominal de entrada: Viene proporcionada por el sistema de acumulación, suele ser de 12, 24 o 48 V. Debido a que esta tensión no es fija siempre, hay un margen en torno a dichos valores en el que el inversor puede funcionar correctamente.

Potencia en vacío: potencia consumida por el inversor funcionando sin carga.

Capacidad de sobrecarga: es la potencia (superior al valor nominal) que el inversor puede entregar durante un tiempo determinado. Algunos fabricantes ofrecen datos de sobrecargas, como por ejemplo: 200%, 160%, 140%, etc.

Forma de onda: Es la senoidal la mejor onda de salida, es la más adecuada para las cargas que usan corriente alterna o para inyectar la energía a la red eléctrica, es la de más costo, por lo que para equipos poco exigentes como la iluminación se puede usar inversores con formas de onda más sencillas como podemos apreciar en la (Figura 6).

la fuerza motriz del cambio climático y de la dinámica de los procesos atmosféricos. La radiación electromagnética que emite el Sol se produce por procesos de fusión nuclear entre átomos de hidrógeno en su núcleo y es liberada por la superficie solar. (p.1)

Con respecto a este tema Sepúlveda (2014) nos menciona que “la radiación solar es un parámetro primordial para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Puede variar geográficamente por condiciones climatológicas. Por ende, resulta importante tener un sistema de monitoreo de la radiación solar en un lugar determinado para optimizar los diseños fotovoltaicos”.

Según Zapata y Arenas (2011) citado por Tercero (2015) plantean que dependiendo cómo se recibe la radiación solar en la superficie terrestre, distinguimos estos tipos de radiación:

Radiación Directa: La radiación que procede directamente del sol sin cambiar previamente su dirección se conoce como radiación directa. Una de sus características es la sombra que deja sobre los objetos opacos que atraviesa.

Radiación Difusa: Las nubes absorben o reflejan una parte de la radiación que entra en la atmósfera. La radiación difusa se emite en todas direcciones debido a las reflexiones y absorciones de diversas fuentes, como las partículas de polvo de la atmósfera, las montañas, los árboles, los edificios, el suelo, etc. La ausencia de sombras con respecto a los objetos opacos que intervienen es una característica de este tipo de radiación.

Radiación Reflejada: Como su nombre indica, la radiación reflejada es la que refleja la superficie de la Tierra. El albedo de la superficie, o coeficiente de reflexión, determina la cantidad de radiación presente. Al no poder ver ninguna superficie terrestre, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, pero las superficies verticales sí reciben la mayor cantidad de radiación reflejada.

Radiación Global: conocida como radiación total, resulta al sumar las tres radiaciones antes mencionadas. (p.13)

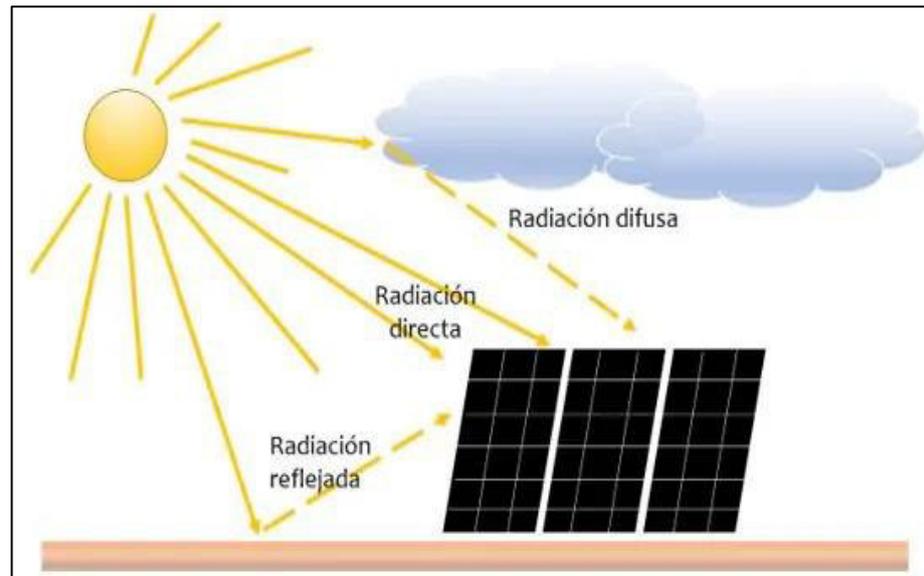


Figura 7: Tipos de Radiación Solar que Recibimos en la Tierra. *Fuente: Alonso (SUNFIELDS), 2019.*

3.2.8 Irradiancia

Para hablar de radiación solar primero se debe conocer el término de irradiancia y de acuerdo con Pérez et al. (2017) “es la medida utilizada para expresar la potencia incidente en función del área de todos los tipos de radiación y cuya medida es en W / m^2 ”.

De acuerdo con Alonso (2010) “Cuando se expresa como potencia instantánea por unidad de superficie, la magnitud se refiere a la radiación o intensidad de la iluminación solar que llega al ser humano. W/m^2 es su unidad de medida en el SI (Sistema Internacional)”.

3.2.9 Irradiación

En palabras de Alonso (2010) Es la cantidad de irradiancia que se recibe en un tiempo determinado, o la potencia que se recibe por unidad de tiempo y superficie. Normalmente, se expresa en Wh/m^2 o, si se expresa en términos de un día, $Wh/m^2/día$ o unidades comparables.

3.2.10 Hora solar pico

La Hora solar pico de acuerdo con las conclusiones de Pérez et al.(2017) se refiere a:

La energía entregada por un sol hipotético de irradiancia constante de W / m^2 que coincide con la energía entregada por el sol real con todas sus variaciones durante un día de irradiación normal, que se mide en W / m^2 , coincidiendo matemáticamente con las horas que este hipotético sol de W / m^2 debe estar "Conectado" para entregar la misma energía que el sol real con todas sus variaciones en un día de irradiación normal. (pp. 127-128)

Complementando lo mencionado con anterioridad a juicio de Sebastián la hora solar Pico se refiere a:

Las horas solares pico es el tiempo que en un día se mantiene una irradiancia ideal de $1000 W/m^2$ traducidos a sus unidades de $kWh/m^2/d$ o su equivalente $kJ/m^2/d$ que pueden tener diferentes valores, variando de un lugar a otro, estas son medidas de radiación solar HSP desde peores meses, regulares a buenos que son muy importantes y facilitan los cálculos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. (2019, párr.2)

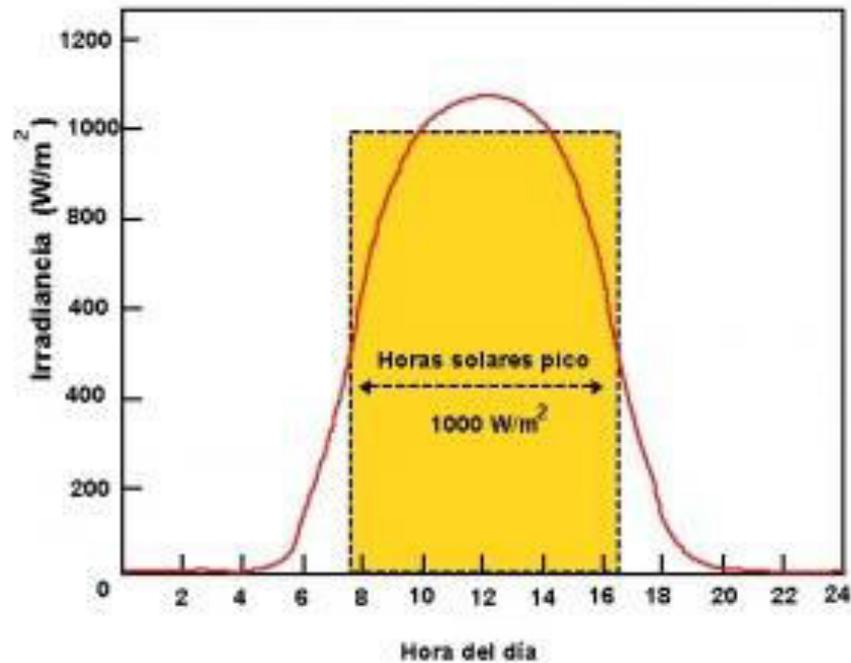


Figura 8: Hora Solar Pico. Fuente: Blasco (CALCULATIONSOLAR), 2014.

3.2.11 Angulo de inclinación óptimo

La orientación y ángulo de inclinación son muy importantes a la hora de instalar paneles solares fotovoltaicos ya que resulta vital aprovechar al máximo las horas de sol y obtener el máximo rendimiento en la instalación solar (Innozar, 2021).

El objetivo de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red es proporcionar suministro teniendo en cuenta las condiciones de uso. La Figura 9 nos muestra los valores de inclinación adecuados en función de algunos tipos diferentes de sistemas solares aislados de la red que pueden estar disponibles.

Tipo de Instalación	Periodo de uso	Inclinación óptima	Justificación
Bombeo de agua	Solamente verano	$\beta = \phi - 20^\circ$	En verano, la altura que alcanza el sol es mayor, por lo que se requiere una menor inclinación.
Instalación para vivienda	Solamente invierno	$\beta = \phi + 15^\circ$	En invierno, la altura que alcanza el sol es menor, por lo que se requiere una mayor inclinación.
Instalación para vivienda	Anual	$\beta = \phi + 10^\circ$	Debe diseñarse la instalación para la época de menor radiación (invierno), con el objetivo de garantizar el suministro.
Lugar de nevadas frecuentes	Anual	$\beta = 65^\circ$	El objetivo es evitar acumulaciones de nieve sobre la superficie de los módulos.

Figura 9: Inclinaciones para diferentes Instalaciones fotovoltaicas aisladas.
Fuente: (Cantos, 2016)

3.2.12 Estructuras de Soporte:

Para sacar el máximo rendimiento a una instalación solar no podemos dejar al azar cosas importantes como la orientación y posición de los paneles solares con respecto al sol, de ello dependerá la eficiencia y eficacia de los paneles solares. Debido a esto para conseguir la posición correcta del panel solar hacia el sol se utilizan estructuras y soportes donde se instala el panel solar. Por lo tanto, resulta de suma importancia investigar dónde vamos a instalar los paneles y su orientación al sol para poder brindar las mejores alternativas para posicionar los paneles solares con respecto al sol y lograr un nivel de rendimiento cercano para lo que la instalación solar fue diseñada, en lo que a estructuras de soporte se refiere podemos encontrar dos tipos principalmente.

Sistema fijo

Son las más empleadas por **fiabilidad y accesibilidad** (se trata de estructuras más económicas). Ya sean metálicas o de hormigón (auto lastradas), otorgan al panel solar una orientación y un ángulo fijo, que ha de determinarse en base a la latitud de la instalación. (Solarix, 2022)

Para poder utilizar una estructura fija debemos realizar un correcto análisis del lugar donde pretendemos instalar nuestro sistema ya que de esto dependerá escoger de manera óptima la inclinación adecuada para todo el año, en la Figura 10 podemos ver una referencia de este tipo de soporte.



Figura 10: Estructura fija para paneles solares. Fuente: (Solarix, 2022)

Seguidores Solares

Este tipo de estructuras se utilizan en situaciones en las que desea maximizar el rendimiento del panel. A veces, simplemente para investigar el rendimiento de los paneles solares. También es usado en grandes parques fotovoltaicos para ventas de energía. Estas estructuras tienen uno o dos ejes de movimiento y pueden rotar para capturar más radiación del sol siguiendo la trayectoria del sol, serían las mejores estructuras del mercado, sin embargo, esta movilidad requiere por un lado un consumo de energía y por otro lado su mayor complejidad mecánica también los hace propensos a fallas y operaciones de constante mantenimiento. (Solarix, 2022)



Figura 11: Estructura con seguidor solar para paneles. Fuente: (Solarix, 2022)

3.2.13 Factores que afectan el rendimiento de paneles solares

Podemos encontrar diversos factores que afecten el rendimiento en los paneles fotovoltaicos, ya sean factores internos determinados por el tipo de tecnología del panel o factores externos como la temperatura, sombreados y la inclinación del panel.

Cepeda y Sierra (2017) comentan que el factor que tiene mayor impacto en términos de eficiencia y la durabilidad en los paneles es el aumento de temperatura del panel, el cual provoca la saturación de corriente evitando la salida de potencia óptima y daños en la células del módulo fotovoltaico.

En los factores externos el efecto del nivel de radiación, temperatura ambiente, inclinación del panel y el sombreado son factores que repercuten en el óptimo funcionamiento del sistema fotovoltaico. El cambio en la producción de radiación es el efecto más significativo para reducir la producción de energía del panel. El panel no proporcionará su máxima potencia y exhibe baja eficiencia, debido al cambio del punto de máxima potencia. (Cepeda & Sierra, 2017)

3.3 Glosario de términos y Definiciones Importantes:

Sistema fotovoltaico Aislado

La mayoría de estos sistemas se instalan en lugares sin acceso a la red, ya que instalar un sistema solar es más barato que tender una línea entre la red y el punto de consumo. (Cayotopa, 2019).

Energía fotovoltaica

La conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica se conoce como energía fotovoltaica. Los dispositivos conocidos como paneles fotovoltaicos la generan. (APPA Renovables, 2021).

Partes de un sistema fotovoltaico Aislado

Entre los principales elementos que posee un sistema fotovoltaico aislado podemos encontrar al Generador(paneles), el controlador de carga(regulador), el sistema de acumulación y el ondulador(inversor). (Cayotopa, 2019, p. 40)

Generador fotovoltaico: Convierte la energía solar en energía eléctrica para cargar la batería.

Regulador de carga: Regula la carga de la batería para evitar descargas excesivas o sobrecargas, que acortan la vida útil de la batería.

Baterías o Acumulador: Brinda autonomía al sistema en horas donde la radiación es baja o en horas de la noche.

Inversor: Transforma el voltaje en DC producida por los paneles en voltaje AC aprovechable por los diversos equipos dentro de una instalación.

Radiación solar

La energía que emite el Sol se conoce como radiación solar y viaja por el espacio en todas direcciones en forma de ondas electromagnéticas. Esta energía es el motor del cambio climático y de la dinámica de los procesos atmosféricos. (Benavides & Sepúlveda, 2019).

Hora solar pico (HSP)

El número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m^2 que suma la misma irradiancia total que la irradiancia real de ese día se conoce

como horas de máxima luz solar. Esta idea es crucial, ya que ayuda a estimar la potencia generada por los paneles solares cuando se combina con un factor de pérdida.

Modulo Fotovoltaico o Panel Solar

El módulo fotovoltaico también conocido como panel solar es el componente clave dentro de un sistema fotovoltaico, ya que este se encarga de convertir radiación solar en energía eléctrica (sotysolar, 2020).

Podemos encontrar varias tecnologías, pero las más predominantes en el mercado son la tecnología policristalina y monocristalina.

Sistema de acumulación o baterías

La función de las baterías es almacenar la energía eléctrica producida por los paneles solares para poder utilizarla para alimentar dispositivos por la noche o en días en los que la potencia del sol varía. (Petrel, 2021).

Formulas a usar en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

Siguiendo las recomendaciones de Cantos (2016) para el correcto dimensionamiento de un sistema fotovoltaico mediante cálculos matemáticos vamos a utilizar las fórmulas que se muestran a continuación y que serán de gran ayuda para dimensionar los equipos del sistema.

Potencia del generador fotovoltaico- Paneles en Serie y Paralelo

$$\text{Potencia del Generador FV} = \frac{\text{Demanda Energetica} / R}{\text{Hora Solar Pico}}$$

Donde:

R: Rendimiento Global de la Instalación

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) \cdot (1 - k_a \cdot N / P_d)$$

Donde:

Kb: Coeficiente de perdidas por rendimiento en las baterías

Ki: Perdidas por el rendimiento del inversor

Kr: Perdidas en el controlador de carga

Kv: Otros tipos de perdidas no consideradas anteriormente

Ka: Fracción de energía que se pierde en la autodescarga

N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga

PD: Profundidad de máxima descarga admisible de las baterías

Paneles en serie y paralelo

$$N^{\circ} P_s = \frac{V_{nom}}{V_{pm}}$$

$$N^{\circ} P_p = \frac{\text{Pot. del sistema}}{\text{Ptencia del Panel} \times N^{\circ} P_s}$$

Donde:

Vnom: voltaje nominal del sistema (a elegir)

Vpm: voltaje de potencia máxima (establecida en la ficha técnica)

Dimensionamiento de las baterías

$$\text{Capacidad batería (Ah)} = \frac{\text{Demanda Energética} \times \text{Días de autonomía}}{V \text{ sistema} \times PD}$$

Baterías en serie y paralelo

$$\text{Cant. Bat. Serie} = \frac{V \text{ sistema}}{V \text{ batería}}$$

$$\text{Cant. Bat. Paralelo} = \frac{\text{Capacidad batería calculada (Ah)}}{\text{Capacidad batería elegida (Ah)}}$$

Dimensionamiento del Regulador de Carga

$$\text{Cap. controlador de carga} = I_{sc} \times \text{factor de seguridad}$$

Donde:

I_{sc} : corriente máxima de cortocircuito (establecida en la ficha técnica)

Dimensionamiento del inversor

$$P \text{ inversor} = \sum P_{Ac} \times f. s$$

Donde:

P_{Ac} : potencia en corriente alterna (W)

$f. s$: factor de simultaneidad de la instalación

Dimensionamiento de la sección para los conductores

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\% (V_a - V_b)}$$

Donde:

L: Distancia entre componentes del sistema (m)

I: Corriente que fluye de componente a componente (A)

ρ : conductividad del material

V_a, V_b : variación de voltaje entre un punto y otro (caída de tensión).

