



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA SALA
COMUNAL DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICO**

AUTOR:

Albeiro Andree Yanchapaxi Armas

TUTOR:

Ing. Franklin Vásquez MSc.

Latacunga – Ecuador

Febrero 2025

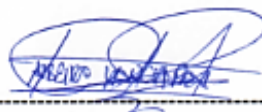
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Yanchapaxi Armas Albeiro Andree**, con cédula de ciudadanía No 050418067-0 declaro ser autor del presente PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA SALA COMUNAL DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”, siendo el Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc., Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

Latacunga, febrero de 2025



Yanchapaxi Armas Albeiro Andree

C.C. 050418067-0



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

AVAL DEL TUTOR DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de **Propuesta Tecnológica** sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA SALA COMUNAL DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”, de Yanchapaxi Armas Albeiro Andree, de la carrera de Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 20 de febrero de 2025

Franklin Hernán Vásquez Teneda
C.C.: 1710434497

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Yanchapaxi Armas Albeiro Andree, con el título del Proyecto de Investigación, propuesta tecnológica: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA SALA COMUNAL DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG" ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

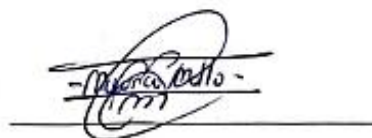
Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 20 de febrero de 2025

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
Nombre: Jiménez Jiménez Diego Leonardo
CC: 0503493702



Lector 2
Nombre: Mullo Pallo Mauricio Eduardo
CC: 0503755183



Lector 3
Nombre: Estupiñán Tello Diego Enrique
CC: 0501656508

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más profunda gratitud a Dios, quien con su infinita sabiduría y amor ha guiado cada paso de mi vida, brindándome la fortaleza y perseverancia necesaria para alcanzar esta meta. Sin Su bendición, este logro no habría sido posible.

A mis padres, cuyo esfuerzo, apoyo incondicional y amor infinito han sido el pilar fundamental en mi formación. Gracias por inculcarme valores, por motivarme en los momentos difíciles y por confiar en mí siempre. A mi hermano, por ser mi compañero de vida, por su aliento y por estar presente en este camino con su apoyo inquebrantable.

A mi novia, por su amor, paciencia y comprensión a lo largo de este proceso. Su apoyo constante ha sido una fuente de inspiración y motivación para seguir adelante, incluso en los momentos más desafiantes.

A la universidad, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional. A mis profesores y compañeros, quienes contribuyeron con su enseñanza y amistad, haciendo de esta etapa una experiencia enriquecedora y significativa.

A todos aquellos que, de una u otra manera, han formado parte de este camino, mi más sincero agradecimiento.

Con gratitud y aprecio,

Albeiro Andree

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Manuel y Targelia mis héroes, mi refugio, mi más grande bendición. Gracias por cada sacrificio silencioso, por cada consejo lleno de sabiduría y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado del amor y la perseverancia. Todo lo que soy, se lo debo a ustedes.

A mis cuatro ángeles en el cielo, César Alejandro, Carmen Amelia, Luis Gonzalo y Martha Rosario que desde lo alto han sido mi guía y mi fortaleza. Aunque sus abrazos ya no me arropen, su amor sigue latiendo en mi corazón, iluminando mi camino y dándome fuerzas para seguir adelante. Esta meta también es para ustedes, como un homenaje eterno a sus memorias.

A mi amada Anabel C, mi luz, mi inspiración y mi compañera en este hermoso viaje de la vida. Gracias por cada gesto de amor, por cada palabra de aliento y por ser mi paz en los días tormentosos. Tu amor ha sido mi impulso, tu compañía mi refugio y tu sonrisa el mejor de mis premios. Este logro es nuestro, porque cada paso lo di con tu amor sosteniéndome.

A cada uno de ustedes, con el alma llena de gratitud y el corazón rebosante de amor, les dedico esta meta alcanzada.

Con todo mi amor,

Albeiro Andree

ÍNDICE

1	INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1	Tema del proyecto:.....	1
1.2	Tipo de proyecto:	1
1.3	Carrera:	1
1.4	Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:.....	1
1.5	Equipo de trabajo:	1
1.5.1	Tutor:	1
1.5.2	Estudiante:	1
1.6	Área de Conocimiento:	1
1.7	Línea de investigación:	1
1.8	Sub líneas de investigación de la Carrera:	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1	EL PROBLEMA	2
2.1.1.	Situación Problemática.....	2
2.1.2.	Formulación del problema	4
2.1	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.1.1	Objeto de investigación:	4
2.1.2	Campo de Acción:	5
2.2	BENEFICIARIOS.....	5
2.2.1	Beneficiarios directos	5
2.2.2	Beneficiarios indirectos	5
2.3	Justificación	5
2.4	OBJETIVOS	6
2.4.1	General.....	6
2.4.2	Específicos.....	6

2.5	SISTEMAS DE TAREAS.....	6
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1	Antecedentes.....	7
3.2	Energía renovable	8
3.2.1	Energía Solar	9
3.3	Radiación solar.....	10
3.3.1	Tipos de radiación solar.....	10
3.3.2	Unidades de la radiación solar.....	11
3.3.3	Células fotovoltaicas.....	12
3.4	Sistemas Fotovoltaicos.....	12
3.4.1	Ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico	13
3.4.2	Coordenadas solares	13
3.4.3	Declinación solar (δ)	14
3.4.4	Inclinación de los paneles (β).....	14
3.4.5	Tipos de sistemas fotovoltaicos	15
3.5	Paneles solares	16
3.5.1	Tipos de paneles	17
3.6	Conexión de paneles en serie y paralelo.....	20
3.6.1	Conexión en serie.....	20
3.6.2	Conexión en paralelo.....	20
3.6.3	Conexión serie-paralelo.....	21
3.7	Selección del panel solar del mercado	21
3.7.1	Parámetros para la selección del módulo fotovoltaico	22
3.8	Inversores.....	22
3.8.1	Tipos de inversores	22
3.9	Baterías de almacenamiento	24
3.9.1	Baterías de litio.....	24