Cálculo de la distancia entre paneles para evitar sombras

$$D_s = \frac{L * \text{sen } \beta * \cos \Psi_s}{\tan \gamma_s}$$

Donde:

L: longitud de largo del panel (m)

β : ángulo de inclinación óptima del panel

Ψ_s : Angulo Azimutal

γ_s : Angulo Elevación Solar

Temperatura máxima de un panel fotovoltaico:

$$T_{cm\acute{a}x} = T_a + G_x \frac{TNOCT - 20}{800}$$

Donde:

T_a : temperatura ambiente (normalmente de 20 a 25 °C)

TNOCT: Temperatura Normal de trabajo de la Célula

Además de esto podemos mencionar Formulas para determinar la variación de potencia de un panel bajo condiciones climatológicas variadas, así como la variación del voltaje en vacío y el voltaje en cortocircuito como:

$$\Delta P_{m\acute{a}x} = (T_{cm\acute{a}x} - 25)^\circ C * Coef. T_{pm\acute{a}x} \% / ^\circ C$$

$$\Delta V_{oc} = (T_{cmin} - 25)^\circ C * Coef. TV_{oc} \% / ^\circ C$$

$$\Delta I_{sc} = (T_{cm\acute{a}x} - 25)^\circ C * Coef. TI_{sc} \% / ^\circ C$$

CAPITULO IV: HIPOTESIS Y VARIABLES

4.1 Formulación de hipótesis general y específicas

4.1.1 Hipótesis General

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo permitirá suministrar energía eléctrica al colegio de la comunidad Jancapampa-Pomabamba.

4.1.2 Hipótesis Específicas

1. La evaluación del potencial de radiación solar permitirá dimensionar de manera óptima el sistema fotovoltaico off-grid.
2. La determinación de la demanda energética permitirá establecer la capacidad del sistema fotovoltaico autónomo.
3. El uso de la herramienta computacional permitirá corroborar y contrastar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico off-grid en los colegios de la comunidad Jancapampa.
4. La evaluación técnico-económica demostrará el beneficio y factibilidad de la implementación del sistema fotovoltaico off-grid para suministrar energía eléctrica a los colegios de la comunidad Jancapampa.

4.2 Variables

4.2.1 *Variable Independiente*

Sistema fotovoltaico off-grid.

4.2.2 *Variable Dependiente*

Suministro de Energía eléctrica.

CAPITULO V: MATERIALES Y METODOS

5.1 Área de estudio y descripción de la zona de trabajo

La presente investigación se va a llevar a cabo en la comunidad de Jancapampa, específicamente en los colegios nivel primario y secundario de dicha localidad ubicada a una latitud de -8.8489, longitud de -77.5211 y una altitud de 3506 m.s.n.m. según datos obtenidos de Google Earth y un área aproximada de del terreno de ambos colegios de 12 104 m² en total con un perímetro aproximado de 510 m, la comunidad campesina de Jancapampa se encuentra localizada en la parte noroeste de Pomabamba, provincia perteneciente al departamento de Ancash y toma ese nombre debido al nevado Jancapampa que se encuentra cerca de la comunidad, cabe mencionar que en esta comunidad la principal fuente de ingresos proviene de la agricultura y ganadería.

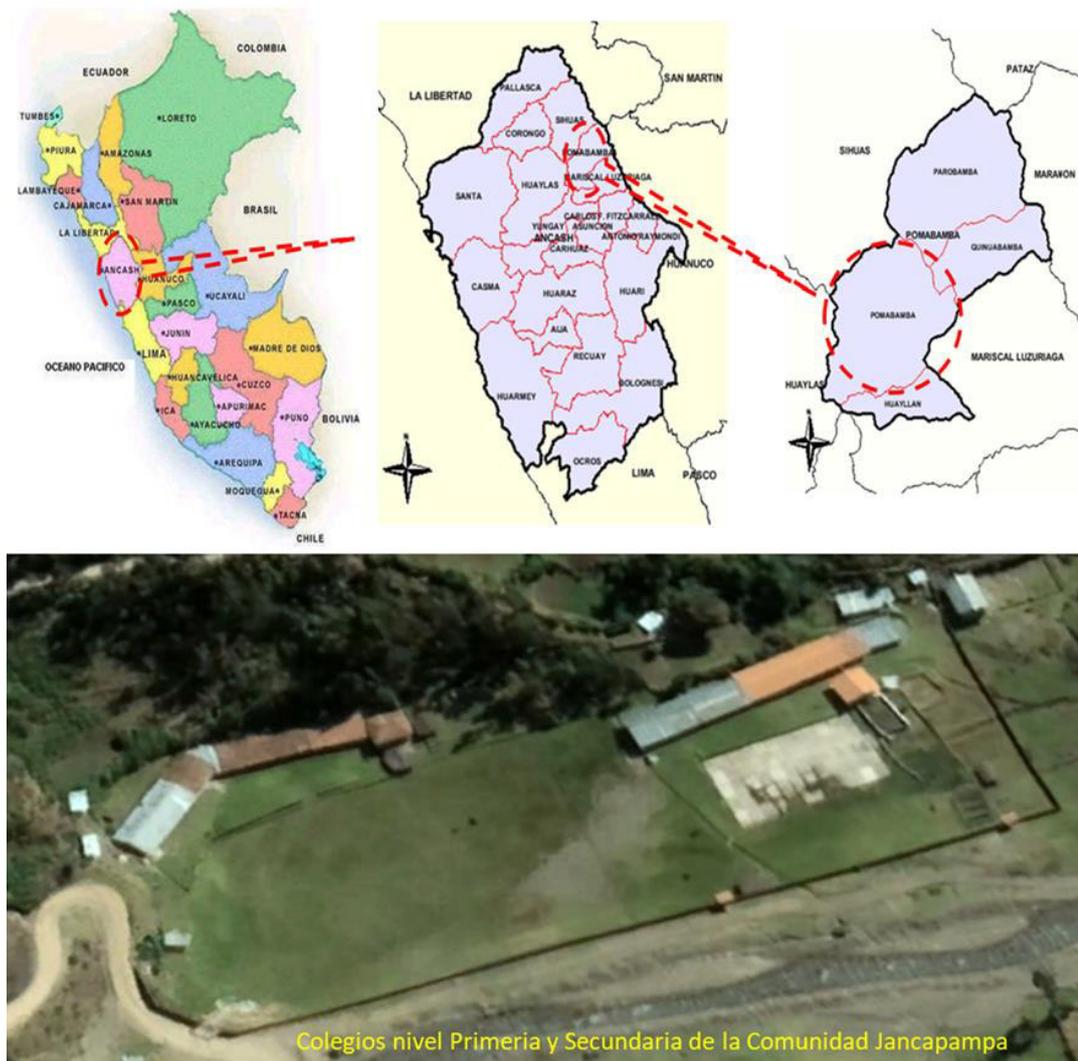


Figura 12: Ubicación de la Zona de Trabajo. Fuente: Adaptado de Mapa de Perú: Costa, sierra y selva (Perutoptours,2005)

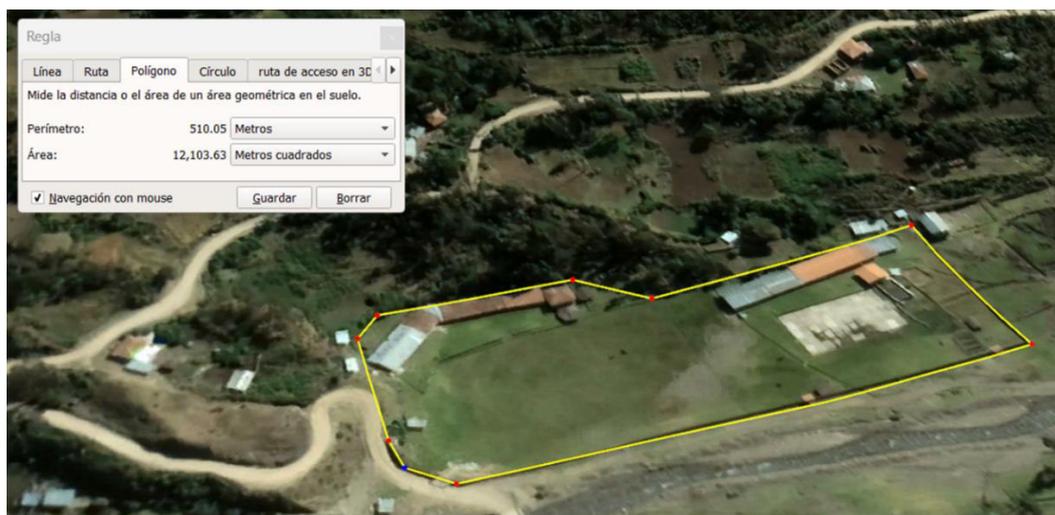


Figura 13: Perímetro y Área de los Colegios nivel Primaria y Secundaria de la Comunidad Jancapampa. Fuente: Adaptado de Google Earth.

En la (Tabla 3) podemos ver el resumen de las características geográficas de ambos colegios, así como también podemos ver el área con el que cuentan ambos colegios, el mismo que será de gran importancia ya que permitirá una mejor ubicación del sistema fotovoltaico.

Tabla 3: Resumen Características Geográficas del Colegio Jancapampa

Nombre	Colegio Comunidad Jancapampa
Latitud y longitud	-8.8489; -77.5211
Altura	3506 m.s.n.m.
Provincia/Distrito	Pomabamba/Pomabamba
Área Total	12 104 m ²
Perímetro	510 m

5.2 Diseño de investigación

La propuesta metodológica para esta investigación será de tipo cuantitativa ya que las variables usadas son medibles y además se realizará cálculos matemáticos para determinar el consumo de energía según un cuadro de cargas aproximado de la institución, esto nos permitirá evaluar técnica y económicamente el diseño de nuestro sistema fotovoltaico aislado.

La evaluación técnica nos ayudara a tener una idea de implementación de este tipo de tecnología con las condiciones geográficas de la localidad, así como las condiciones climatológicas que influyen en la vida útil y el rendimiento de este tipo de tecnología, también nos ayudara a determinar las limitaciones de accesibilidad a la zona.

Además, realizaremos una Investigación descriptiva esto porque en primer lugar describiremos la realidad problemática de la zona de estudio y también describiremos las características de los equipos a los cuales se busca alimentar con energía eléctrica.

Finalmente haremos una pequeña evaluación económica usando datos obtenidos de consumo de energía y teniendo presente la vida útil de este tipo de tecnología se determinará la factibilidad de este proyecto.

5.3 Población y Muestra

5.3.1 Población

La población para el presente trabajo son los colegios de comunidades aisladas de la red.

Asimismo, el estudio es válido para otro tipo de establecimiento en zonas aisladas tales como postas médicas, locales comunales, iglesias, etc.

5.3.2 Muestra

Colegios nivel primario y secundario de la comunidad Jancapampa que alberga a niños y jóvenes provenientes de comunidades campesinas cercanas.

5.4 Procedimientos, Técnicas e instrumentos de recolección de Información

Para realizar un correcto estudio y análisis que haga posible un correcto dimensionamiento de nuestro sistema fotovoltaico, empezaremos definiendo el lugar en el cual se desea realizar el proyecto, en nuestro caso hemos escogido los colegios nivel primario y secundario de la comunidad Jancapampa cuya ubicación y coordenadas ya han sido mencionadas con anterioridad.

Una vez determinada el lugar en estudio obtenemos los datos climatológicos importantes para una instalación fotovoltaica, tales como el recurso solar y la temperatura en el lugar.

5.4.1 Obtención de Recurso Solar en la zona de Trabajo

Tabla 4: Datos de Recurso Solar en la Comunidad Jancapampa

MES/AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	PROMEDIO
Enero	153.77	155.73	155.86	144.76	134.57	148.938
Febrero	126.6	133.62	131.25	124.61	141.53	131.522
Marzo	146.69	154.45	142.38	152.11	137.15	146.556
Abril	158.56	132.2	178.23	125.21	142.63	147.366
Mayo	168.66	175.86	167.87	156.26	141.81	162.092
Junio	177.12	174.51	158.75	189.69	184.4	176.894
Julio	183.05	198.09	173.45	181.48	206.79	188.572
Agosto	192.86	213.66	182.98	195.98	202.71	197.638
Septiembre	137.52	100.39	188.8	155.89	163.02	149.124
Octubre	166.64	148.65	152.22	146.52	146.01	152.008
Noviembre	157.06	150.49	161.18	152.24	151.95	154.584
Diciembre	146.02	143.09	145.71	146.3	150.11	146.246
ANUAL	1914.55	1880.74	1938.68	1871.05	1902.68	1901.54

Nota. En el cuadro podemos apreciar los valores de radiación mensual en (kW/m²/mes), con valores de 5 años para obtener un promedio para que el cálculo de nuestro sistema sea más eficiente. Fuente: (PVGIS, 2022).

Para corroborar datos de radiación solar y realizar un buen dimensionamiento también consultamos datos de la página web de la NASA¹, esto es muy importante debido a que esta base de datos nos proporciona también datos de temperatura y días nublados que son realizados desde una estación meteorológica que monitorea diversos parámetros como temperaturas, pluviometría, etc. Estos datos los podemos ver en la (Tabla 5) y serán importantes en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico off-grid.

¹ NASA: La Administración Espacial Aeronáutica de Estados Unidos (**NASA**, por sus siglas en inglés).

Tabla 5: Datos Climatológicos Obtenidos de la NASA

MES/ Datos	Irradiación (kWh/m2/día)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Días Nublados Por Semana
Enero	4.74	21.1	-0.24	1.87
Febrero	4.38	21.44	0.85	1.7
Marzo	4.18	19.51	0.01	1.73
Abril	4.6	20.64	-2.6	1.49
Mayo	5.09	20.69	-5.01	1.83
Junio	5.57	19.43	-6.06	1.9
Julio	5.7	19.83	-5.6	1.7
Agosto	5.5	20.39	-4.88	1.97
Septiembre	4.77	20.77	-4.06	2.04
Octubre	4.74	21.33	-0.3	1.66
Noviembre	5	21.46	-0.45	2.03
Diciembre	4.62	21.18	-0.18	1.64
PROMEDIO	4.9	21	-2	2
MAXIMO	5.57	21	1	2
MINIMO	4.18	19	-6	1

Nota. En la tabla podemos apreciar datos de irradiación obtenidos de la página web de la NASA. Fuente: (NASA.GOV, 2023)

Los datos climatológicos proporcionados por la NASA en lo concerniente a radiación solar no son muy precisos ya que no usa pirómetros para este caso sino se basa de datos tomados por satélites distribuidos alrededor del planeta.

Para solucionar este caso tenemos los datos tomados por NREL² que mediante el NSRDB³ proporciona una data muy confiable en cuanto a

² NREL: Es el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés), laboratorio nacional del Departamento de Energía de los Estados Unidos, Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable.

³ NSRDB: Es la Base de Datos Nacional de Radiación Solar (NSRDB, por sus siglas en inglés)

radiación solar ya que trabaja en una alianza con diversas entidades como la NASA, NOAA⁴, ASRC⁵, ENERGY.GOB⁶, SCS⁷ por mencionar solo algunas, y es la que vamos a tomar como referencia para nuestro dimensionamiento, a continuación, en la (Tabla 6) podemos ver la data de radiación solar proporcionada por NREL.

Tabla 6: Datos de Radiación Solar obtenido de NREL

MES	kWh/m2/mes	kWh/m2/día	Humedad Relativa
Enero	173.85	5.61	81.7
Febrero	227.99	7.86	73.5
Marzo	177.22	5.72	81.1
Abril	193.87	6.46	78.4
Mayo	189.45	6.11	75.9
Junio	192.44	6.41	76.3
Julio	233.12	7.52	71.3
Agosto	227.93	7.35	71.1
Setiembre	215.79	7.19	72.5
Octubre	202.21	6.52	72.2
Noviembre	183.70	6.12	72.9
Diciembre	220.86	7.12	77.0
Promedio	203.20	6.77	75.33
Máximo	233.12	7.86	81.65
Mínimo	173.85	5.61	71.15

⁴ NOAA: Es la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés)

⁵ ASRC: Es el Centro de Investigaciones de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Albania (ASRC por sus siglas en inglés)

⁶ ENERGY.GOB: Es la Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables

⁷ SCS: Es el Servicio de Consultoría Solar dedicada al desarrollo de herramientas y productos de evaluación de recursos relacionados con una amplia gama de aplicaciones.

5.4.2 *Determinación de la Demanda Energética de los Colegios*

Habiendo obtenido datos de radiación solar de distintas fuentes ahora lo que toca es obtener datos de consumo energético de las instituciones, esto ha sido posible gracias a la comunicación con los directores de cada institución quienes nos proporcionaron la información sobre los equipos con los que cuentan y las horas de uso de cada equipo, a modo referencial vamos a usar datos potencia por equipo proporcionados por el OSINERGMIN, para el caso especial de la Laptop modelo XO entregada por el gobierno central, Briano (2008) menciona que la primera generación de la laptop XO requiere apenas 2-4 watts de la electricidad y la XO-2 reducirá el consumo aún más hasta 1 watt, es así como en la (Tabla 7) podemos ver la demanda de energía de las instituciones.

Tabla 7: Datos de Consumo Energético por Equipo

Descripción de Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Horas/Día	Potencia Total (W)	Energía (Wh/día)
Colegio					
Secundaria					
Laptop	16	4	3	64	192
Computadora	1	300	3	300	900
Tablet	30	8	3	240	720
Impresora	1	100	2	100	200
DVD	1	20	5	20	100
TV 21'	1	100	5	100	500
Proyector	1	350	3	350	1050
Iluminación	14	20	5	280	1400
Equipo de Sonido	1	300	5	300	1500
Colegio					
Primaria					
Laptop	8	4	3	32	96
Tablet	15	8	3	120	360
Equipo de Sonido	1	300	2	300	600
Iluminación	16	20	5	320	1600
TOTAL				2526	9218

Nota. En la tabla podemos observar los equipos con los que cuentan las instituciones, así como los consumos de cada equipo tanto en potencia y energía.

5.4.3 Proveedores y comparativa de tecnologías de los principales componentes de un sistema fotovoltaico off grid.

En la realización de todo trabajo de ingeniería es indispensable contar con proveedores que nos faciliten el acceso a equipos y materiales de manera fácil y accesible, para la realización del presente proyecto contamos con muchas tiendas autorizadas dentro de nuestro país que se dedican al rubro de la energía solar fotovoltaica como Autosolar Perú, Deltavolt, Proviento Perú por solo mencionar a algunos, además de eso podemos importar la tecnología que se requiera dependiendo del costo y como resultado de un análisis económico de nuestro proyecto.

A continuación, vamos a realizar una pequeña comparativa de los componentes principales de un sistema fotovoltaico aislado o autónomo para lo cual vamos a revisar la ficha técnica de alternativas existentes dentro del mercado peruano, para lo cual usaremos datos proporcionados por el fabricante y escogeremos el más adecuado para nuestro trabajo.

Tabla 8: Comparación de Tecnologías en Paneles Solares

Marca	Era Solar	Ja Solar	Era Solar
Tipo	Policristalino	Monocristalino	Monocristalino
		Perc	
Potencia (W)	340	455	400
Voltaje circuito abierto (Voc) (V)	46.4	50.15	49.8
Intensidad de Cortocircuito (Isc) (A)	9.45	11.49	10.36
Voltaje a Potencia máxima (Vm) (V)	38.8	42.43	41.7
Intensidad de máxima potencia (Im) (A)	8.84	10.96	9.6

Dimensiones	Alto, 1956×992×40	2112x1050x35	1979 x 1002 x
Largo, Ancho (mm)			40
Costo(S/.)	540.95	685.52	697.17

Nota. Esta tabla muestra la comparativa de tres tipos de paneles solares, de acuerdo con su tecnología de elaboración y teniendo en cuenta sus principales parámetros. Fuente (AutoSolar, 2021).

De la comparación de las principales tecnologías existentes en el mercado podemos ver las características técnicas de cada una, podemos notar también que un panel de dimensiones similares de tecnología monocristalina entrega más potencia que un panel de tecnología policristalina y la variación de precios no es demasiado, para seleccionar correctamente el panel solar con el que vamos a trabajar hay que tener presente el clima de la zona en estudio, la eficiencia ofrecida por cada tecnología, los precios y finalmente la confiabilidad de operación en diversos escenarios.

Tabla 9: Comparativa de Tecnologías en Baterías

Marca	Enersol	Tensite	Fórmula Star
Modelo	T 1000	GEL 12- 250	Star FS 240 Solar
Capacidad de la Batería (Ah)	1025	300	240
Voltaje (V) dc	2	12	12
Costo(S/.)	1103.77	1247.57	404.5

Nota. En la tabla podemos ver tres tipos de baterías existentes dentro del mercado y reflejando sus principales parámetros. Fuente (AutoSolar, 2021)

De la comparación de estos tres tipos de baterías al momento de dimensionar nuestro sistema vamos a comparar dos tipos de baterías basándonos principalmente en sus características de operación y funcionamiento, necesidades de mantenimiento para cada tecnología y teniendo en cuenta los costos del sistema que estamos dimensionando, de igual manera hay que tener en cuenta las características técnicas necesarias para no cometer el error de conectar baterías en paralelo, lo cual sería muy perjudicial para nuestro sistema.

Siguiendo con las comparativas de tecnologías vamos a comparar tres tipos de controladores que podemos encontrar dentro del mercado peruano, estas comparaciones las podemos ver en la (Tabla 10).

Tabla 10: Comparativa de Controladores Según su Tecnología

Marca	Must	Victron Energy	Must
Modelo	PC18-6015A	MPPT 150/60,	PC1500B-6048D
Tipo	MPPT	MPPT	PWM
Tensión de la Batería (Vdc)	12V/24V/48V	12V/24V/48V	48V
Corriente de carga Nominal(A)	60	60	60
Potencia FV Nominal(W)	3760	3440	2880
Eficacia	99 %	98%	-
Costo(S/.)	1695.75	2681.82	360.01

Nota. En la Tabla 10 podemos ver la comparativa de tres tipos de controladores de acuerdo con el tipo de tecnología. Fuente (AutoSolar, 2021)

De la comparación de los tres tipos de controladores, para realizar una correcta selección de este tipo de quipos hay que tener en cuenta el tipo de carga al cual deseamos suministrar energía eléctrica y además de ello hay que tener en cuenta la eficiencia del equipo la cual nos permitirá sacarle el mayor provecho a nuestra instalación y para finalizar con la comparativa de componentes de nuestro sistema fotovoltaico vamos a realizar la comparación de tres tipos de inversores que podemos ver en la (Tabla 11).

Tabla 11: Comparativa de Inversores Según su Tecnología

Marca	Must	Victron Energy
Modelo	PV18-3048VHM	Inversor Phoenix Smart 48/3000
Voltaje de Entrada (Vdc)	48	48
Es inversor controlador	SI	NO
Potencia de Salida(W)	3000	3000
Voltaje de Salida (Vac)	230	230
Costo(S/.)	2254.74	5759.52

Nota. En esta tabla podemos ver dos tipos de inversores con sus principales características. Fuente (AutoSolar, 2021).

De la comparación de estos dos tipos de inversores podemos ver que en la actualidad existen inversores que tienen incorporado un cargador solar o controlador, haciendo más eficiente un sistema y abaratando costos para sistemas fotovoltaicos de mediano y bajo consumo.

5.4.4 Dibujo de Variables



Figura 14: Diagrama de Componentes del Sistema Fotovoltaico Aislado. Fuente: Elaboración propia.

5.4.5 Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Off Grid Para Suministrar Energía Eléctrica A Los Colegios De La Comunidad Jancapampa-Pomabamba

Una vez obtenido los datos del recurso solar y consumo energético en las instituciones lo que haremos es dimensionar nuestro sistema fotovoltaico autónomo usando cálculos matemáticos para posteriormente contrastarlo con resultados obtenidos con el uso del software PVsyst, para el cálculo haremos uso de los datos de Irradiación de la (Tabla 6) ya que son datos más confiables y nos ayudaran a que nuestro sistema fotovoltaico tenga un funcionamiento optimo. En la (Tabla 6) podemos apreciar que el mes con menor irradiación se da en enero con $173.85 \text{ kWh/m}^2/\text{mes}$ lo que equivale a $5.61 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ lo cual se traduce a una hora solar pico (HSP) de 5.61.

Además de esto debemos tener en cuenta el rendimiento global del sistema fotovoltaico (PR) de acuerdo con las características de la zona, de acuerdo con las pérdidas en el sistema y de acuerdo con la autonomía que se necesita para nuestro sistema.

5.4.5.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico usando cálculos matemáticos

Cálculo de cantidad de paneles solares a utilizar en el proyecto.

Para dimensionar nuestro generador fotovoltaico debemos tener en cuenta el PR que es el rendimiento global de nuestra instalación, según lo mencionado por Cantos (2016) este rendimiento global depende de varios parametros como las perdidas en el controlador, perdidas en el inversor, predidas en el sistema de acumulación y otras perdidas en el sistema.

Complementando lo mencionado anteriormente ADIEM (2002) menciona que los valores usuales son, en sistemas con inversor y batería, $PR \approx 0,6$. en sistemas con inversor, $PR \approx 0,7$. A efectos de cálculo vamos a utilizar en sistemas con inversor y batería $PR = 0,6$ y sistemas con inversor $PR = 0,7$.

Entonces de la demanda energetica expuesta en la (Tabla 7) calcularemos la verdadera demanda energetica que vamos a necesitar para nuestro sistema una vez aplicado el factor de rendimiento global, asi tenemos.

$$\begin{aligned} \text{Demanda Energetica Total} \left(\frac{Wh}{\text{dia}} \right) &= \frac{\text{Demanda Energetica Colegios}}{PR} = \frac{9218}{0.6} \\ &= 15363.33 \text{ Wh/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia del Generador FV} &= \frac{\text{Demanda Energetica Colegios} \left(\frac{Wh}{\text{dia}} \right) / PR}{\text{Hora Solar Pico} \left(\frac{h}{\text{dia}} \right)} \\ &= \frac{9218/0.6}{5.61} = 2738.56 \text{ W} \approx 2740 \text{ W} \end{aligned}$$

Además de conocer la potencia que deberá tener nuestro sistema es importante determinar la tensión nominal de nuestro sistema en general ya que de esto dependerá la selección tanto de los módulos fotovoltaicos, las baterías, el controlador y el inversor, para determinar la tensión optima del sistema Cantos (2016) nos menciona que para sistemas con una carga que se encuentra en el rango de 2500 W y 5000W es recomendable usar un

sistema de 48 V. Entonces de acuerdo a esto la tensión general de nuestro sistema será de 48 V.

Una vez conocido la capacidad que tendrá nuestro sistema fotovoltaico y la tensión del sistema con la cual se va a trabajar lo que toca ahora es seleccionar la tecnología de panel solar y sistema de acumulación a elegir, para ello vamos a analizar dos alternativas expuestas en la comparativa de tecnologías.

Alternativa 1.

Para esta alternativa vamos a escoger las tecnologías más económicas dentro del mercado de sistemas fotovoltaicos, es así como usaremos un panel con tecnología policristalina y un sistema de acumulación de plomo ácido.

Las características del panel solar con tecnología policristalina a elegir se mencionaron en la comparativa de tecnologías y los principales parámetros que tenemos son tensión de 24 V, potencia máxima (P_{max}) de 340 W, corriente de máxima potencia (I_{pm}) de 8.84 A y una tensión de máxima potencia (V_{pm}) de 38.5 V, Corriente de cortocircuito (I_{sc}) de 9.45 A y una tensión de circuito abierto (V_{oc}) de 46.4 V, datos que se pueden apreciar en la (Figura 15) que vemos a continuación.

ELECTRICAL PERFORMANCE	
Module type: ESPMC	340
Maximum Power(Wp)	340W
Open circuit Voltage(Voc)	46.4V
Short circuit Current(Isc)	9.45A
Maximum Power Voltage(Vm)	38.5V
Maximum Power Current(Imp)	8.84A
Module efficiency	17.5%
Maximum Series Fuse	15A
Watts positive tolerance	0~+3%
Number of Diode	3
Standard Test Conditions	1000W/M ² ,25°C,AM1.5
Maximum System Voltage	1000V/DC
Temperature-Coefficient Isc	+0.08558%/°C
Temperature-Coefficient Uoc	-0.29506%/°C
Temperature-Coefficient Pmpp	-0.38001%/°C
Normal Operating Cell Temperature	-40°C...+85°C
Load Capacity for the cover of the module (glass)	5400Pa(IEC61215)(snow)
Load Capacity for the front & back of the module	2400Pa(IEC61215)(wind)
Product Certificate	TUV(IEC 61215,IEC 61730),CE,ROHS,PID Resisitant,INMETRO
Company Certificate	ISO9001,ISO14001,ISO18001

Figura 15: Características Técnicas del Módulo Fotovoltaico Policristalino

Fuente: Autosolar Perú, 2023.

Es importante mencionar que los valores mostrados en el datasheet de los paneles solares son valores que han sido obtenidos bajo condiciones estándar de funcionamiento, es decir con una radiación hipotética de 1000 W/m² y una temperatura ambiente de 25 °C, para ver el comportamiento real de un panel solar es necesario ver las pérdidas que tendrá está bajo las condiciones climáticas de nuestra zona de trabajo para lo cual usando los valores proporcionados en la ficha técnica, los valores de temperatura de nuestra zona de trabajo mencionada en la (Tabla 5) y las fórmulas expuestas en la parte teórica procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

Temperatura Máxima de Operación de las Celdas

$$T_{cm\acute{a}x} = T_a + G_x \frac{TNOCT - 20}{800}$$

$$T_{cm\acute{a}x} = 21 + 1000x \frac{45 - 20}{800} = 52.71^{\circ}C$$

Ahora haciendo uso de fórmulas mencionadas en la parte teórica, usando los datos de la ficha técnica de nuestro panel, así como los valores de temperatura expuestas en la (Tabla 5) calcularemos las variaciones de potencia, corriente y voltaje.

- $\Delta P_{m\acute{a}x} = (T_{cm\acute{a}x} - 25)^{\circ}C * Coef.T_{pm\acute{a}x} \%/^{\circ}C$

$$\Delta P_{m\acute{a}x} = (52.71 - 25) * -0.38001 = -10.53\%$$

- $\Delta V_{oc} = (T_{cmin} - 25)^{\circ}C * Coef.TV_{oc} \%/^{\circ}C$

$$\Delta V_{oc} = ((-6) - 25) * -0.29506 = 9.14\%$$

- $\Delta I_{sc} = (T_{cm\acute{a}x} - 25)^{\circ}C * Coef.TI_{sc} \%/^{\circ}C$

$$\Delta I_{sc} = (52.71 - 25) * 0.08558 = 2.37\%$$

Con los valores obtenido ya podemos hallar nuestros valores de potencia, voltaje y corriente corregidos:

- $Pot.m\acute{a}x\ corregida = P_{m\acute{a}x} \left(1 + \frac{\Delta P_{m\acute{a}x}}{100}\right)$

$$Pot.m\acute{a}x\ corregida = 340 \left(1 + \frac{(-10.53)}{100}\right) = 304.2\ W$$

- $V_{oc}\ corregido = V_{oc} \left(1 + \frac{\Delta V_{oc}}{100}\right)$

$$V_{oc}\ corregido = 46.4 \left(1 + \frac{9.14}{100}\right) = 50.64\ V$$

- $I_{sc}\ corregido = I_{sc} \left(1 + \frac{\Delta I_{sc}}{100}\right)$

$$I_{sc}\ corregido = 9.45 \left(1 + \frac{2.37}{100}\right) = 9.67\ A$$

Una vez conocido los valores de potencia, voltaje y corriente corregidos y habiendo obtenido la potencia que debe tener nuestro sistema una vez aplicado el factor de rendimiento global de la instalación, procedemos a calcular la cantidad de paneles que vamos a necesitar con esta tecnología.

$$\text{Cantidad de Paneles Solares} = \frac{\text{Pot del sistema}}{\text{Potencia del Panel}} = \frac{2740}{304.2} = 9.07 \approx 10$$

Cantidad de paneles solares en Serie.

$$N^{\circ} P_s = \frac{V_{nom}}{V_{pm}} = \frac{48 V}{38.5 V} = 1.246 \approx 2$$

Cantidad de paneles solares en paralelo.

$$N^{\circ} P_p = \frac{\text{Pot. del sistema}}{\text{Ptencia del Panel} \times N^{\circ} P_s} = \frac{2740 W}{304.2 W * 2} = 4.5 \approx 5$$

Como podemos ver de acuerdo con la potencia que necesitamos suministrar vamos a necesitar un arreglo de 5 en paralelo y 2 paneles en serie, dando un total de 10 módulos, finalmente la potencia real entregada por nuestro arreglo de paneles será de 3042 W.

Cálculo del sistema de Acumulación de Energía (Baterías)

$$\begin{aligned} \text{Capacidad bateria (Ah)} &= \frac{\text{Demanda Energetica Total} \times \text{Dias de autonomia}}{V \text{ sistema} \times PD} \\ &= \frac{15363.33 * 0.5}{48 * 0.6} = 266.72 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Ahora conociendo la capacidad que debe que tener nuestro sistema de acumulación, en este caso vamos a escoger la tecnología en baterías más económica dentro del mercado, nos referimos a las baterías de plomo acido para lo cual usaremos esta tecnología expuesta en la comparativa de tecnologías, se trata de una batería de 12 V y 240 Ah, es así como tenemos.