3.9.2	Batería de plomo-ácido.....	24
3.9.3	Baterías de gel	25
3.10	Reguladores de carga	25
3.10.1	Tipos de reguladores.....	26
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	28
4.1.1	Método Experimental	28
4.1.2	Método Descriptivo	28
4.1.3	Método Cuantitativo	28
4.2	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	28
4.2.1	Investigación Bibliográfica.....	28
4.2.2	Investigación Descriptiva	29
5	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	29
5.1	Ubicación geográfica	29
5.1.1	Ubicación paneles fotovoltaicos.....	30
5.1.2	Área disponible.....	30
5.2	Estudio de cargas	30
5.3	Estudio de radiación.....	30
5.3.1	Extracción de datos del clima.....	30
5.3.2	Radiación difusa	32
5.4	Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	32
5.4.1	Factores a considerar al seleccionar la tensión para el sistema fotovoltaico.....	33
5.4.2	Promedio de radiación diaria y la hora solar pico	33
5.4.3	Potencia Fotovoltaica	34
5.5	Controlador de carga solar	34
5.6	Selección del inversor	34
5.7	Implementación del módulo fotovoltaico en la Sala Comunal.....	35

5.8	Diagrama de conexión del módulo fotovoltaico.....	37
6	ANÁLISIS Y RESULTADOS	38
6.1	Consumo diario.....	38
6.2	Potencia fotovoltaica.....	38
6.3	Cantidad de módulos fotovoltaicos.....	39
6.4	Número de baterías	39
6.5	Controlador de carga solar	40
6.6	Selección del inversor	40
6.7	Datos Obtenidos del software PVsyst.....	41
6.8	Pérdidas por inclinación.....	42
6.9	Energía suministrada anualmente	43
6.10	Cálculo de la energía anual producida	43
6.10.1	Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	46
6.11	Tiempo de carga y descarga de la batería.	47
6.11.1	Cálculo de la corriente de consumo.....	47
6.11.2	Tiempo de descarga de la batería.....	48
6.11.3	Tiempo de carga de la batería	49
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
7.1	Conclusiones.....	50
7.2	Recomendaciones	50
8	REFERENCIAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1 HORA SOLAR PICO [14].....	11
FIGURA 3.2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO [17]	12
FIGURA 3.3 ÁNGULOS DE LA POSICIÓN DEL SOL.	14
FIGURA 3.4 INCLINACIÓN DEL PLANO TERRESTRE AL AÑO [14].	14
FIGURA 3.5 A) AL MEDIODÍA DEL SOLSTICIO DE INVIERNO. B) AL MEDIODÍA DE LOS EQUINOCCIOS. C) AL MEDIODÍA DEL SOLSTICIO DE VERANO [14].	15
FIGURA 3.6 SISTEMA AISLADO DE LA RED [17].....	15
FIGURA 3.7 SISTEMA CONECTADO A LA RED [17]	16
FIGURA 3.8 TIPOS DE PANELES SOLARES [13].	17
FIGURA 3.9 PANEL SOLAR TIPO MONOCRISTALINO [13][19]	18
FIGURA 3.10 PANEL SOLAR TIPO POLICRISTALINO.....	19
FIGURA 3.11 PANELES SOLARES CONECTADOS EN SERIE [17].....	20
FIGURA 3.12 PANELES SOLARES CONECTADOS EN PARALELO [17].....	21
FIGURA 3.13 PANELES SOLARES CONECTADOS EN SERIE – PARALELO [17].....	21
FIGURA 3.14 EJEMPLO INVERSOR DE CADENA [20].	23
FIGURA 3.15 EJEMPLO DE USO DE MICROINVERSORES [20].....	23
FIGURA 3.16 BATERÍAS DE LITIO [14]	24
FIGURA 3.17 BATERÍA DE PLOMO ÁCIDO [14].....	25
FIGURA 3.18 BATERÍA DE GEL [14].	25
FIGURA 3.19 CONEXIÓN DE REGULADOR DE CARGA [14].	26
FIGURA 3.20 REGULADOR DE CARGA PWM [25].....	27
FIGURA 3.21 REGULADOR DE CARGA MPPT [25].	27
FIGURA 5.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA SALA COMUNAL	29
FIGURA 5.2 SITIO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES.....	29
FIGURA 5.3 UBICACIÓN DE LA SALA COMUNAL EN NASA POWER.....	31
FIGURA 5.4 CURVA DE RADIACIÓN PROMEDIO POR MES AÑO 2023	32
FIGURA 5.5 ESTRUCTURA Y PANELES FOTOVOLTAICOS.....	35
FIGURA 5.6 CONEXIÓN EN PARALELO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	36
FIGURA 5.7 PROTECCIONES PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN DC/AC	36
FIGURA 5.8 CONEXIÓN DE LA BATERÍA AL SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
FIGURA 5.9 CONEXIÓN DEL INVERSOR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
FIGURA 5.10 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO [26]	38

FIGURA 6.1 DATOS DEL SOFTWARE PVSYST.....	41
FIGURA 6.2 TIEMPO DE DESCARGA DE LA BATERÍA.....	48
FIGURA 6.3 TIEMPO DE CARGA DE LA BATERÍA.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 5.1 LOCALIZACIÓN DE LA SALA COMUNAL	29
TABLA 5.2 CARGAS DE LA SALA COMUNAL.....	30
TABLA 5.3 RADIACIÓN MENSUAL AÑO 2023 SALA COMUNAL	31
TABLA 5.4 HORA SOLAR PICO EN LOS MESES DEL AÑO 2023	33
TABLA 6.1 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	39
TABLA 6.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR DE CARGA.....	40
TABLA 6.3 CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR DE DC - AC.....	41
TABLA 6.4 VALORES CALCULADOS Y MEDIDOS	42
TABLA 6.5 ENERGÍA DIARIA, MENSUAL Y ANUAL DEL SF	44
TABLA 6.6 INVERSIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO A LA RED.....	45
TABLA 6.7 GASTOS ANUALES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO A LA RED.....	45
TABLA 6.8 ESTUDIO FINANCIERO PARA EL SF	46

RESUMEN

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA SALA COMUNAL DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”

Autor:

Yanchapaxi Armas Albeiro Andree

En la comunidad rural de San José de Alpamalag del Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi el acceso a una fuente de energía confiable es limitado afectando la iluminación y el uso adecuado de la sala comunal. La presente investigación propone la implementación de un sistema fotovoltaico aislado a la red para abastecer la demanda eléctrica de este espacio, garantizando un suministro energético sostenible, confiable y de bajo costo.

El estudio abarca el análisis de la radiación solar del sector para determinar el potencial energético disponible, seguido del dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Se calcula la cantidad de paneles solares necesarios considerando la demanda eléctrica y la radiación promedio. Además, se selecciona un inversor adecuado para convertir la energía de corriente continua a corriente alterna asegurando su compatibilidad con los equipos de la sala comunal.

También se dimensiona el banco de baterías para garantizar autonomía en periodos sin radiación solar, y se elige un controlador de carga tipo PWM para regular el flujo de energía entre los paneles, las baterías y la carga.