Cantidad de baterías en serie:

$$\text{Cant. Bat. Serie} = \frac{V \text{ sistema}}{V \text{ bateria}} = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

Cantidad de baterías en paralelo:

$$Cant. Bat. Paralelo = \frac{Capacidad\ bateria\ (Ah)}{Cap. bateria\ elegida\ (Ah)} = \frac{266.72\ Ah}{240\ Ah} = 1.1 \approx 1$$

Utilizando este tipo de baterías necesitaríamos 4 baterías trabajando al límite, usando la ficha técnica de este tipo de baterías que podemos ver en la (Figura 16), podemos calcular el tiempo de vida aproximado y los cambios que se tendrían que hacer a lo largo de vida útil de este tipo de proyectos (25 a 30 años).

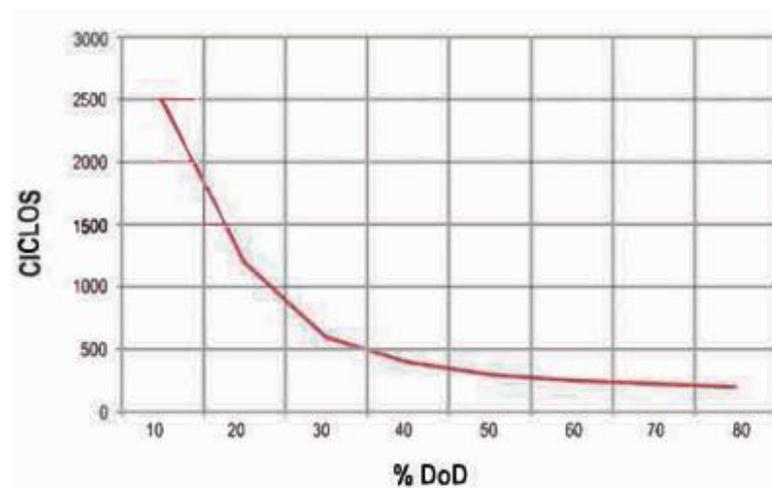


Figura 16: Ciclo de vida de una batería de Plomo Acido en función a la profundidad de descarga. Fuente: Autosolar España, 2023.

Utilizando una profundidad de descarga de 50 % podemos ver que la vida útil de este tipo de batería esta alrededor de los 300 ciclos, entonces considerando una carga y descarga diaria tendríamos:

$$\#Años\ vida = \frac{300\ ciclos}{365\ \frac{ciclos}{año}} = 0.82\ años$$

Podemos ver que este tipo de baterías en el mejor de los casos tendría una duración aproximada de un año, aunque si disminuimos la capacidad de descarga podríamos decir que fácilmente llega a los 2 o 3 años de vida útil. Como podemos ver este tipo de batería posee bajos ciclos de vida, lo cual da a entender que para todo el ciclo de vida de nuestro sistema fotovoltaico se

necesitará cambiar varias veces, si bien es cierto que este tipo de baterías es muy económico también hay que mencionar que es un tipo de batería que requiere mantenimiento lo cual hace de esta una alternativa poco atractiva ya que, en las zonas rurales debido al difícil acceso, las tareas de mantenimiento son escasas.

Resulta de suma importancia conocer las tecnologías con las que se va a trabajar y el comportamiento de cada componente bajo las condiciones climáticas de nuestra zona de trabajo es así como analizaremos una segunda alternativa más eficiente y que guarde criterios de confiabilidad, óptima operación y eficiencia.

Alternativa 2.

Según lo expuesto en la parte teórica y conociendo la radiación solar y temperatura promedio del lugar, esta vez vamos a trabajar con la tecnología monocristalina debido a que este tipo de tecnología se comporta muy bien en zonas con temperaturas bajas, además este tipo de tecnología ofrece una mayor eficiencia incluso en días en los que no se cuente con demasiada radiación solar, de la comparativa de precios entre un panel solar monocristalino común y otro monocristalino PERC con célula partida optaremos por un panel solar con tecnología PERC y célula partida debido a que los precios no distan demasiado y la eficiencia ofrecida por esta tecnología es superior.

Usaremos un panel solar de 24 V con tecnología monocristalina PERC célula partida de la marca JA SOLAR cuyas características técnicas vemos en la (Figura 17) que tenemos a continuación, los cuales serán muy importantes para realizar las correcciones de potencia y corriente de nuestro modulo influenciada por la temperatura.

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC							OPERATING CONDITIONS	
TYPE	JAM72S20 -445MR	JAM72S20 -450MR	JAM72S20 -455MR	JAM72S20 -460MR	JAM72S20 -465MR	JAM72S20 -470MR		
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31	Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69	Maximum Series Fuse Rating	20A
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53	Maximum Static Load,Front*	5400Pa(112 lb/ft²)
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01	Maximum Static Load,Back*	2400Pa(50 lb/ft²)
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2	NOCT	45±2 C
Power Tolerance			0→±5W				Safety Class	Class II
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})			+0.044%/C				Fire Performance	UL Type 1
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})			-0.272%/C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})			-0.350%/C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G							

Figura 17. Características Técnicas del Módulo Fotovoltaico Monocristalino
Fuente: Autosolar Perú, 2023.

Las características más importantes de nuestro panel son, tensión de 24 V, potencia máxima (Pmax) de 455 W, corriente de potencia máxima (Ipm) de 10.88 A y un voltaje de potencia máxima (Vpm) de 41.81 V, Corriente de cortocircuito (Isc) de 11.41 A y una tensión de circuito abierto (Voc) de 49.85V.

Ahora calcularemos la temperatura de operación de la celda para lo cual usaremos en dato TNOCT proporcionado en la ficha técnica y el valor de temperatura máxima de la (Tabla 5) usando la siguiente formula.

Temperatura Máxima de Operación de las Celdas

$$T_{cm\acute{a}x} = T_a + G_x \frac{TNOCT - 20}{800}$$

$$T_{cm\acute{a}x} = 21 + 1000x \frac{45 - 20}{800} = 52.71^{\circ}C$$

Utilizando las fórmulas mencionadas en la parte teórica y usando los datos de la ficha técnica de nuestro panel, así como los valores de temperatura expuestas en la (Tabla 5) calcularemos las variaciones de potencia, corriente y voltaje.

- $\Delta P_{m\acute{a}x} = (T_{cm\acute{a}x} - 25)^{\circ}C * Coef. T_{p_{m\acute{a}x}} \%/^{\circ}C$

$$\Delta P_{m\acute{a}x} = (52.71 - 25) * -0.35 = -9.7\%$$

- $\Delta V_{oc} = (T_{cmin} - 25)^{\circ}C * Coef. T_{V_{oc}} \%/^{\circ}C$

$$\Delta Voc = ((-6) - 25) * -0.272 = 8.45\%$$

- $\Delta Isc = (T_{cm\acute{a}x} - 25)^\circ C * Coef. TIsc \% / ^\circ C$

$$\Delta Isc = (52.71 - 25) * 0.044 = 1.22\%$$

Con los valores obtenidos ya podemos hallar nuestros valores de potencia, voltaje y corriente corregidos:

- $Pot. \acute{m}ax \text{ corregida} = P_{m\acute{a}x} \left(1 + \frac{\Delta P_{m\acute{a}x}}{100}\right)$

$$Pot. \acute{m}ax \text{ corregida} = 455 \left(1 + \frac{(-9.7)}{100}\right) = 410.87 \text{ W}$$

- $Voc \text{ corregido} = Voc \left(1 + \frac{\Delta Voc}{100}\right)$

$$Voc \text{ corregido} = 49.8 \left(1 + \frac{8.45}{100}\right) = 54.06 \text{ V}$$

- $Isc \text{ corregido} = Isc \left(1 + \frac{\Delta Isc}{100}\right)$

$$Isc \text{ corregido} = 10.36 \left(1 + \frac{1.22}{100}\right) = 11.55 \text{ A}$$

Con los datos de potencia corregidos y conociendo nuestra demanda de energa, potencia del sistema una vez aplicado el factor de rendimiento global y tensi3n escogida pasamos a calcular la cantidad de m3dulos fotovoltaicos, as3 como el arreglo de estos.

$$Cantidad \text{ de Paneles Solares} = \frac{Pot \text{ del sistema}}{Potencia \text{ del Panel}} = \frac{2740}{410.87} = 6.66 \approx 8$$

Cantidad de paneles solares en Serie.

$$N^\circ Ps = \frac{V_{nom}}{V_{pm}} = \frac{48 \text{ V}}{41.81 \text{ V}} = 1.148 \approx 2$$

Cantidad de paneles solares en paralelo.

$$N^\circ Pp = \frac{Pot. \text{ del sistema}}{Potencia \text{ del Panel} \times N^\circ Ps} = \frac{2740 \text{ W}}{410.87 \text{ W} * 2} = 3.34 \approx 4$$

Como podemos ver de acuerdo con la potencia que necesitamos suministrar vamos a necesitar un arreglo de 4 en paralelo y 2 paneles en serie, dando en total 8 paneles, finalmente la potencia real entregada por nuestro arreglo de paneles será de 3287 W.

Con las características de potencia del módulo fotovoltaico y la esta cantidad de módulos fotovoltaicos dimensionados la producción anual del arreglo fotovoltaico como podemos ver en la (Tabla 12) será de 8015.15 kWh/año.

Tabla 12: Producción Anual del Sistema Solar Fotovoltaico Off-Grid

MES	Nº de días	kWh/m2/día	kWh/día	kWh/sem	kWh/mes
Enero	31	5.61	18.43	129.04	571.44
Febrero	28	8.14	26.76	187.35	749.42
Marzo	31	5.72	18.79	131.54	582.53
Abril	30	6.46	21.24	148.69	637.24
Mayo	31	6.11	20.09	140.61	622.71
Junio	30	6.41	21.09	147.60	632.56
Julio	31	7.52	24.72	173.03	766.26
Agosto	31	7.35	24.17	169.18	749.21
Setiembre	30	7.19	23.64	165.51	709.32
Octubre	31	6.52	21.44	150.09	664.67
Noviembre	30	6.12	20.13	140.89	603.81
Diciembre	31	7.12	23.42	163.93	725.98
PROMEDIO		6.69	21.99	153.95	667.93
				TOTAL ANUAL (kWh/año)	
				8015.15	

Cálculo del sistema de Acumulación de Energía (Baterías)

$$Capacidad\ bateria\ (Ah) = \frac{Demanda\ Energetica\ Total\ x\ Dias\ de\ autonomia}{V\ sistema\ x\ PD}$$

$$= \frac{15363.33 * 0.5}{48 * 0.6} = 266.72\ Ah$$

Ahora conociendo la capacidad que debe que tener nuestro sistema de acumulación, tenemos que escoger una batería entre las tecnologías existentes, para ello hay tener en cuenta el precio, la ficha técnica y utilización de las baterías, vida útil y facilidad en mantenimientos. Para ello realizaremos

el cálculo usando dos tipos de baterías con diferente característica técnica y diferente precio.

Opción A: Batería en Gel de la marca Tensite con una tensión de 12 V y una capacidad de 300 Ah.

Cantidad de baterías en serie:

$$Cant. Bat. Serie = \frac{V sistema}{V bateria} = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

Cantidad de baterías en paralelo:

$$Cant. Bat. Paralelo = \frac{Capacidad bateria (Ah)}{Cap. bateria elegida (Ah)} = \frac{266.72 Ah}{300 Ah} = 0.89 \approx 1$$

Utilizando este tipo de baterías necesitaríamos un total de 4 baterías, usando la ficha técnica de este tipo de baterías que podemos ver en la (Figura 18), podemos calcular el tiempo de vida aproximado y los cambios que se tendrían que hacer a lo largo de vida útil de este tipo de proyectos (25-30 años).

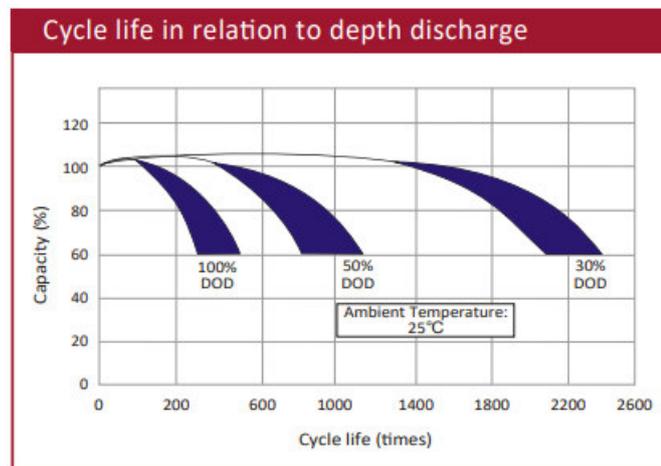


Figura 18. Curva correspondiente a la batería de Gel de la marca TENSITE, cantidad de ciclos vs la descarga de la batería. Fuente: Ficha técnica Tensite Gel 12-300, Autosolar Perú.

Utilizando una profundidad de descarga de 50 % podemos ver que la vida útil de esta tecnología de batería esta alrededor de los 1200 ciclos, entonces considerando una carga y descarga diaria tendríamos:

$$\#Años\ vida = \frac{1200\text{ ciclos}}{365\frac{\text{ciclos}}{\text{año}}} = 3.28\text{ años}$$

Podemos ver que este tipo de baterías en el mejor de los casos tendría una duración aproximada de 4 años, aunque si disminuimos la capacidad de descarga podríamos decir que fácilmente llega a los 7 años de vida útil.

Opción B: Batería estacionarias TUDOR Enersol T-1000, batería de plomo-ácido con electrolito líquido, con una tensión de 2 V y una capacidad de 1025 Ah.

Cantidad de baterías en serie:

$$Cant.\text{ Bat. Serie} = \frac{V\text{ sistema}}{V\text{ bateria}} = \frac{48\text{ V}}{2\text{ V}} = 24$$

Cantidad de baterías en paralelo:

$$Cant.\text{ Bat. Paralelo} = \frac{Capacidad\ bateria\ (Ah)}{Cap.\text{ bateria\ elegida}\ (Ah)} = \frac{266.72\ Ah}{1050\ Ah} = 0.254 \approx 1$$

Usando este tipo de batería necesitaríamos 24 baterías en total, usando datos de la ficha técnica de este tipo de baterías que podemos ver en la (Figura 19), podemos calcular el tiempo de vida aproximado y los cambios que se tendrían que hacer a lo largo de vida útil de este tipo de proyectos (25-30 años).

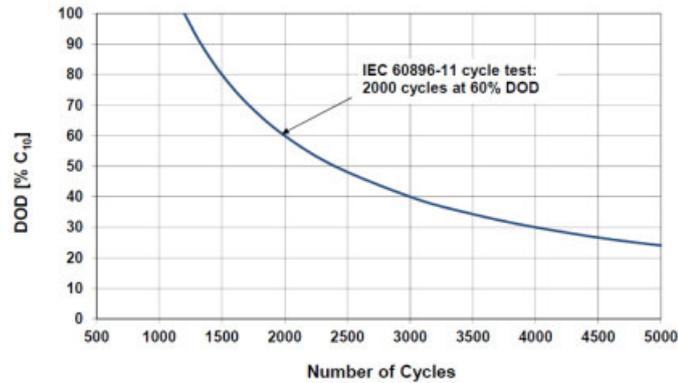


Figura 19. Curva de la batería estacionaria de plomo-ácido de la marca Enersol, ciclos de vida vs descarga de la batería. Fuente: Datasheet Enersol T-1000, Autosolar Perú.

La ventaja de este tipo de baterías es que nos ofrecen una mayor capacidad de descarga, utilizando una profundidad de descarga de 50 % como en el caso anterior podemos ver que la vida útil de este tipo de batería esta alrededor de los 2400 ciclos, entonces considerando una carga y descarga diaria tendríamos:

$$\#Años\ vida = \frac{2400\ \text{ciclos}}{365\ \frac{\text{ciclos}}{\text{año}}} = 6.57\ \text{años}$$

Podemos ver que este tipo de baterías considerando descargas diarias en el mejor de los casos tendría una duración aproximada de 7 u 8 años, aunque la ficha técnica homologa un aproximado de 15 años de vida útil funcionando a condiciones normales y evitando descargas profundas.

El dimensionamiento del regulador de carga, el inversor, el dimensionamiento de conductores y la distancia entre paneles para evitar sombras lo realizaremos para la Alternativa 2, ya que esta alternativa es la que mejor se adecua a los criterios de confiabilidad y eficiencia en la operación que estamos buscando.

Dimensionamiento del Controlador de Carga

Como los paneles solares tienen una corriente de cortocircuito corregida de 11.55 A y tenemos 4 paneles en paralelo, entonces la corriente total sería de

46.2 A, aplicando a esto un factor de seguridad de 25% tendremos lo siguiente:

$$Cap. controlador de carga = 46.2 * 1.25 = 57.75 A$$

Dimensionamiento del Inversor:

$$P_{inversor} = \sum P_{Ac} \times f.s = 2526 * 0.75 = 1894.5 W$$

Una vez conocida las capacidades que tienen que tener el controlador de carga y el inversor tenemos que escoger la tecnología que más se adecue a nuestras necesidades y a nuestro tipo de carga, teniendo en cuenta la eficiencia de los equipos y los costos asociados a este; de la comparativa de tecnologías podemos ver que para la demanda de energía de nuestra instalación resulta factible utilizar un controlador-inversor de tecnología MPPT, esto nos ayudará a maximizar el rendimiento de nuestra instalación evitando pérdidas entre un controlador e inversor comunes, además de ello el inversor tiene la característica de ser de onda pura lo cual es ideal para el tipo de cargas que deseamos alimentar, también el controlador asociado tiene la característica de ser MPPT haciendo que la carga y descarga de baterías sea óptima y garantiza un mejor aprovechamiento de la producción de energía de nuestros paneles.

Dimensionamiento de los conductores:

Para determinar las secciones de los cables por tramo haremos uso de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\% (V_a - V_b)}$$

Usando una conductividad del cobre (ρ) de $0.022 \text{ mm}^2\Omega/\text{m}$ y usando los datos de caída de tensión máxima admisible según Cantos (2016) los resultados los podemos apreciar en la (Tabla 13).

Tabla 13: Cálculo de la Sección de Conductores por Tramo

COMPONENTE 1	COMPONENTE 2	Longitud (m)	Máxima Caída de Tensión Admisibl e	I (A)	V	S (mm ²)	AW G
		7	5%	46.2	48	5.93	10
Generador	Regulador			0			
		4	3%	46.2	48	5.65	10
Regulador	Baterías			0			
		6	3%	41.6	48	7.64	8
Batería	Inversor			7			
		45	5%	52.6	22	9.47	8
Inversor	Tablero TD			3	0		

Nota. En la tabla podemos ver la selección de la selección de los conductores por cada tramo, respetando las caídas de tensión admisibles.

Cálculo de la distancia entre paneles para evitar las sombras

Para realizar este cálculo es necesario hacer uso de la formula mencionada en la parte teórica, además es necesario obtener la Carta Solar del lugar donde se está enfocando el proyecto, dicha carta solar la podemos apreciar en la (Figura 20).

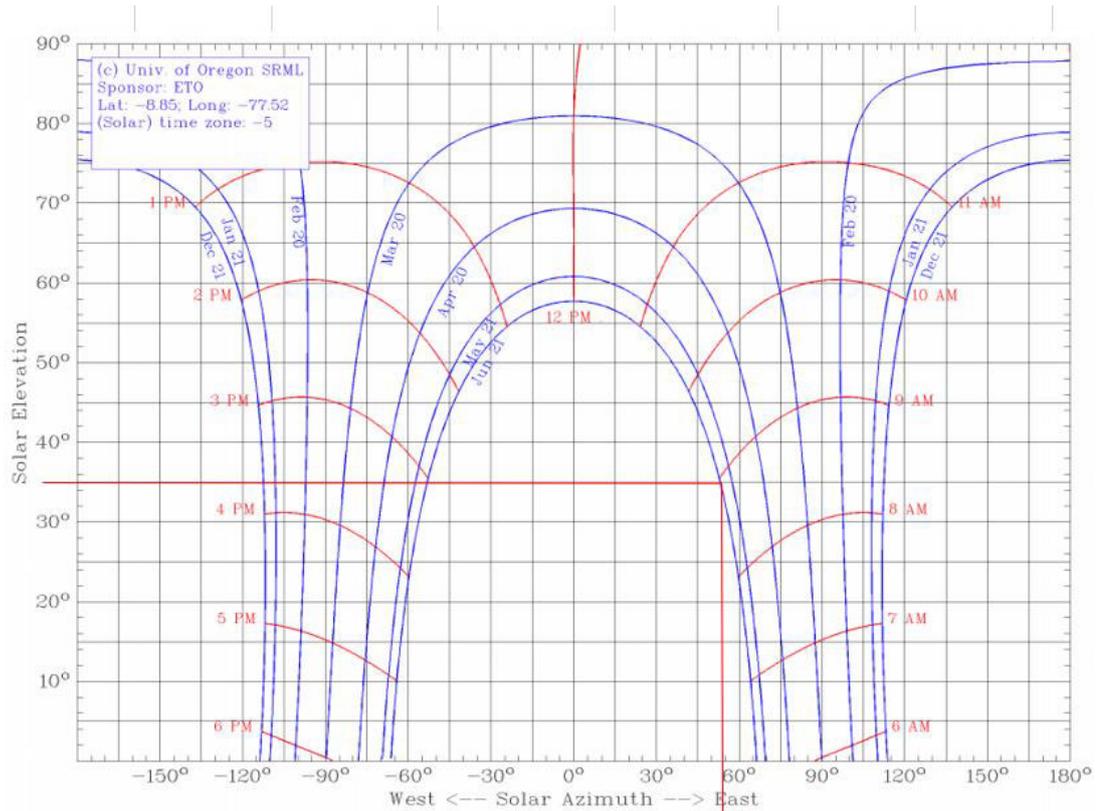


Figura 20: Carta Solar Jancapampa. Fuente: Adaptado de *Solar Radiation Monitoring Laboratory*, Universidad de Oregon, 2023.

De la carta solar correspondiente a la comunidad de Jancapampa podemos ver que tenemos una elevación solar de 35° , un ángulo de azimut solar de 60° , además contamos con la inclinación óptima del panel solar que son 15° y teniendo la medida del largo del panel 2.112 m procedemos a calcular la distancia mínima para evitar las sombras dentro de nuestro sistema fotovoltaico para lo cual consideraremos una distancia sobre el piso de 1 m.

$$D_s = \frac{2.112 \text{ m} * \text{sen } 15^\circ * \text{cos } 60^\circ}{\text{tan } 35^\circ} = 1.104 \text{ m}$$

Añadiendo un factor de seguridad de 15 % para nuestra instalación tenemos que la distancia mínima sería 1.27 m \approx 1.3 m.

Área aproximada que ocupará el sistema fotovoltaico

De la ficha técnica del panel tenemos que cada módulo fotovoltaico tiene las siguientes dimensiones. Alto de 2112 mm, largo de 1052 mm y un ancho de

35 mm; como tenemos ocho paneles con 4 arreglos en paralelo y dos en serie y una distancia para evitar pérdidas por sombras de 1.3 m.

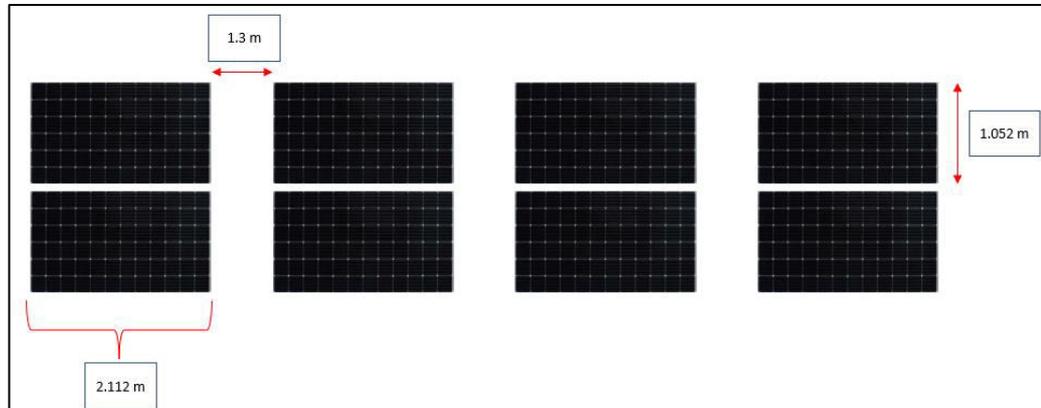


Figura 21: Vista de Planta del Arreglo Fotovoltaico. Fuente: Elaboración Propia

De la figura podemos calcular el área aproximada de nuestro arreglo fotovoltaico para evitar pérdidas por sombreado de la siguiente manera.

$$\text{Area aprox} = 2.112 \text{ m} \times 1.052 \text{ m} \times 8 + 1.3 \times 1.052 \text{ m} \times 2 \times 3 = 25.9 \text{ m}^2$$

Entonces el área aproximada que ocupa el arreglo fotovoltaico es de aproximadamente 26 m².

5.4.5.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico usando el software PVsyst

Para el caso de cálculos matemáticos hemos recurrido a la herramienta de cálculo Excel, pero ahora haremos uso de un software de uso exclusivo para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos ya sea autónomos, conectados a red y sistemas para bombeo solar, es así que usaremos el software PVsyst en su versión 7.2, este es un software muy utilizado en la industria del diseño de instalaciones fotovoltaicas debido a su interfaz intuitiva y de fácil uso, este software nos ayudara a contrastar los valores obtenidos mediante cálculos matemáticos ya que este software trabaja con una base de datos amplia ya sea para datos de radiación solar o datos de equipos a usar en el dimensionamiento.

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	[-]	%
Enero	5.61	2.51	13.2	4.59	2.841	70.2
Febrero	8.14	2.24	13.6	4.10	2.858	73.1
Marzo	5.72	2.11	13.2	4.10	2.804	71.5
Abril	6.46	2.00	13.5	3.60	2.746	65.9
Mayo	6.11	1.68	14.2	4.10	2.571	53.7
Junio	6.41	1.65	13.1	3.60	2.457	45.6
Julio	6.45	1.63	13.8	3.60	2.449	42.6
Agosto	7.35	1.65	14.0	4.10	2.699	46.1
Septiembre	7.19	2.27	13.2	4.10	2.930	59.4
Octubre	6.52	2.48	14.8	4.10	2.938	57.9
Noviembre	6.12	2.33	13.7	4.60	2.994	60.1
Diciembre	7.12	2.32	13.3	4.10	2.937	65.1
Año	6.59	2.07	13.6	4.1	2.769	59.3

Figura 22: Datos de radiación solar obtenidos del software PVsyst. Fuente: PVsyst 7.2.

En la (Figura 22) podemos observar los datos climatológicos esenciales con los que se va a trabajar, estos datos han sido obtenidos del software PVsyst, pero para una mayor confiabilidad y para contrastar los valores obtenidos en

el dimensionamiento mediante cálculos matemáticos, hemos cargado los valores de radiación obtenidos de la base de datos de NREL. A partir de estos datos obtenidos con ayuda del software podemos ver que en la zona la menor radiación solar ocurre en el mes de enero con $5.61 \text{ W/m}^2/\text{día}$, esto debido a que en dicho mes esta parte del país se encuentra en temporada de invierno con lluvias y nubosidad constante.

Una vez obtenido los datos de recurso solar en el punto de estudio lo que corresponde ahora es indicar la demanda energética de las instituciones educativas, es así como en la (Figura 23) podemos ver la demanda energética de ambas instituciones y el perfil de consumo energético de las instituciones.

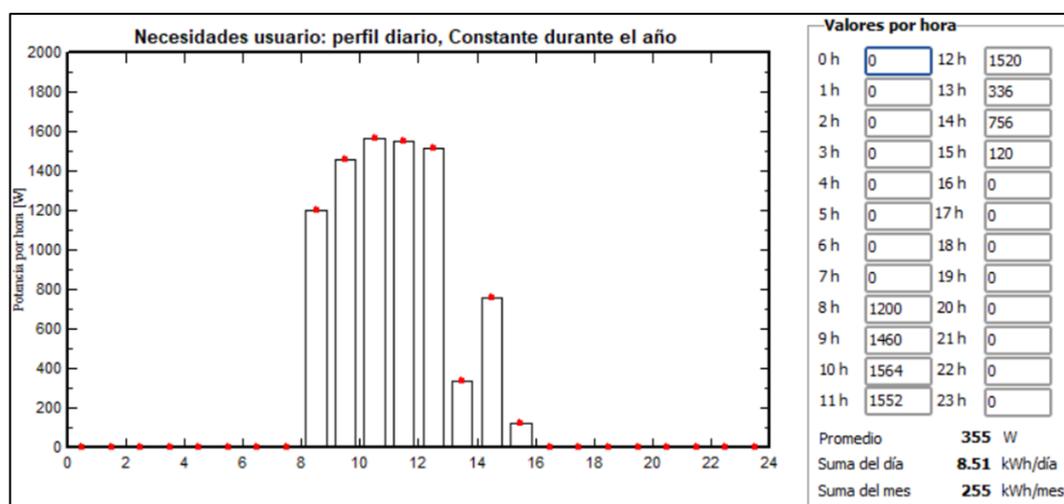


Figura 23: Perfil diario de Consumo de las Instituciones Educativas. Fuente: Adaptado de PVsyst 7.2

En la figura anterior podemos apreciar el perfil de carga de las instituciones educativas, vemos que el mayor consumo energético se da entre las 8 a.m. y las 13 p.m. esto debido a que se trata de una institución estatal cuyo horario de trabajo está comprendido entre esas horas.

Una vez indicado las características de consumo energético de las instituciones, ahora lo que toca es escoger la inclinación de nuestro sistema, también debemos escoger los equipos con los que se va a trabajar, equipos que se encuentren en la base de datos del Software y que se asemejen a los que hemos seleccionado en el dimensionamiento mediante cálculos

matemáticos, es así que nuestra inclinación óptima de acuerdo a la latitud del lugar y de acuerdo a las recomendaciones de Cantos (2016) será de 15° y los equipos a usar son similares a los escogidos en el dimensionamiento usando cálculos matemáticos.

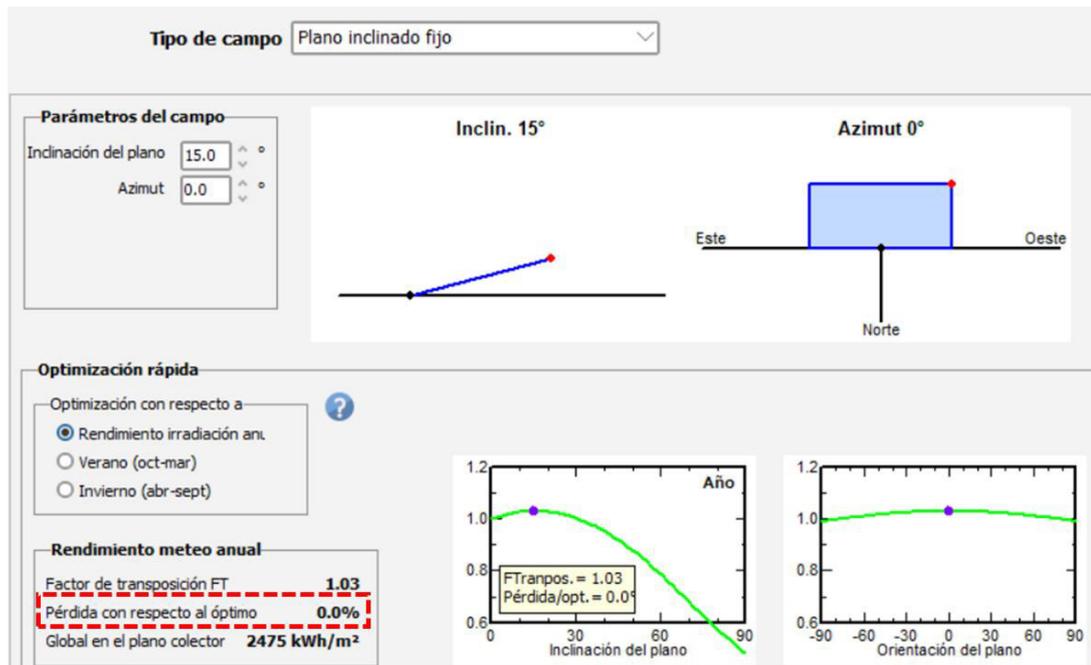


Figura 24: Inclinación Óptima del Sistema Fotovoltaico. Fuente: Adaptado de PVsyst 7.2

En la (Figura 24) podemos ver que usando una inclinación óptima de 15° según la latitud de la zona de trabajo, obtenemos 0% de pérdidas y un buen aprovechamiento del recurso solar.

Una vez indicados todos los datos necesarios realizamos la simulación, obteniendo los siguientes resultados.

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	proporción
Enero	218.9	187.4	590.0	284.3	0.000	263.7	263.7	1.000
Febrero	189.9	171.6	532.5	255.7	0.000	238.2	238.2	1.000
Marzo	202.9	193.5	601.9	296.0	0.000	263.7	263.7	1.000
Abril	196.0	199.7	618.3	317.6	0.000	255.2	255.2	1.000
Mayo	196.6	212.2	656.4	339.6	0.000	263.7	263.7	1.000
Junio	189.6	210.1	654.0	353.3	0.000	255.2	255.2	1.000
Julio	193.8	212.4	661.7	348.8	0.000	263.7	263.7	1.000
Agosto	199.1	208.4	649.2	338.9	0.000	263.7	263.7	1.000
Septiembre	183.8	179.9	561.2	262.5	0.000	255.2	255.2	1.000
Octubre	182.1	166.8	520.4	217.6	0.000	263.7	263.7	1.000
Noviembre	189.1	163.0	510.8	220.8	0.000	255.2	255.2	1.000
Diciembre	198.1	166.1	522.8	229.1	7.630	256.1	263.7	0.971
Año	2339.9	2270.9	7079.2	3464.3	7.630	3097.8	3105.4	0.998

GlobHor - Irradiación horizontal global
 GlobEff - Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 E_Avail - Energía solar disponible
 EUnused - Energía no utilizada (batería llena)
 E_Miss - Energía faltante
 E_User - Energía suministrada al usuario
 E_Load - Necesidad energética del usuario (Carga)
 SolFrac - Fracción solar (EUtilizada / ECarga)

Figura 25: Resultados principales de la simulación en PVsyst. Fuente: Adaptado de PVsyst 7.2.