Como resultado, se espera una reducción de la dependencia de fuentes de energía convencionales, promoviendo el uso de energías renovables y reduciendo los costos operativos de la sala comunal. La implementación del sistema no solo mejorará la iluminación y el acceso a la electricidad en el sector, sino que también contribuirá al desarrollo social y económico de la comunidad. Este proyecto representa un paso significativo para una transición energética sostenible de este modo se promueve la concientización de la sociedad en el uso de las energías renovables y así disminuir la contaminación ambiental, esta implementación tiene como fin representar un modelo replicable para otras comunidades rurales de la Provincia de Cotopaxi con condiciones similares, fomentando la transición hacia energías limpias.

Palabras clave: implementación, sistema fotovoltaico, dimensionamiento, energías renovables.

ABSTRACT

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM TO SUPPLY THE ELECTRICITY DEMAND AT SAN JOSÉ DE ALPAMALAG COMMUNITY HALL”.

Author:

Yanchapaxi Armas Albeiro Andree

In the rural community of San José de Alpamalag, Pujilí Canton, Cotopaxi Province, access to a reliable energy source is limited, affecting the lighting and adequate use of the community hall. The current research proposes the implementation of an off-grid photovoltaic system to supply the electricity demand of this space, ensuring a sustainable, reliable and low-cost energy supply.

The study includes the analysis of the solar radiation of the sector to determine the available energy potential, followed by the sizing of the photovoltaic system. The number of solar panels required is calculated considering the electrical demand and the average radiation. In addition, a suitable inverter is selected to convert the energy from direct current to alternating current, ensuring its compatibility with the equipment in the community room.

The battery bank is also sized to guarantee autonomy in periods without solar radiation, and a PWM charge controller is chosen to regulate the energy flow between the panels, the batteries and the load.

As a result, a reduction in the dependence on conventional energy sources is expected, promoting the use of renewable energies and reducing the operating costs of the community hall. The implementation of the system will not only improve lighting and access to electricity in the sector, but it will also contribute to the social and economic development of the community.

This project represents a significant step towards a sustainable energy transition in this way promoting the awareness of society in the use of renewable energy and thus reduce environmental pollution, this implementation is intended to represent a replicable model for other rural communities at Cotopaxi province with similar conditions, promoting the transition to clean energy.

Keywords: implementation, photovoltaic system, sizing, renewable energies.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA SALA COMUNAL DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”** presentado por: **Yanchapaxi Armas Albeiro Andree**, egresado de la Carrera de **Ingeniería en Electricidad** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 19 de Febrero del 2025

Atentamente,



Santiago Gabriel Ramón Amores
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 050356882-6

1 INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Tema del proyecto:

Implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda eléctrica de la sala comunal de San José de Alpamalag

1.2 Tipo de proyecto:

Propuesta Tecnológica

1.3 Carrera:

Ingeniería en Electricidad

1.4 Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Energías Sostenibles al Servicio de la Sociedad

1.5 Equipo de trabajo:

1.5.1 Tutor:

Ing. Franklin Vásquez MSc.

1.5.2 Estudiante:

Albeiro Andree Yanchapaxi Armas

1.6 Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

1.7 Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

1.8 Sub líneas de investigación de la Carrera:

Eficiencia energética y uso de energías alternativas

2 INTRODUCCIÓN

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1. Situación Problemática.

La instalación de un sistema fotovoltaico en la Sala Comunal San José de Alpamalag es considerada en el más amplio marco de la transición global hacia las energías renovables. A nivel internacional, la energía solar ha experimentado un crecimiento significativo, destacándose como una de las fuentes renovables más adoptadas, gracias a la disminución de costos de los paneles y a la creciente demanda de alternativas sostenibles. En 2020 la capacidad de energía renovable aumentó notablemente en 2020, impulsada por tecnologías como la fotovoltaica, la cual ha consolidado su participación en la matriz energética global [1].

A nivel mundial, los proyectos fotovoltaicos se han expandido en diversas aplicaciones, tanto en zonas residenciales como en sectores agrícolas, industriales y educativos. Esta tendencia está asociada con la necesidad de abordar la pobreza energética de manera sostenible y combatir el cambio climático. En Ecuador al considerarse un país en desarrollo la energía solar está siendo vista como una opción viable para reducir la dependencia de fuentes convencionales y asegurar un suministro eléctrico constante.

En los últimos años, la energía fotovoltaica ha aumentado su participación en la matriz energética mundial, impulsada por que los paneles solares han disminuido su precio y a la creciente aceptación en sectores como el residencial, comercial, industrial y agrícola. Aunque la hidroeléctrica sigue siendo la fuente renovable más importante, la energía solar ha ido consolidándose como una alternativa eficiente y limpia. Su flexibilidad y capacidad para ser instalada en techos de edificios o en granjas solares la convierten en una opción viable para entornos como la Sala Comunal San José de Alpamalag.

Además, el sistema fotovoltaico podría contribuir a la autosuficiencia energética de la sala comunal, lo que permite reducir los gastos operativos y minimizar la dependencia del sistema eléctrico tradicional [2].

Sin embargo, para instalar un sistema de energía solar fotovoltaica se enfrentan a varios desafíos, similares a los experimentados en otros países latinoamericanos que han comenzado la transición hacia energías renovables. En países como Bolivia, Perú y Chile, se ha evidenciado un aumento en la adopción de energías alternativas como la solar, eólica y de biomasa, aunque aún predominan fuentes tradicionales como la hidroeléctrica y los combustibles fósiles.

En Bolivia un aspecto central del problema es la falta de infraestructura para la generación distribuida de energía donde las normativas, regulaciones y aspectos técnicos limitan la expansión de estas soluciones. Además, las condiciones geográficas y climáticas también juegan un rol crucial en la efectividad de un sistema fotovoltaico. En regiones de gran altitud, como ocurre en Bolivia, se ha observado que el rendimiento de los paneles solares puede variar la radiación solar en la zona, así como la eficiencia de los paneles, deben ser estudiados para asegurar una implementación exitosa y eficiente [3].

En Perú, la producción de electricidad proviene principalmente de estaciones de energía hidráulica y plantas que utilizan combustibles fósiles, las cuales son responsables de altos niveles de contaminación y contribuyen al efecto invernadero y calentamiento global. Ante esta situación, ha crecido la necesidad de priorizar el desarrollo de energías renovables, eficientes y accesibles.

Perú ha comenzado a implementar sistemas fotovoltaicos para generar electricidad, aunque en cantidades aún modestas. Un ejemplo destacado es la central solar Rubí en Moquegua, que tiene una potencia instalada de 180 MW. Sin embargo, estos esfuerzos aún no son suficientes para satisfacer la creciente demanda energética del país, en relación con iniciativas solares de gran escala en otras regiones del mundo, como India y China.

La adopción de alguna fuente de energías renovables, específicamente la solar, se considera una alternativa estratégica para que la dependencia que prevalece actualmente de los combustibles fósiles se reduzca y fortalecer la sostenibilidad energética a nivel nacional [4].

De igual forma, países como Chile han logrado aumentar significativamente la participación de la energía solar en su matriz energética, lo que podría servir como un modelo para la planificación de sistemas fotovoltaicos en pequeñas comunidades. Sin embargo, la expansión de esta tecnología en zonas rurales o menos desarrolladas ha sido limitada por factores económicos y técnicos [5].

La implementación de sistemas eléctricos tradicionales en Ecuador posee un alto potencial, gracias a su ubicación geográfica dentro de la zona intertropical. El promedio diario de radiación solar en el país es de 4.378 kWh/m², siendo la concentración más alta en la región de los Andes por su altitud. Un 9,3% del territorio nacional es considerado apto para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, con un potencial teórico bruto de 35,7 GWp, lo que representaría 61,5 GWh anuales [6].

De acuerdo con los datos del Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE) 2021 señala que el 64,89% de la generación energética en Ecuador se origina en fuentes renovables, destacando la energía hidroeléctrica. Sin embargo, aún hay industrias, como las camaroneras, que dependen de combustibles fósiles debido a los altos costos de las tarifas eléctricas. En 2018, las centrales térmicas generaron 6.004,30 toneladas de CO₂ [7].

En Ecuador el Plan Maestro de Electricidad 2023 – 2032 establece una hoja de ruta para fortalecer la infraestructura eléctrica, promoviendo el uso de energías renovables y asegurando un suministro eléctrico sostenible y eficiente para las próximas décadas. Se prevé un crecimiento en la demanda eléctrica del 60% para 2032, pasando de 31.483 GWh en 2023 a 50.544 GWh en 2032.

En 2021, Ecuador alcanzó una producción energética de 27.659 GWh, de los cuales un 93,2% provino de fuentes renovables, principalmente hidroeléctricas. Las exportaciones de electricidad a Colombia y Perú generaron ingresos de USD 15 millones, reflejando el éxito de la estrategia nacional de energía sostenible. El PME hasta 2031 impulsa la expansión de energías solares, eólicas, geotérmicas y de biomasa para satisfacer la creciente demanda energética [8].

La implementación de una planta solar fotovoltaica en la Sala Comunal San José de Alpamalag será una solución integral para asegurar un suministro eléctrico confiable y sostenible, alineado con las tendencias globales en energías renovables y la habilidad para mejorar la calidad de vida de la comunidad.

2.1.2. Formulación del problema

¿Cómo puede la implementación de un sistema fotovoltaico solucionar la problemática de la iluminación escasa en la sala comunal de San José de Alpamalag, garantizando un suministro eléctrico confiable y sostenible, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, y reduciendo los costos operativos?

2.1 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.1.1 Objeto de investigación:

Sistemas Fotovoltaicos

2.1.2 Campo de Acción:

3322.05 Fuentes no convencionales de energía.

2.2 BENEFICIARIOS

Los principales beneficiarios de la implementación de un sistema fotovoltaico en la sala comunal de San José de Alpamalag serán:

2.2.1 Beneficiarios directos

- Habitantes de la comunidad
- Administración de la Sala Comunal
- Diferentes grupos de la comunidad (estudiantes, grupos juveniles, grupos de adultos mayores, organizaciones locales, emprendedores, etc.)

2.2.2 Beneficiarios indirectos

- Universidad Técnica de Cotopaxi
- Municipalidad y gobiernos locales

2.3 Justificación

La integración de tecnología solar fotovoltaico en el salón comunal de San José de Alpamalag justifica por varias razones de índole social, económica y ambiental. La comunidad, ubicada en una zona rural con acceso limitado a servicios básicos, enfrenta serios desafíos debido a la falta de un suministro eléctrico confiable. La iluminación escasa en la sala comunal restringe severamente las actividades educativas, sociales y culturales, afectando negativamente las condiciones de vida de los ciudadanos.

Aprovechar el alto potencial de generación de energía solar de la región presenta una solución viable y sostenible a estos problemas. La instalación de un sistema fotovoltaico garantizaría un suministro eléctrico constante y fiable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y los costos asociados a su uso. Esto no solo mejoraría la seguridad y comodidad en la sala comunal, permitiendo la realización de actividades nocturnas, sino que también proporcionaría un entorno más seguro y adecuado para el estudio y las reuniones comunitarias.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 General

- Implementar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica y la iluminación de la sala comunal de San José de Alpamalag.

2.4.2 Específicos

- Examinar la radiación solar del sector para la selección de los equipos del sistema fotovoltaico.
- Implementar el sistema fotovoltaico en la sala comunal de San José de Alpamalag.
- Realizar pruebas experimentales para la validación del sistema implementado.

2.5 SISTEMAS DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Analizar la radiación solar del sector para la selección de los equipos del sistema fotovoltaico.	Recolección de Datos Climáticos	Un perfil claro de la radiación solar en San José de Alpamalag, destacando las variaciones estacionales y cualquier patrón relevante.	Procesamiento y análisis de datos utilizando técnicas estadísticas para determinar la irradiación solar promedio y las variaciones estacionales.
Implementar el sistema fotovoltaico en la sala comunal de	Preparación del Sitio	Instalación Completa del Sistema Fotovoltaico	Paneles Solares, Inversores, Controladores de Carga y Baterías

San José de Alpamalag.	Instalación de Paneles Solares	Funcionamiento Óptimo del Sistema	Materiales de Capacitación
Realizar pruebas experimentales para la validación del sistema implementado.	Preparación para las Pruebas	Validación del Rendimiento del Sistema	Pruebas de Rendimiento
	Pruebas de Funcionamiento del Sistema	Funcionamiento Correcto de Componentes	Protocolos de Pruebas

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes

En la investigación realizada por [9] titulada “Optimización de la red de iluminación del laboratorio de electricidad del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego mediante la implementación de un sistema fotovoltaico OFF-GRID”, tuvo como propósito el diseño e instalación de un sistema fotovoltaico OFF-GRID para mejorar la luminaria en el laboratorio de electricidad de dicha institución. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo, llevándose a cabo en varias etapas. En la primera fase, se recopiló información para caracterizar los materiales a emplear. Posteriormente, en la fase segunda, se diseñó el sistema, incluyendo la colocación de las luminarias a través del software Dialux evo 10. En la última fase, se efectuaron los cálculos requeridos para la implementación del sistema y se llevaron a cabo pruebas para garantizar su correcto funcionamiento. Los resultados indican que las seis luminarias LED de la marca Silvania, instaladas en el laboratorio, operan de manera eficiente generando un voltaje de 34,1 V y diariamente se consume 1,98 kWh/día.