En la (Figura 25) podemos ver datos relacionados con la energía generada por el sistema fotovoltaico, vemos que no hay Energía Faltante (E_Miss) durante casi todo el año y el único mes que tenemos falta de energía es en el mes de diciembre, esto se puede explicar debido a que en este mes la zona en estudio se encuentra bajo constantes lluvias y nubosidad constante, para entender de mejor manera esta pequeña pérdida podemos ver la (Figura 26) que tenemos a continuación.

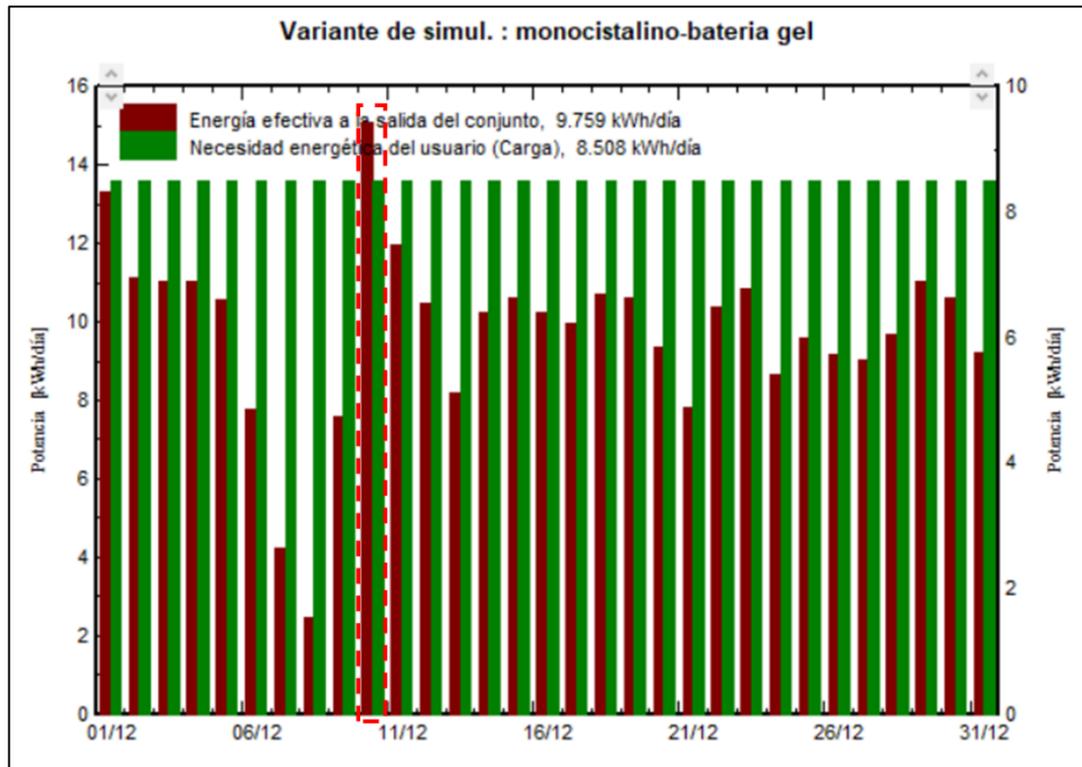


Figura 26: Energía suministrada por el conjunto Fotovoltaico vs Necesidad Energética del Usuario mes de diciembre. Fuente: Adaptado de PVsyst 7.2.

En la figura anterior podemos ver el faltante de energía en un día específico del mes de diciembre día 10, lo que hace explica el faltante de energía mínima que podemos ver en la (Figura 25), pero vemos también en la (Figura 25) que durante todo el año tenemos energía no utilizada, lo cual nos lleva a decir que se puede ampliar la cantidad de carga en las instituciones con el mismo arreglo fotovoltaico.

5.5 Análisis Económico

En la problemática del trabajo mencionamos que los padres de familia y profesores de las instituciones tienen pensado comprar un Grupo electrógeno que pueda suministrar energía eléctrica a las instituciones, ante esto se propuso el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que pueda realizar la tarea de suministrar energía eléctrica a ambas instituciones y es así como en esta parte veremos el análisis económico de un sistema fotovoltaico off-grid frente al uso de un grupo electrógeno.

5.5.1 Costo de la implementación del Sistema Fotovoltaico Off-Grid

Los principales componentes del sistema fotovoltaico escogido los podemos ver en la (Tabla 14) que tenemos a continuación, estos componentes han sido escogidos basándonos en las características de operación, eficiencia, costos de mantenimiento y basándonos en las condiciones ambientales del lugar de trabajo.

Tabla 14: Presupuesto del Sistema Fotovoltaico Off-Grid

COSTO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES				
COMPONENTE	CARACTERISTICAS	C/U (S/)	CANTIDAD	SUBTOTAL (S/)
Panel Solar	Ja Solar/Monocristalino Perc Célula Partida 455 W	685.52	8	5,484.16
Controlador/Inversor	Must PV18-3048VHM	2,254.74	1	2,254.74
Batería	Tensite GEL 12-300	1,247.57	4	4,990.28
Estructura de soporte		800	1	800
Total (S/)				13,529.18
COSTO DE LOS MATERIALES COMPLEMENTARIOS				
COMPONENTE	CARACTERISTICAS	C/U (S/)	CANTIDAD	SUBTOTAL (S/)
Termomagnético 63A 600Vdc 2P ZJ Beny	Beny	86.51	1	86.51
Fusible DC 63A 22x58	DC Solar Energy	20.71	2	41.42
Porta fusible DC 22x58	DC Solar Energy	83.39	2	166.78
Caja Combinadora		120.00	2	240.00
Conductores (Rollo)		380.00	3	1,140.00
Conectores y otros		8.05	5	40.25
Tablero de Distribución Adosable	8 polos IP65 ID	180.00	1	180.00
Puesta a Tierra		900.00	1	900.00
Total (S/)				2,794.96
TOTAL (S/)				16,324.14

Nota. Presupuesto de los equipos requeridos para la implementación del Sistema Fotovoltaico Off-Grid para los colegios de la comunidad Jancapampa. Adaptado de AutoSolar Perú y Panel Solar Perú, 2023.

Dotación de energía mediante la utilización de grupo electrógeno.

Tabla 15: Presupuesto Referencial para el Suministro de Energía eléctrica mediante un Grupo electrógeno

COMPONENTE	MARCA/CARACTERIS TICA	C/U (S/)	CANTIDA D	SUBTOTAL (S/)
Grupo electrógeno (GE)	Generador Gasolina 3000W Bauker	1,784.9	1	1,784.9
Tanque almacenamiento 18 Galones	Moeller Depósito Combustible Portátil	1,050	1	1,050
Tablero de Distribución	Tablero Empotrable PVC con tapa 8 polos	40	2	80
Protección	BTICINO/Interruptor Termomagnético 2x32A 220V-10KA	46	2	92
Conductores (Rollo)	CELSA/Cable THW-90 450/750 V 14 AWG	139	2	278
TOTAL (S/)				3,284.90

Nota. Presupuesto para dotación de energía eléctrica a través de un grupo electrógeno. Costos tomados de PROMART HOMECENTER, 2023.

Es importante mencionar que el costo total contenido en las Tablas 14 y 15 es referido únicamente a costos de inversión, para el análisis económico debemos tener en cuenta los costos de operación y mantenimiento de cada opción analizada.

5.5.2 Análisis de costos de operación y mantenimiento.

Para realizar este análisis hay que tener en cuenta el tiempo de vida útil de cada tecnología, en el caso de un sistema fotovoltaico Autosolar (2023) nos menciona que “el aproximado de vida útil de los paneles es de 25 años, pero con mantenimiento adecuado, se pueden prolongar a más de 30 años”. Sin embargo, los componentes como baterías de acuerdo con lo explicado en la parte teórica pueden llegar a un tiempo de vida aproximada de 8 años, inversor y controlador a un tiempo de vida de 10 años.

En el caso de un grupo electrógeno AGRESA (2021) nos menciona que si nos referimos al tiempo de vida útil de un modelo estandar, esta puede variar entre 2.000 y 9.000 horas.

En la (Tabla 16) podemos ver todo lo mencionado en los párrafos precedentes y además podemos apreciar datos de porcentaje de envejecimiento de los módulos fotovoltaicos, ver datos de consumo de combustible del grupo electrógeno y costos relacionados al mantenimiento que en base a investigación realizada para sistemas fotovoltaicos pequeños es menor al 5% y para proyectos en general varia entre 5-8%.

Tabla 16: Datos Técnicos y Económicos Importantes acerca del Sistema Fotovoltaico y el Grupo electrógeno

DATOS DE FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR		
Envejecimiento año 1	2.50	%
Envejecimiento a partir del año 2	0.55	%
Envejecimiento al año 25	16	%
Costo de Mantenimiento	489.72	Soles/año
Tasa de descuento	10	%
Demanda de energía de los colegios	15363.33	Wh/día
Producción de energía al año 1	8015.15	kWh/año
DATOS DE FICHA TÉCNICA DEL GRUPO ELECTROGENO		
Costo de grupo electrógeno	3284.90	Soles
Autonomía del GE	6	horas
Uso diario	5	horas
Costo del Galón (3.78 L) de Gasolina	18.20	Soles
capacidad del GE	15	L
Consumo día del GE (galones)	3.31	Galones
Consumo día del GE	12.50	L/día
Costo diario del consumo del GE	60.19	Soles/día
Costo para el traslado de combustible por día	50	Soles/día
Costo anual del consumo del GE	18248.15	Soles/año
Costo de Mantenimiento	912.41	USD/año
Tasa de descuento	10	%
COSTO DE INVERSIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO		S/ 16324.14
COSTO DE INVERSIÓN DEL GRUPO ELECTROGENO		S/ 3284.90

Nota. Del resultado de la Tabla 13 y Tabla 14 se obtiene el Costo Total de inversión para cada alternativa. Datos obtenidos de las fichas técnicas de los equipos.

Los datos de la (Tabla 16) contienen datos de inversión inicial por cada alternativa y sumados a los costos de operación y mantenimiento van a ser la base para elaborar el Flujo de Caja.

5.6 Cálculo de Emisiones de CO2

El uso de Energía Renovables como la energía solar fotovoltaica reduce en gran medida la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que repercuten de manera negativa al calentamiento global que se vive hoy en día, es así que para este pequeño proyecto se va a calcular grosso modo la cantidad de CO2 que se emite al usar una tecnología que usa combustibles fósiles como es el caso de un grupo electrógeno para lo cual nos basaremos en el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Energía (RAGEI 2019).

Según MINAM (2023) el factor de emisión de la gasolina para motores es de 69300 kgCO2/TJ y el factor de conversión para la misma es de 1,18E-04 TJ/gal.

De los datos del grupo electrógeno y contando solo los días particulares de un año (261 días) tenemos que este equipo consume aproximadamente 863.91 gal/año.

Pasando a TJ por año tenemos:

$$\text{Consumo} = 863.91 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \times 1.18 \cdot 10^{-4} \frac{\text{TJ}}{\text{gal}} = 0.1019 \frac{\text{TJ}}{\text{año}}$$

Emisión de CO2:

$$\text{Emisión de CO2} = 0.1019 \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \times 69300 \frac{\text{kg CO2}}{\text{TJ}} = 7061.67 \frac{\text{kg CO2}}{\text{año}}$$

Según lo mencionado por (Garrett, 2023) un árbol absorbe aproximadamente entre 10kg y 30 Kg de CO2 al año, siendo así en el caso de usar un grupo electrógeno para dotar de energía a los colegios de la comunidad Jancapampa serían necesarios un aproximado de 353 árboles para suplir la emisión de CO2 generada por esta tecnología, todo esto se puede evitar usando las energías renovables y en este caso particular la energía solar fotovoltaica.

CAPITULO VI: RESULTADOS

6.1 Presentación y análisis de los resultados

6.1.1 Resultado del Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Off-Grid

El MINEM mediante el Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural, Resolución Directoral N° 003-2007-EM/DGE para el correcto dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados da algunos parámetros mínimos que se tienen que cumplir en la zona de trabajo, estos para metros las podemos ver en la (Figura 27) que tenemos a continuación.

Irradiancia solar mínima mensual anual	: 3,5 kWh/m ² -día
Irradiancia solar instantánea máxima anual	: 1 200 W/m ²
Humedad relativa	: 90 %
Rango de temperaturas ambiente	: -10 °C a 45 °C

Figura 27: Parámetros Básicos para una Instalación Fotovoltaica en Zonas Rurales. Fuente: RD N° 003-2007-EM/DGE

Basándonos en el requerimiento de parámetros mínimos para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico en zonas rurales podemos decir que la radiación solar con la cual estamos trabajando (5.61 kWh/m²/día) es bastante superior, esto hace posible que el aprovechamiento de energía por parte de los paneles solares sea óptimo.

En la tabla que tenemos a continuación podemos ver un resumen del consumo energético total de las instituciones, así como la potencia requerida por las instituciones una vez aplicado el factor de pérdidas (PR), también vemos las características de los componentes principales del sistema solar fotovoltaico escogido.

Tabla 17: Resumen de Resultados del Sistema Fotovoltaico Elegido

Descripción	
Demanda Total (Wh/día)	15363.33
Potencia requerida	Generador 2740 W
Panel Solar	Ja Solar/Monocristalino Perc Célula Partida 455 W
Controlador/Inversor	Must PV18-3048VHM
Baterías	Tensite GEL 12-300
Datos de Radiación (kWh/m ² /día)	5.61
Potencia total producida por el Arreglo Fotovoltaico	3287 W

En la (Tabla 17) podemos ver que se ha escogido un panel solar con tecnología monocristalina, esto debido a que este tipo de tecnología se comporta de manera adecuada en climas fríos como el que tenemos en la zona de trabajo, además la tecnología PERC ayuda a una mejor eficiencia de un módulo fotovoltaico y al ser de célula partida se comporta de manera adecuada en días con baja radiación evitando pérdidas por sombreado.

El sistema de acumulación seleccionado es ideal para este tipo de instalaciones aisladas y de difícil acceso, esto debido a que no requiere de mantenimiento y su tiempo de vida con respecto a una batería de plomo ácido es superior evitando cambios prematuros de este componente.

Del análisis de la simulación realizada con el software PVsyst 7.2 podemos ver que durante todo el año tenemos energía disponible y no utilizada, esto

nos da a entender que con el mismo sistema fotovoltaico podemos ampliar la carga en las instituciones.

De la evaluación de costos del sistema fotovoltaico off-grid frente a la adquisición y uso de un grupo electrógeno de similares características se puede ver que se gasta más en el sistema fotovoltaico off-grid, pero para elegir que tecnología a usar se deben tener en cuenta también los costos de operación y mantenimiento de cada alternativa; además hay que mencionar el criterio técnico de la operación de las dos tecnologías para el caso de un grupo electrógeno muy aparte de los costos de combustible se tiene que realizar cambios de aceite y mantenimiento a las piezas cada cierto tiempo y lo tiene que hacer un personal calificado, en el caso del sistema fotovoltaico una vez instalado y con una pequeña capacitación a los docentes y padres de familia se puede realizar el mantenimiento con mucha facilidad.

CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Análisis Económico

Para la evaluación económica de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico off-grid se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Vida Útil: 25 años
- ✓ Costo Inversión Total: S/. 16,324.14 (Incluido I.G.V)
- ✓ Tasa de descuento: 10%

7.2 Flujo de Caja

Este es un punto importante ya que nos da una señal de la capacidad que tiene nuestro sistema haciendo referencia a los ingresos y egresos que tendrá en los 25 años de vida útil aproximada para estos proyectos, en este caso vamos a considerar una tasa de descuento del 10% de costo de capital (taza que paga el banco Interbank por un depósito a plazo fijo, 2023).

En base a los ingresos y egresos de nuestro sistema, en la (Tabla 18) se tiene un flujo de caja positivo dándonos a entender que la implementación del sistema fotovoltaico off grid con estas características es factible frente a la alternativa del grupo electrogeno.