De la misma manera, la investigación de [10] titulada “Revisión de sistemas de almacenamiento de energía para redes aisladas OFF GRID provenientes de fuentes renovables”, tiene como objetivo es analizar 15 casos de estudio a nivel global, abarcando diferentes contextos geográficos. Los resultados del análisis indican que las baterías de iones son muy eficientes y tienen una alta densidad energética. Sin embargo, los sistemas híbridos, que integran diversas

tecnologías, mostraron una mayor resiliencia y resultaron ser más beneficiosos desde el punto de vista económico. Aunque la inversión inicial fue elevada, la inversión a largo plazo facilitó la adopción de soluciones avanzadas de acaparamiento para redes aisladas OFF GRID.

Finalmente, de acuerdo con [11] en su trabajo investigativo denominado “ Implementación y ejecución de un sistema fotovoltaico aislado residencial, en la zona costera de la provincia del Guayas”, realizado con la finalidad de diseñar un sistema fotovoltaico para beneficiar a la comunidad de La Masa 1. Este sistema busca reemplazar en el futuro el actual generador de electricidad a base de diésel por uno que aproveche de manera óptima las ventajas de la energía renovable.

Para dimensionar la implementación del sistema es necesario analizar la radiación solar descargados del PVGIS del sitio geográfico donde se va a realizar la implementación, de modo que sean aprovechados al máximo los recursos, y de la misma forma se analiza las demandas que el proyecto requiere para proveer de los recursos técnicos necesarios.

Después de realizar los cálculos que son necesarios, se seleccionaron los componentes del sistema fotovoltaico a utilizar, como el panel solar, el regulador de carga, las baterías y el inversor. La investigación concluye que, considerando el costo promedio nacional de los servicios eléctricos (9,2 centavos/kWh) y la vida útil del sistema (25 años), los cálculos de ensayos muestran un ahorro de hasta \$750 USD.

3.2 Energía renovable

Actualmente, la política y creciente conciencia social sobre los desafíos ambientales globales ha impulsado una tendencia hacia el uso de recursos renovables. Esto ha fomentado el desarrollo de tecnologías sostenibles, entre las cuales destacan los sistemas fotovoltaicos, que permiten generar electricidad tanto para consumo colectivo e individual en empresas y hogares. Este sector se ha beneficiado de un significativo respaldo técnico y económico, lo que ha facilitado su crecimiento exponencial en los últimos años [12].

Las energías alternativas, también conocidas como energías limpias, provienen de fuentes naturales inagotables que no generan contaminación durante su producción. Entre las principales energías renovables se encuentran:

- La eólica
- De la biomasa
- La fotovoltaica

- La geotérmica

3.2.1 Energía Solar

Constituye una fuente renovable, abundante y de alta intensidad, que puede ser utilizada para varias aplicaciones. Las tecnologías actuales facilitan la transición hacia procesos energéticos con bajas emisiones de carbono, considerando que la aparición del calentamiento global se deriva la utilización de combustibles fósiles para generar de forma convencional la electricidad. Según investigaciones de la NASA, la energía que el sol emite en tan solo una hora puede satisfacer las necesidades energéticas del planeta durante todo un año, con un total de 120,000 teravatios de irradiación solar, lo cual es 20,000 veces superior a la demanda energética global. Desde tiempos antiguos, el ser humano ha aprovechado la energía solar de diversas maneras, utilizando su luz y calor para fines como el confort térmico y el secado de alimentos [12].

En la actualidad, hay tres principales formas en que la energía solar sea aprovechada:

1. **Uso directo:** Conocida también como energía térmica pasiva, se emplea mediante elementos arquitectónicos como dispositivos y acristalamientos con alta masa térmica que tienen una capacidad grande para la absorción de calor.
2. **Transformación en calor:** Este proceso se da cuando el sol calienta objetos de forma directa, sin intervención adicional. Los edificios absorben la energía solar a través de techos, paredes y ventanas. En regiones frías, las paredes se pintan de colores oscuros para maximizar la absorción de luz, generando energía térmica. Además, se utilizan dispositivos como colectores solares para capturar la energía solar.
3. **Transformación en electricidad:** Utilizando módulos fotovoltaicos, se convierte la energía solar en electricidad, que puede ser consumida de forma inmediata, almacenada en dispositivos específicos o integrada a la red eléctrica convencional.

3.2.1.1 Principales tipos de energía solar

Se identifican dos tipos:

Energía solar pasiva: Contempla el aprovechamiento natural de la energía solar sin utilizar aparatos mecánicos. Un ejemplo de esto es el diseño de viviendas con ventanas orientadas hacia el sur, lo cual permite el ingreso de luz natural y calor.

Energía solar activa: Implica el uso de herramientas o dispositivos mecánicos para la captura, distribución y almacenamiento de la energía solar. Un ejemplo de esto es el sistema de

calentamiento de agua mediante tecnología solar activa, que mediante bombas hace que el agua fluya a través del sistema.

3.3 Radiación solar

La radiación que emite el Sol, considerado una estrella, puede ser tratada como la radiación de un cuerpo negro mientras se desplaza por el espacio hasta llegar a la capa superior de la atmósfera terrestre, manteniendo la relación del flujo de energía inalterada con el flujo de entropía. Sin embargo, al atravesar la atmósfera, una parte de esta radiación es absorbida y difractada, dependiendo de su longitud de onda. Además, la radiación solar puede polarizarse parcialmente al reflejarse en una superficie [13].

Debido a los efectos de absorción y difracción en la atmósfera, la radiación solar que logra entrar en contacto con la superficie terrestre se divide en dos componentes: radiación solar directa y radiación solar difusa. Ambos componentes generan entropía de manera diferente, lo que impide estudiarlos como entidades ideales.