Tabla 18: Flujo de Caja del Sistema Fotovoltaico Seleccionado (Elaboración propia)

AÑO	INGRESOS gasto GE	ENERGÍA GENERADA - kWh/año	EGRESOS Gasto Panel	INVERSIÓN	GASTOS X MTTO.	FLUJO DE CAJA ECONÓMICO	FLUJO DE CAJA ACUMULADO
0	3284.9	0	16324.14	0.00	0	-13039.24	-13039.24
1	19160.56	8015.15	489.72	0	489.72	18670.84	5631.60
2	19160.56	7971.07	489.72	0	489.72	18670.84	24302.43
3	19160.56	7927.23	489.72	0	489.72	18670.84	42973.27
4	19160.56	7883.63	489.72	0	489.72	18670.84	61644.10
5	19160.56	7840.27	489.72	0	489.72	18670.84	80314.94
6	19160.56	7797.15	489.72	0	489.72	18670.84	98985.77
7	19160.56	7754.26	489.72	0	489.72	18670.84	117656.61
8	19160.56	7711.61	4990.28	0	4990.28	14170.28	131826.88
9	19160.56	7669.20	489.72	0	489.72	18670.84	150497.72
10	19160.56	7627.02	2254.74	0	2254.74	16905.82	167403.54
11	19160.56	7585.07	489.72	0	489.72	18670.84	186074.37
12	19160.56	7543.35	489.72	0	489.72	18670.84	204745.21
13	19160.56	7501.86	489.72	0	489.72	18670.84	223416.04
14	19160.56	7460.60	489.72	0	489.72	18670.84	242086.88
15	19160.56	7419.57	489.72	0	489.72	18670.84	260757.71
16	19160.56	7378.76	4990.28	0	4990.28	14170.28	274927.99
17	19160.56	7338.18	489.72	0	489.72	18670.84	293598.82
18	19160.56	7297.82	489.72	0	489.72	18670.84	312269.66
19	19160.56	7257.68	489.72	0	489.72	18670.84	330940.50
20	19160.56	7217.77	2254.74	0	2254.74	16905.82	347846.31
21	19160.56	7178.07	489.72	0	489.72	18670.84	366517.15
22	19160.56	7138.59	489.72	0	489.72	18670.84	385187.98
23	19160.56	7099.33	489.72	0	489.72	18670.84	403858.82
24	19160.56	7060.28	4990.28	0	4990.28	14170.28	418029.09
25	19160.56	7021.45	489.72	0	489.72	18670.84	436699.93
VAN						S/151,957.91	
TIR						143%	
Periodo de retorno						1.23	años

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- La demanda total calculada para la institución educativa de la comunidad de Janca pampa es de 9218 Wh/día con una demanda en potencia de 2526 W, para seleccionar el sistema fotovoltaico off-grid hemos considerado un factor de rendimiento de 0.6 con lo cual nuestro sistema debería tener una potencia de 2740 W produciendo así 15 363.33 Wh/día y de las simulaciones realizadas con el software PVsyst podemos decir que tenemos excedentes de energía para futuras ampliaciones de carga.
- De esta manera podemos suministrar energía eficiente y no contaminante para el correcto aprovechamiento de los equipos con los que cuentan las instituciones de la comunidad Jancapampa, así contribuimos al correcto desarrollo de los jóvenes que gozaran de una educación de calidad.
- De la data obtenida de la NASA y NREL podemos concluir que la localidad de Jancapampa se encuentra en una buena zona para la implementación de este tipo de tecnología, ya que la temperatura del lugar es ideal con una media de 10 C° lo cual es muy bueno para este tipo de instalación ya que el recalentamiento y pérdida de eficiencia por temperatura quedan de lado. Los datos proporcionados por NREL que es la data más confiable nos da una radiación mínima de 5.61 kWh/m²/día el cual es superior a los requerimientos mínimos contenidos en la RD N° 003-2007-EM/DGE (3.5 kWh/m²/día), para el dimensionamiento se ha tenido en cuenta la menor radiación para que nuestro sistema sea eficiente y tenga un funcionamiento óptimo; la selección de la tecnología correcta hemos tomado en cuenta la

temperatura del lugar y para estas condiciones la tecnología monocristalina es la más adecuada.

- La inversión aproximada para la implementación del sistema fotovoltaico off-grid para los colegios de la comunidad Jancapampa es de S./ 16,324.14, si bien es cierto que la inversión inicial es un tanto elevada con relación a lo que tienen en mente los padres de familia y profesores que es la compra de un grupo electrógeno (S./ 3,284.90), hay que tener en consideración los costos de operación y mantenimiento así como los detalles técnicos y como hemos podido ver en el flujo de caja, comparado a un grupo electrógeno el sistema fotovoltaico es la mejor opción a la falta de energía eléctrica en las instituciones de la comunidad, además que con un buen mantenimiento estos sistemas poseen entre 25 y 30 años de vida útil.

8.2. Recomendaciones

Se recomienda que la municipalidad provincial de Pomabamba tenga en cuenta este tipo de tecnología para poder suministrar energía eléctrica en zonas alejadas y así poder incentivar una mejor educación, ayuda al medio ambiente y ofrecer una mejor calidad de vida de sus habitantes.

Según ubicación y emplazamiento de los colegios en la zona en estudio el sistema fotovoltaico off-grid debe estar ubicado en el patio, ubicado al frente de ambas instituciones, esto para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, facilitar el mantenimiento del sistema fotovoltaico y evitar pérdidas por sombras.

El mantenimiento del sistema fotovoltaico según la ubicación de la comunidad y sus características de humedad y polución se debe realizar de la siguiente manera; la limpieza de los módulos fotovoltaicos de manera mensual y cada 6 meses medición de parámetros esenciales de los demás componentes del sistema fotovoltaico off-grid.

Para investigaciones futuras se recomienda tener en cuenta las nuevas tecnologías en cuanto a paneles solares se refiere como es el caso de paneles bifaciales o paneles solares con uso de micro inversores, ya que estos ayudan a tener una mejor eficiencia en la generación eléctrica.

CAPITULO IX: REFERENCIAS

- ADIEM. (2002). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. Obtenido de ADIEM: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_aisladas_red_843370f2.pdf
- Aguilar Ávila, L. (2018). *Análisis de la instalación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red para uso doméstico [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/292983>
- Alonso, J. (2010). *Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP*. Obtenido de SUNFIELDS Europe: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- Alonso, J. (2019). *Radiación Solar [Imagen]*. Obtenido de Sun Fields Europe: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/radiacion-solar/>
- APPA Renovables. (2021). *¿Que es la energia fotovoltaica?* Obtenido de Asociación de Empresas de Energía Renovables (APPA Renovables?): appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/
- AutoSolar. (09 de Junio de 2021). *Diferencias entre Silicio Monocristalino y Multicristalino o Policristalino*. Obtenido de Aspectos técnicos AutoSolar: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>
- Ávalos, C. (2007). *ESTUDIO Y DISEÑO EN LA OPTIMIZACIÓN SOLAR FOTOVOLTICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Cataluña]*. Repositorio Institucional.

Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/41545079_Estudio_y_diseno_en_la_optimizacion_solar_fotovoltaica_para_una_vivienda_unifamiliar

Banco Mundial. (2020). *Acceso a la electricidad, sector rural (% de la poblacion rural)-Perú*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?end=2020&locations=PE&start=2010&view=chart>

Banda, A. (2017). *Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones de la UCSP [Tesis de Grado, Univesidad Católica San Pablo]*. Repositorio Institucional UCSP. Obtenido de <http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15457>

Benavides, H., & Sepúlveda, U. (2019). *Información Técnica sobre la Radiación Ultravioleta, el índice UV y su pronóstico*. Nota Técnica del IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/95803944/INFORMACI%C3%93N+TECNICA+RADIACI%C3%93N+ULTRAVIOLETA%2C+EL+%C3%8DNDICE+UV+Y+PRON%C3%93STICO+%2830+Nov+2019%29.pdf/>

Blasco, F. (07 de octubre de 2014). *Eleccion del Regulador [Imagen]*. Obtenido de CALCULATIONSOLAR: <http://calculationsolar.com/blog/?m=201304>

Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Paraninfo.

Cardozo, D. (2019). *Simulacion de un sistema Fotovoltaico Aislado en Matlab/Simulink [Paper]*. Mundo Fesc.

Cayotopa, J. (2019). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para electrificar al caserío Flor del Valle en Yambrasbamba provincia de Bongará departamento de Amazonas [Tesis de Grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/670/browse?type=subject&value=Sistemas+fotovoltaicos>

- Cepeda, J., & Sierra, A. (2017). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones [Artículo Científico, Universidad Santo Tomas]*. Repositorio Institucional, Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/4196>
- Chapoñan, A. (2018). *DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AISLADO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA LOCALIDAD DE CRUZ DE PAÑALA-MORROPE-LAMBAYEQUE [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/1995>
- Coluccio, E. (15 de Julio de 2021). *Energía Eléctrica*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/energia-electrica/>
- Cordero, R. (2018). *Tipos de Paneles Solares [Imagen]*. Obtenido de SUNFIELDS: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/>
- Cornejo Lalupú, H. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura [Tesis de Licenciatura, Universidad de Piura]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1762>
- DamianSolar. (04 de Noviembre de 2017). *Comparativa: panel solar poli, panel mono, panel cuasi-mono, y panel amorfo*. Obtenido de Artículos sobre la energía solar y sus componentes: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/comparativa-panel-solar-poli-mono-cuasimono-amorfo_1
- EcoInventos. (01 de Noviembre de 2022). *Diferencia entre paneles solares monocristalinos y policristalinos*. Obtenido de Energía Solar: <https://ecoinventos.com/diferencia-paneles-solares-monocristalinos-policristalinos/>

- Editores. (Noviembre de 2017). *Inversores de corriente para sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de Editores: https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/326/estabilizadores_work_inversores_corriente
- Garrett, C. (19 de abril de 2023). *¿Cuánto CO2 absorbe un árbol?* Obtenido de Climate consulting by selectra: <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>
- Hilcu, M. (Enero de 2023). *Baterías para placas solares: ahorra más en tu recibo de luz*. Obtenido de Otovo: <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/baterias-para-placas-solares/>
- INEI. (2017). *Censo Nacional de Poblacion y Vivienda 2017*. Obtenido de https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- Innozar. (27 de Septiembre de 2021). *¿QUÉ ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEBEN TENER LOS PANELES SOLARES?* Obtenido de Innozar: <https://www.innozar.es/que-angulo-inclinacion-deben-tener-paneles-solares/>
- Insa, J. (28 de Junio de 2018). *Células Solares con Tecnología PERC*. Obtenido de monsolar.com: <https://www.monsolar.com/blog/celulas-solares-con-tecnologia-perc/>
- Méndez , J., & Cuervo, R. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. FC EDITORIAL.
- MIEM. (2014). *Fuentes de Energía Renovables*. Obtenido de Energia Solar: <http://www.energiasolar.gub.uy/index.php/aula-didactica/que-es-la-energia/fuentes-de-energia-renovables#:~:text=Se%20denomina%20energ%C3%ADa%20renovable%20a,de%20regenerarse%20por%20medios%20naturales.>
- MINAM. (18 de mayo de 2023). *Energía 2019*. Obtenido de Infocarbono: <https://infocarbono.minam.gob.pe/reportes-sectoriales/energia-2019/>
- NASA.GOV. (2023). *POWER Data Access Viewer*. Obtenido de Predicción de recursos energéticos mundiales: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

- Osinergmin. (s.f.). *Introducción a energías renovables*. Obtenido de Energías Renovables: <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/introduccion-energias-renovables>
- Peréz, M., Morales, I., & Castro, E. (2017). La hora solar pico equivalente, definición e interpretación. *Revista de Ingeniería Energética*, 38(2), 124-131. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59012017000200007&lng=en&nrm=i&tlng=es
- Petrel Higueta, C. (2021). *Diseño de Sistema Solar Fotovoltaico Aislado e Individual en El Corregimiento Bocas del Atrato - Turbo [Tesis de Licenciatura, Universidad de Antioquia]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10495/18523>
- Príncipe Bayona, Y. (2019). *Diseño del sistema fotovoltaico de 3 kw en zonas rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash [Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2945>
- Puco, M. (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para el uso en casas flotantes en la [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14284>
- PVGIS. (2022). *SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA FOTOVOLTAICA*. Obtenido de Comisión Europea-PVGIS: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
- Quintanilla, A. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para suministrar de energía eléctrica la localidad de Patahuasi - Pampa Cañahuas [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Santa María]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10422>
- REC. (2014). *Tecnología de celda trasera de emisor pasivado (PERC) [Imagen]*. Obtenido de [recgroup](http://recgroup.com):

https://usa.recgroup.com/sites/default/files/documents/whitepaper_per c.pdf

Reyes, J. (17 de mayo de 2020). *Paneles solares o Módulos Fotovoltaicos [Imagen]*. Obtenido de VOLTAICA PERÚ S.A.: <https://voltaika.net/paneles-solares-o-modulos-fotovoltaicos-2020/>

Romero, V. (2020). *Sistema Fotovoltaico Autónomo para mayor disponibilidad de Energía Eléctrica en Senati [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6598>

Salto, Á. (2018). *Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la comunidad Puntahacienda de Quingueo [Trabajo de Investigación, Universidad Católica de Cuenca]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7948>

Sánchez, D. (2012). *SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA [Tesis de Grado, Universidad Carlos III de Madrid]*. Repositorio Institucional . Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/16839>

Sebastián, E. (2009). *ESTUDIO DE ELECTRIFICACIÓN CON ENERGÍA SOLAR PLAZA PÚBLICA DISTRITO DE LLAUTA.LUCANAS-AYACUCHO [Tesis de maestría, Universidad de Piura]*. Repositorio Institucional PIRHUA. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1477>

Sebastián, E. (2019). *Hora solar pico uso en paneles solares fotovoltaicos*. Obtenido de Energía Solar Eléctrica: <https://eliseosebastian.com/hora-solar-pico-uso-en-paneles-solares-fotovoltaicos/>

Sepúlveda, S. (2014). Radiación solar: Factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos. *Revista Mundo FESC*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5109240>

- Serrano, R. (22 de Octubre de 2017). *Diferencia entre controlador de carga PWM y MPPT*. Obtenido de Tritec Intervento: <https://tritec-intervento.cl/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y-mppt/>
- Solarix. (Noviembre de 2022). *Estructuras para placas solares: todo lo que debes saber*. Obtenido de Solarix: <https://www.solarix.es/blog/estructuras-placas-solares-guia/>
- sotysolar. (06 de Noviembre de 2020). *Paneles solares monocristalinos o policristalinos*. Obtenido de Placas solares: <https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>
- Sotysolar. (19 de Diciembre de 2022). *Inversores solares*. Obtenido de Sotysolar: <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- Tercero, J. (2015). *Diseño de una Mini central solar Fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2.7kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna-- MiraFlor Moropotente, Estelí [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]*. Repositorio Institucional UNAN. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/835/>
- Valdiviezo, D. (2014). *Diseño se un Sistema Fotovoltaico para el suministro de Energía Electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP [Tesis de Grado, Universidad Católica del Perú]*. Repoitorio Institucional PUCP. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5447>
- Vásquez, Fátima, Zúñiga, & Bibi. (2015). *Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/593339/TESIS%20FINAL.pdf>
- Villao Miranda, O., & Consuegra Mite, E. (2021). *Dimensionamiento Optimo de un Sistema Fotovoltaico a través de Herramientas Computacionales en Zonas Aisladas [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica*

Salesiana sede Guayaquil. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21324>

CAPITULO X: ANEXOS

Anexo 01

Fórmulas Para el Cálculo de Paneles Solares y Baterías (Cantos, 2016)

Potencia del Generador FV

$$P_{G-FV} = \frac{\text{Demanda Energética}}{HSP}$$

Cantidad de paneles FV

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV} \text{ elegido}}$$

N° paneles FV en serie

$$N^{\circ}_{PS} = \frac{V_{NOM}}{V_{MPP}}$$

N° paneles FV en paralelo

$$N^{\circ}_{PP} = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV} \text{ elegido} \times N^{\circ}_{PS}}$$

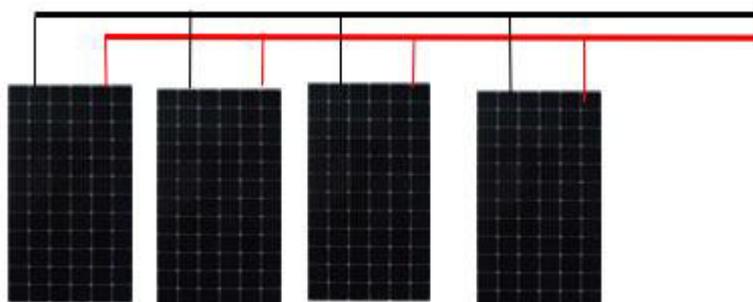
Capacidad de la batería (Ah)

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{\text{Demanda Energética} \times \text{Días de autonomía}}{V_{bat} \times PD}$$

ANEXO 02

Cálculo de Paneles Solares en Excel (Elaboración propia)