La radiación solar promedio que se conecta con la atmósfera, conocida como constante solar, es de aproximadamente 1.367 W/m^2 . No obstante, a nivel de la superficie terrestre, este valor varía entre 0 y 1.000 W/m^2 . Esta variabilidad y atenuación en los valores de radiación se deben a diversos factores, como la absorción y dispersión en la atmósfera, fenómenos astronómicos, condiciones meteorológicas, entre otros, lo que provoca cambios simultáneos en la radiación solar recibida sobre una superficie horizontal [13].

3.3.1 Tipos de radiación solar

Se identifican tres clases de radiación según la manera en que los rayos solares llegan a la Tierra, lo cual afecta la calidad y cantidad disponible de energía solar para el uso en los sistemas fotovoltaicos.

3.3.1.1 Irradiación

La densidad de energía que incidente sobre una superficie, o sea, el valor contiguo de la radiación, se mide en unidades $[\text{kW}/\text{m}^2]$ [14].

La radiación que proviene del sol se denomina constante solar y alcanza una irradiación de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ al alcanzar la superficie de la Tierra.

3.3.1.2 Radiación directa

Se refiere a la que impacta en una superficie sin haberse dispersado en la atmósfera, en efecto, se capta de forma directa y en un ángulo único [15].

3.3.1.3 Radiación reflejada

Se refiere a la que impacta en una superficie debido a la reflexión de superficies próximas a ella [15].

3.3.1.4 Radiación difusa

Es la que experimenta una variación en la dirección de la atmósfera debido a la dispersión [15].

3.3.2 Unidades de la radiación solar

Para determinar el área en un modelo solar, hay dos unidades disponibles:

- **Wattios Pico (Wp):** Enmarca el valor máximo que puede albergar un sistema fotovoltaico y mantiene una sintonía inmutable con la radiación [16].
- **Hora solar pico (HSP):** Se establece como la cantidad diaria de horas que con una irradiación determinada, se consideran como horas solares.

El ideal solar de 1000 W/m² ofrece la misma cantidad de irradiación solar que la verdadera de ese día [16].

Este principio se ilustra de manera gráfica en la Figura 3.1.

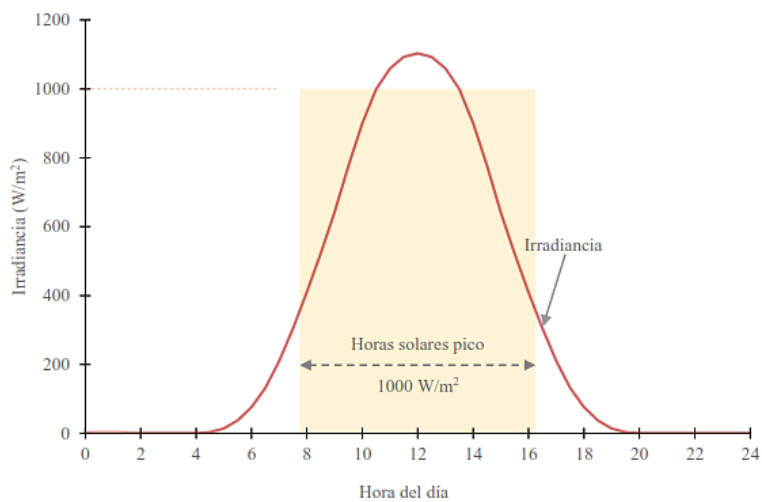


Figura 3.1 Hora solar pico [14].

$$HSP = \frac{\text{Radiación sobre la horizontal} * \text{días del mes}}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (1)$$

3.3.3 Células fotovoltaicas

Son aquellas células en las cuáles la luz solar se transforma directamente en corriente continua (CC). Cada célula está formada por un contacto posterior, dos capas de silicio y un recubrimiento antirreflejante, que, en conjunto, crean una rejilla de contacto. Posteriormente, la energía generada es convertida en corriente alterna (CA) mediante un inversor para su uso en el sistema.

3.4 Sistemas Fotovoltaicos

Constituyen fuentes de energía reversibles emergentes que generan energía eléctrica a través de la radiación solar. La supervisión de este tipo de sistemas ofrecen los datos requeridos necesarios para que los dueños mantengan, funcionen y registren estos sistemas, disminuyendo los gastos de operación y previniendo interrupciones no deseadas en zonas aisladas [17].

En este sistema, el panel solar capta la luz del sol, que a través del resultado fotovoltaico se transforma en electricidad. El regulador de carga, que se alimenta a través del panel, controla en las baterías el voltaje de carga, resguardándolas de sobrecargas o sobre descargas, prolongando de esta manera su durabilidad, además de regular los periodos de uso. Las baterías suministran energía al inversor, que tiene la tarea de transformar la tensión de 12 voltios de corriente directa (DC) que las baterías proporcionan a 120 voltios de corriente alterna (AC), tal como se ilustra en la Figura 3.2 [17].

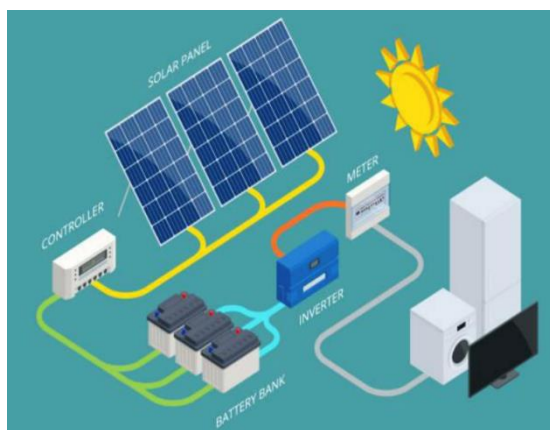


Figura 3.2 Estructura del sistema fotovoltaico [17]

3.4.1 Ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico

Una ventaja clara es el uso de los recursos del planeta de forma consciente, siendo un tema ampliamente debatido en el entorno de políticas energéticas. En la actualidad, es evidente la que construir una economía basada en fuentes de energías ecológicas y sostenibles es una necesidad.

El sol proporciona energía solar en tres formas: rayos solares, luz y calor, esta energía puede ser recolectada a través de dos métodos distintos, la conversión térmica y la fotovoltaica.

Es fundamental establecer una economía fundamentada en energías limpias y sostenibles si no se desea provocar un daño ambiental irreversible [17].

3.4.1.1 Ventajas

- Contar con una fuente generadora de energía limpia, inagotable y gratuita.
- La inversión inicial es pequeña y se adapta a cualquier presupuesto.
- Tiene una capacidad de adaptabilidad sumamente alta.

3.4.1.2 Desventajas

- Es de difícil almacenamiento.
- Su producción depende de la radiación solar emanada.
- Necesita una extensión amplia disponible de terreno.

3.4.2 Coordenadas solares

Se utilizan para establecer de forma correcta en el cielo la posición del sol, considerando que la referencia de su ubicación se toma como base a la del observador [14].

- **Azimut u orientación solar (A, Ψ):** es el ángulo creado por la línea de Norte a Sur y la incidencia del rayo solar en el plano horizontal. Su valor ideal es $\Psi = 0^\circ$ durante el mediodía, ya que el Sol está en la dirección sur, donde se alcanzará la radiación máxima.
- **Altura solar (α):** ángulo que cambia durante el día.
- **Cenital θ :** Se le llama así al ángulo que el Sol establece con el cenit, es la cumbre del hemisferio celeste que corresponde a un punto terrestre, incrementa la altura del sol, tal como se ilustra en la Figura 3.3. **Figura 3.3 Ángulos de la posición del Sol.**
- **Latitud (ϕ):** Es el ángulo que forja la vertical geográfico del punto considerado y el Ecuador.

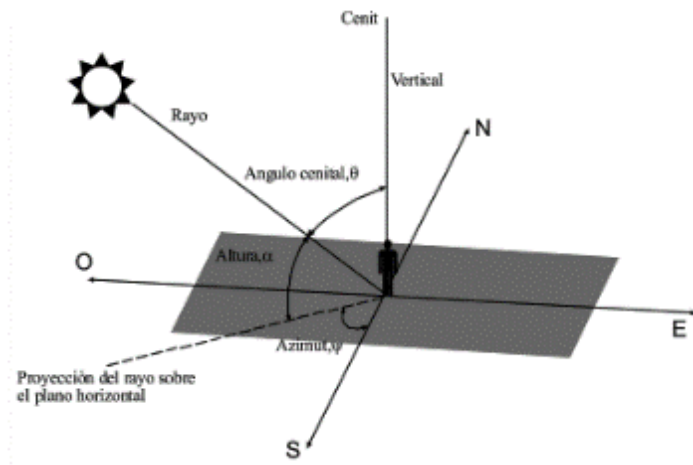


Figura 3.3 Ángulos de la posición del Sol.

3.4.3 Declinación solar (δ)

Hace referencia al ángulo en que el Sol instaure con el plano ecuatorial del planeta. Su medida es cambiante durante todo el año, oscilando en verano (21 de junio) entre $23,45^\circ$ y en invierno (21 de diciembre) $-23,45^\circ$, atravesando en primavera (21 de marzo) y otoño (21 de septiembre) por 0° en los equinoccios de, tal como se ilustra en la Figura 3.4 [18].

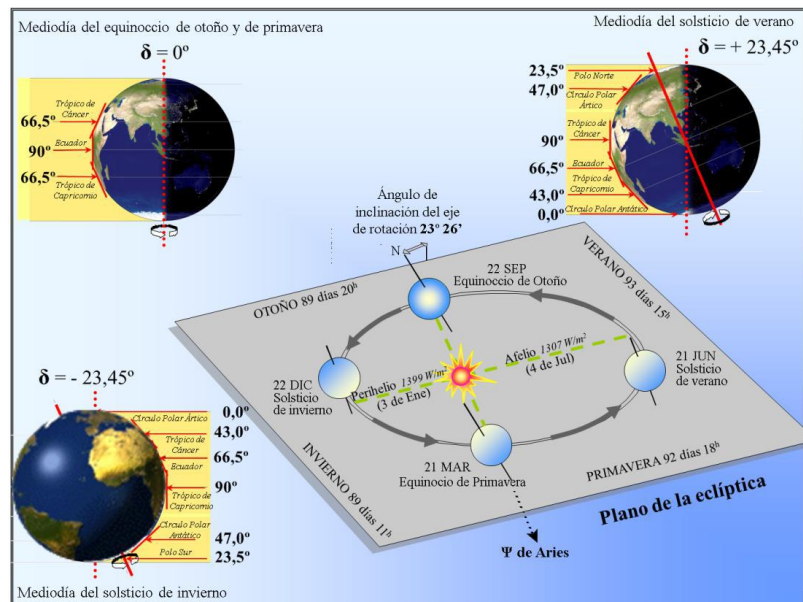


Figura 3.4 Inclinación del plano terrestre al año [14].

3.4.4 Inclinación de los paneles (β)

Su función es conseguir que los rayos del sol impacten en el panel perpendicularmente al medio día, como se observa en la Figura 3.5

Por lo tanto:

$$\beta = \phi - \delta \quad (2)$$

Donde:

ϕ = Latitud

δ = Su valor varía dependiendo de las temporadas del año.

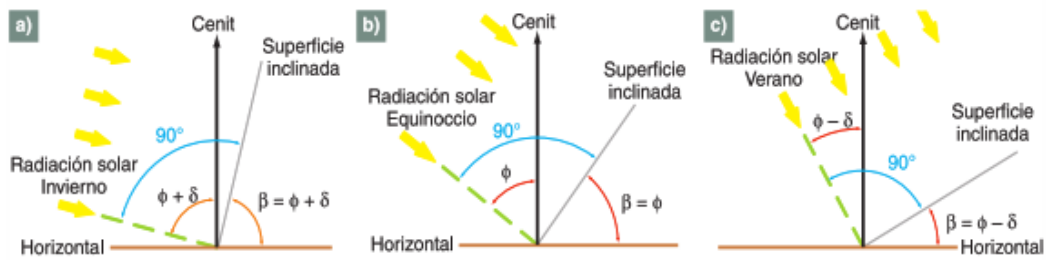


Figura 3.5 a) Al mediodía del solsticio de invierno. b) Al mediodía de los equinoccios. c) Al mediodía del solsticio de verano [14].

3.4.5 Tipos de sistemas fotovoltaicos

3.4.5.1 Sistemas aislados u Off Grid.

Estos sistemas poseen como principal característica cubrir la necesidad de energía en el sitio donde se instalarán. Para alcanzar ese propósito, es necesario acumular energía a través del uso de reguladores y baterías para proporcionarla. En la Figura 3.6 se muestra el esquema de conexión. Usualmente, estos sistemas se emplean en zonas distantes de la ciudad o donde el costo es considerablemente alto para este tipo de sistema. No obstante, existen los días de autonomía, que son los que se abastecen a través de los bancos de baterías, los cuales proporcionarán energía al sistema cuando no hay suficiente radiación solar [16].