DATOS INICIALES			TENSION DEL SISTEMA																																																																				
Demanda Energética	15363.33	Wh/día	<p>Tabla 3.11. Selección de la tensión nominal del sistema en función de la potencia.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencia (W)</th> <th>Tensión nominal (V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$P \leq 1000$</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>$1000 < P < 2500$</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>$2500 \leq P < 5000$</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>$P \geq 5000$</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>			Potencia (W)	Tensión nominal (V)	$P \leq 1000$	12	$1000 < P < 2500$	24	$2500 \leq P < 5000$	48	$P \geq 5000$	120																																																								
Potencia (W)	Tensión nominal (V)																																																																						
$P \leq 1000$	12																																																																						
$1000 < P < 2500$	24																																																																						
$2500 \leq P < 5000$	48																																																																						
$P \geq 5000$	120																																																																						
HSP	5.61	h/día																																																																					
Tensión Nominal	48	V																																																																					
Temperatura max	21	°C																																																																					
Temperatura min	-6	°C																																																																					
Potencia del Generador FV	2739.5	W	<p>FICHA TÉCNICA DEL PANEL FOTOVOLTAICO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Marca</th> <th colspan="2">JA SOLAR</th> <th colspan="3">Influencia de la temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pmax</td> <td>455</td> <td>W</td> <td>Tc</td> <td>52.71</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Vnom</td> <td>48</td> <td>V</td> <td>Var. Potencia</td> <td>-9.70</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Vpm</td> <td>41.82</td> <td>V</td> <td>Var. Voc</td> <td>8.45</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Ipm</td> <td>10.88</td> <td>A</td> <td>Var. Isc</td> <td>1.22</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Voc</td> <td>49.85</td> <td>V</td> <td>Pot. max corregida</td> <td>410.87</td> <td>W</td> </tr> <tr> <td>Isc</td> <td>11.41</td> <td>A</td> <td>Voc Corregido</td> <td>54.06</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>TNOCT</td> <td>45</td> <td>°C</td> <td>Isc Corregido</td> <td>11.55</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Coef. Temp. Pmax</td> <td>-0.35</td> <td>%</td> <td>Voc en serie</td> <td>108.12</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>Coef. Temp. Voc</td> <td>-0.272</td> <td>%</td> <td>ISC en paralelo</td> <td>46.20</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Coef. Temp. Isc</td> <td>0.044</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Marca	JA SOLAR		Influencia de la temperatura			Pmax	455	W	Tc	52.71	°C	Vnom	48	V	Var. Potencia	-9.70	%	Vpm	41.82	V	Var. Voc	8.45	%	Ipm	10.88	A	Var. Isc	1.22	%	Voc	49.85	V	Pot. max corregida	410.87	W	Isc	11.41	A	Voc Corregido	54.06	V	TNOCT	45	°C	Isc Corregido	11.55	A	Coef. Temp. Pmax	-0.35	%	Voc en serie	108.12	V	Coef. Temp. Voc	-0.272	%	ISC en paralelo	46.20	A	Coef. Temp. Isc	0.044	%			
Marca	JA SOLAR					Influencia de la temperatura																																																																	
Pmax	455	W				Tc	52.71	°C																																																															
Vnom	48	V				Var. Potencia	-9.70	%																																																															
Vpm	41.82	V				Var. Voc	8.45	%																																																															
Ipm	10.88	A				Var. Isc	1.22	%																																																															
Voc	49.85	V				Pot. max corregida	410.87	W																																																															
Isc	11.41	A				Voc Corregido	54.06	V																																																															
TNOCT	45	°C				Isc Corregido	11.55	A																																																															
Coef. Temp. Pmax	-0.35	%				Voc en serie	108.12	V																																																															
Coef. Temp. Voc	-0.272	%				ISC en paralelo	46.20	A																																																															
Coef. Temp. Isc	0.044	%																																																																					
Cantidad de paneles FV	6.668	7.000																																																																					
N° paneles FV en serie	1.148	2.000																																																																					
N° paneles FV en paralelo	3.334	4																																																																					
Potencia del Generador FV	2876	W																																																																					



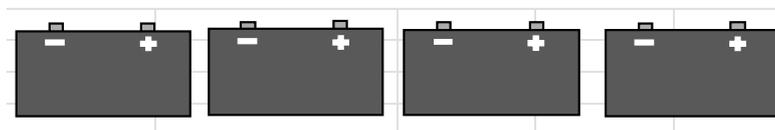
ANEXO 03

Cálculo y Disposición de Baterías en Excel (Elaboración propia)

Demanda Energética	15363.33	Wh/día		MARCA A USAR	TENSITE				
Tensión del sistema	48	V							
Días de autonomía	0.5	días							
Profundidad de Descarga	0.60								
Capacidad de la batería	266.72	Ah							
Tensión de la Batería	12	V							
Capacidad de la Batería	300	Ah							
N° Baterías en serie	4	4							
N° Baterías en paralelo	0.89	1							
Cantidad de baterías	4								
CAPACIDAD DE BATERÍAS	300	Ah							

Capacidad de la batería (Ah)

$$Capacidad (Ah) = \frac{Demanda Energética \times Días de autonomía}{V_{bat} \times PD}$$



Anexo 04

Cálculo del Controlador en Excel

Corriente maxima del G-FV	46.20	A
Factor de seguridad	1.25	
Corriente Regulador	57.75	A
Tensión de la batería	48.00	V
	60	A

Anexo 05

Cálculo del Inversor en Excel (Elaboración propia)

Potencia total de consumo	2526	W
Factor de simultaneidad	0.75	
Tensión del sistema	48	V
Potencia del Inversor	1894.5	W
	2000	W

Anexo 06

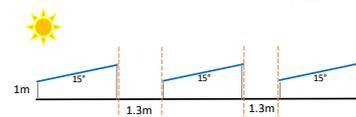
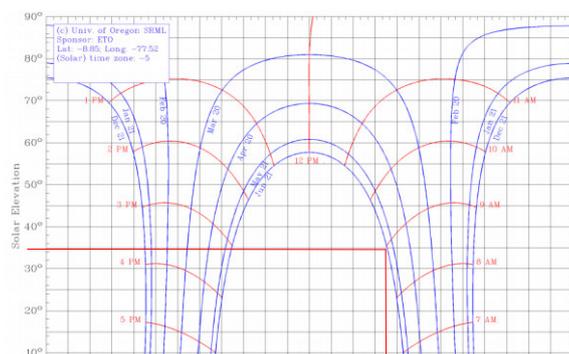
Determinación de la distancia entre Paneles para evitar Sombras (Elaboración propia)

ÁNGULO DE INCLINACIÓN (β)	15	grados	
MEDIDA DEL LARGO DEL PANEL	2.112	m	
Altura elevada del panel	1	m	
ELEVACIÓN SOLAR (γ_s)	35	grados	
AZIMUT SOLAR (γ_a)	60	grados	
Distancia de sombra (Ds)	1.104	m	
Factor de seguridad	15	%	
Distancia de sombra (Ds)	1.270	1.3	m



$$D_s = \frac{L \times \sin \beta \times \cos \psi_s}{\tan \gamma_s}$$

CARTA SOLAR JANCAPAMPA



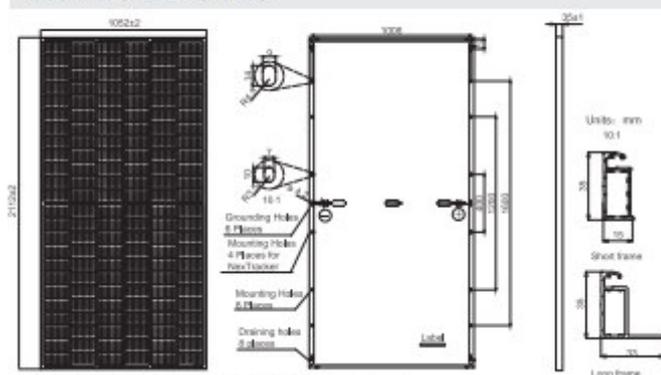
Anexo 07

Ficha Técnica del Panel Solar (Autosolar,2023)

JA SOLAR

JAM72S20 445-470/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.5kg
Dimensions	2112x2mm×1052x2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/ QC 4.10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+J400mm(-) Landscape: 1200mm(+J1200mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/pallet 682pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	338	340	344	348	352	355
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.85	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42
Max Power Current(Imp) [A]	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	8.86
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1.5G					

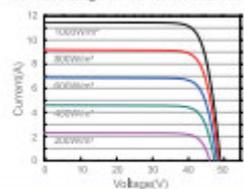
*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1900Pa.

OPERATING CONDITIONS

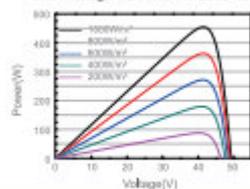
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 C~+85 C
Maximum Series Fuse Rating	20A
Maximum Static Load,Front*	1800Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load,Back*	1900Pa(50 lb/ft ²)
NOCT	45±2 C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

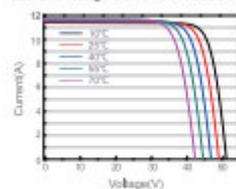
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20220811A

Anexo 08

Ficha Técnica de la Batería (Autosolar,2023)



GEL BATTERY

12V 300 AH

GEL SERIES BATTERY

GEL series batteries are manufactured with special separators and silica gel immobilizing the electrolyte inside the battery. The proven silica gel technology can improve battery cycle life and performance at wider temperature range. The deep discharge cycle life is increased 50% compared normal battery.



APPLICATION

- Emergency Power System
- Communication equipment
- Telecommunication systems
- Uninterruptible power supplies
- Power tools
- Marine equipment
- Medical equipment
- Solar and wind power system

GENERAL FEATURES

- Safety Sealing
- Non-spillable construction
- High power density
- Excellent recovery from Deep discharge
- Thick plates and high active materials
- Longer life and low self-discharge design

TECHNICAL SPECIFICATIONS

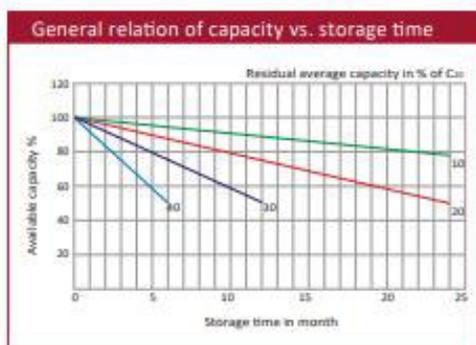
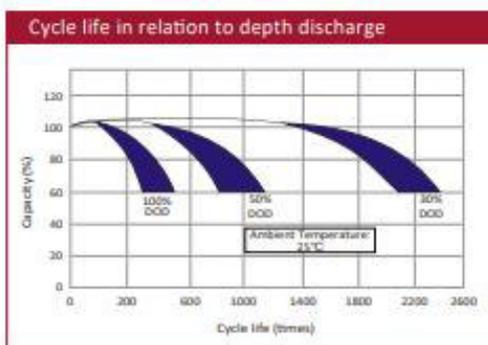
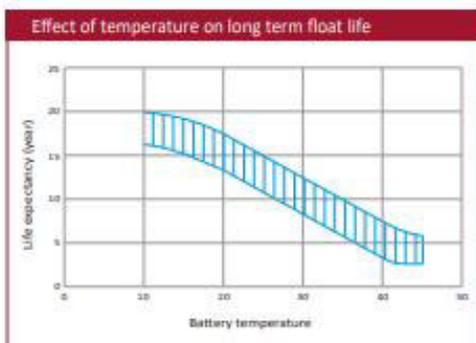
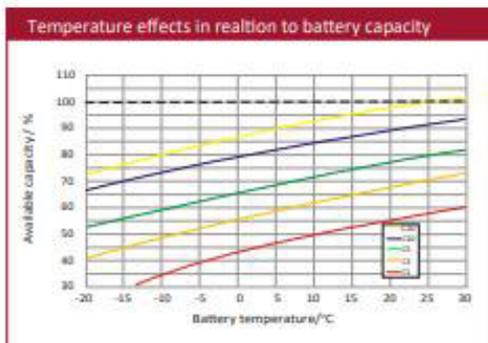
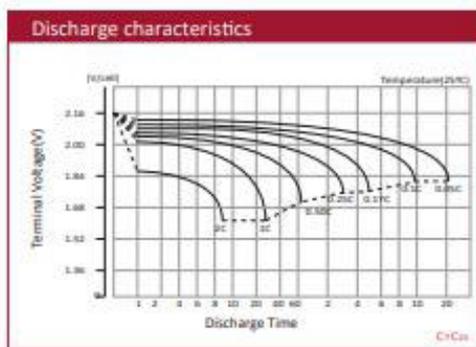
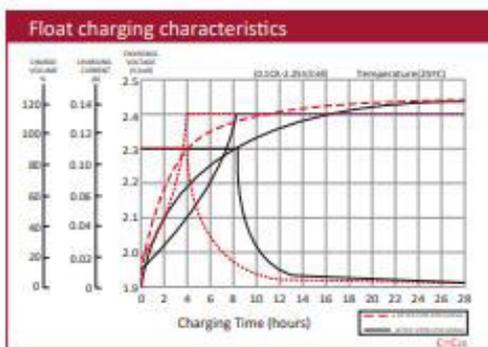
BATTERY MODEL	Nominal voltage		12V	
	Rated capacity (100 hour rate)		300Ah	
DIMENSION	Cells Per battery		6	
	Length	Width	Height	Total Height
APPROX. WEIGHT	520 mm	268 mm	220 mm	225 mm
CAPACITY @ 25°C	67.0 kg ± 3%			
	10 hour rate (25.0A)	5 hour rate (43.7A)	3 hour rate (66.2A)	1 hour rate (161.5A)
MAX. DISCHARGE CURRENT	250.0 Ah	218.7 Ah	198.7 Ah	161.5 Ah
INTERNAL RESISTANCE	2000 A (5 sec.)			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	Full charged Vat 25°C: Approx. 2.0mΩ			
	40°C	25°C	0°C	
CHARGE METHOD @25°C	103%		86%	
	Cycle Use		Standby Use	
	14.4-15.0V (Initial charging current less than 27A)		13.50-13.80V	

Anexo 09

Características principales y Modelos de la Batería
(Autosolar,2023)



BATTERY CHARACTERISTICS



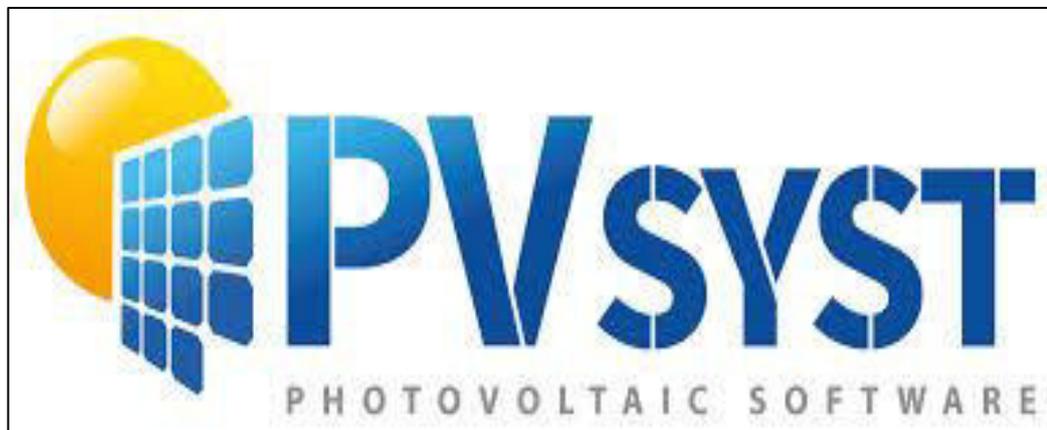
Anexo 10

Ficha Técnica del Inversor-Controlador (Autosolar,2023)

Specification

MODEL		PV18-2024 VHM	PV18-3024 VHM	PV18-3048 VHM	PV18-4048 VHM	PV18-5048 VHM	PV18-5548 VHM
Nominal Battery System Voltage		24VDC		48VDC			
INVERTER OUTPUT	Rated Power	2000W	3000W	3000W	4000W	5000W	5500W
	Surge Power	4000W	6000W	6000W	8000W	10000W	11000W
	Waveform	Pure Sine Wave					
	AC Voltage Regulation (Batt.Mode)	(220VAC-240VAC)±5%					
	Inverter Efficiency(Peak)	93%					
	Transfer Time	10ms (UPS / VDE4105) 20ms (APL)					
AC INPUT	Voltage	230VAC					
	Selectable Voltage Range	170-280VAC(UPS) / 90-280VAC(APL) / 184-253VAC(VDE4105)					
	Frequency Range	50Hz / 60Hz(Auto sensing)					
BATTERY	Normal Voltage	24VDC		48VDC			
	Floating Charge Voltage	27.4VDC		54.8VDC			
	Overcharge Protection	30VDC		60VDC			
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	145VDC					
	PV Array MPPT Voltage Range	30-130VDC		60-130VDC			
	Standby Power Consumption	2W					
	PV Input Power	2000W		4000W			
	Maximum Solar Charge Current	80A					
	Maximum Efficiency	98%					
	Maximum AC Charge Current	20A/30A		60A			
	Maximum Charge Current	80A		140A			
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Machine Dimensions(W*H*D)(mm)	272*355*100		297.5*468*125			
	Package Dimensions(W*H*D)(mm)	540*395*241		638*395*241			
	Net Weight(kg)	10	11	13.3			
	Gross Weight(kg)	11.7	12	16.4			
OTHER	Humidity	5% to 95% Relatly Humidity (Non-condensing)					
	Operating Temperature	0°C~50°C					
	Storage Temperature	-15°C ~60°C					

Podemos observar la ficha técnica del equipo híbrido que se va a usar en el estudio, este sistema híbrido ayuda a aminorar costos para sistemas cuya demanda energética no sea muy elevada.

Anexo 11**Software PVsyst 7.2**

Software usado para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados, conectados a red y sistemas de bombeo, con una gran versatilidad y uso de manera muy intuitiva.

Anexo 12

Unifilar de nuestro Sistema Fotovoltaico