Figura 3.6 Sistema aislado de la red [17]

3.4.5.2 Sistemas On Grid o conectado a la red

Se denomina también SFVCR, es aquel que se dedica a la abastecimiento de energías alternas vinculadas al sistema de distribución tradicional, es decir, que buscan proporcionar energía no utilizada por el hogar a la red [16]. Dentro de sus elementos, es crucial la implementación de un medidor bidireccional como se observa en la Figura 3.7

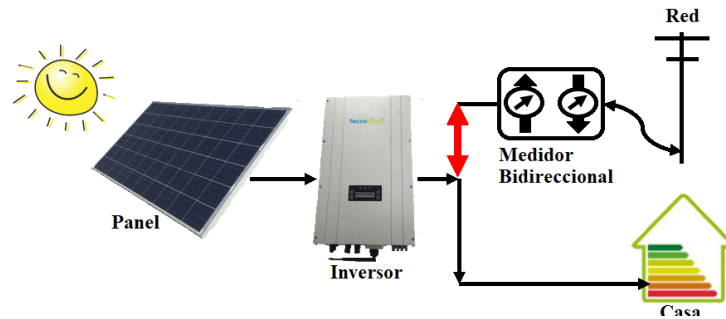


Figura 3.7 Sistema conectado a la red [17]

3.5 Paneles solares

Son módulos diseñados con el fin de darle el mejor aprovechamiento a la energía de la radiación solar. Existen diferentes tipos de paneles, como los que son destinados al uso doméstico, que generan agua caliente, y los que producen electricidad conocidos como paneles solares. Estos últimos están formados por células que convierten la radiación solar en energía eléctrica. Cada célula, a través del efecto fotoeléctrico, crea cargas positivas y negativas en dos circuito integrado cercanos, lo que crea un campo eléctrico capaz de producir corriente eléctrica [13].

Además, la energía solar es considerada como una alternativa ecológica más viable para el uso doméstico. Sin embargo, a pesar de su creciente adopción a nivel global, en regiones como Latinoamérica, y particularmente en Ecuador, el conocimiento sobre esta tecnología sigue siendo limitado. Esto dificulta su implementación por lo que no es adaptable para muchas personas que podrían dejar de beneficiarse de esta fuente renovable e inagotable.

Es importante asegurarse de que los paneles solares no estén ubicados en áreas que reciban sombra, especialmente durante los periodos de mayor radiación solar, ya que el sombreado puede reducir significativamente la eficiencia de los paneles.



Figura 3.8 Tipos de paneles solares [13].

El panel solar es fundamental para el aprovechamiento de la energía y representa el punto de partida del sistema. Sin embargo, es importante tener en cuenta que existen varios tipos de paneles. En particular, es esencial diferenciar entre los dos principales tipos de paneles: los monocristalinos y los policristalinos. La elección entre estos influirá tanto en los costos de instalación como en los niveles de eficiencia del sistema. [19].

3.5.1 Tipos de paneles

Casi la totalidad de los paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado global están fabricados a partir de células de silicio. Estos paneles se pueden clasificar en dos categorías principales: paneles monocristalinos y policristalinos, aunque la distinción entre ambos puede no ser del todo evidente. A pesar de que ambos tipos utilizan los mismos elementos químicos, existen diferencias clave que merecen ser discutidas en detalle para determinar cuál de ellos se ajusta mejor a las necesidades específicas.

3.5.1.1 Paneles con células Monocristalinas

Los paneles monocristalinos se destacan por estar fabricados con silicio de alta pureza, lo que les otorga una notable eficiencia. Estas celdas, de tono negro y bordes redondeados, son las más eficientes del mercado en términos de aprovechamiento del espacio, lo que permite instalaciones en infraestructuras más compactas.

Con una eficiencia que puede llegar al 20%, los paneles monocristalinos se caracterizan por su excelente rendimiento, incluso en condiciones de baja exposición a la luz solar, lo que facilita su instalación. Además, tienen una vida útil superior a la de los paneles policristalinos, con garantías que superan los 25 años y la capacidad de operar hasta 50 años, lo que los convierte en una opción ventajosa a largo plazo.

Este tipo de paneles necesita una mayor cantidad de silicio en comparación con las células policristalinas, y el proceso de corte durante su fabricación contribuye a su elevado costo debido a la pérdida de material. Además, estos paneles presentan un rendimiento inferior en condiciones de baja luminosidad, como en días nublados. No obstante, las células policristalinas tienden a tener un desempeño aún peor a altas temperaturas, lo cual debe ser considerado al seleccionar este tipo de componente.

En cuanto a su apariencia, estos paneles solares son de un color azul oscuro, casi negro, con bordes circulares, y están compuestos principalmente de silicio monocristalino. Para fabricar los paneles solares de silicio monocristalino, se abulta el silicio y luego se debe cortar en láminas delgadas que se convierten en células solares. Este proceso es lento, ya que requiere un enfriamiento pausado de las células monocristalinas. Debido a la alta pureza de los cristales, estas placas presentan un rendimiento superior al de las placas policristalinas, lo que explica su mayor costo. [19].



Figura 3.9 Panel solar tipo monocristalino [13][19].

3.5.1.2 Paneles con células Policristalinos

Los paneles solares fabricados con células policristalinas han sido ampliamente utilizados en la industria desde su desarrollo en la década de 1980. Una de sus principales ventajas frente a las células monocristalinas radica en su proceso de fabricación de bajo costo, lo que ha permitido una reducción significativa en los precios de estos sistemas. En su producción, el silicio se funde y se coloca en un molde para formar las celdas, utilizando una cantidad mínima de este material y minimizando el desperdicio durante el proceso de fabricación.

Aunque estas celdas policristalinas son más asequibles en el mercado nacional, presentan algunas desventajas. Una de ellas es su baja resistencia al calor, lo que las hace menos eficientes en comparación con las células monocristalinas. Se estima que el factor de eficiencia máxima

de estas celdas es superior al 15%, debido en parte a la menor cantidad de silicio presente en su estructura.

Las altas temperaturas durante los días calurosos pueden generar inconvenientes en las células fotovoltaicas. A pesar de ello, las células policristalinas son preferidas por usuarios en regiones cálidas debido a su menor costo, aunque son menos eficientes y requieren más espacio en comparación con las células monocristalinas. [19].

Aunque las células fotovoltaicas están fabricadas con silicio, su comportamiento puede variar según factores como la cantidad de luz recibida o el espacio disponible para su instalación. Por otro lado, el costo de producción de células monocristalinas, que inicialmente era elevado, ha ido disminuyendo a medida que la industria ha avanzado. Esto ha permitido que los paneles fotovoltaicos con estas características sean cada vez más accesibles en el mercado.

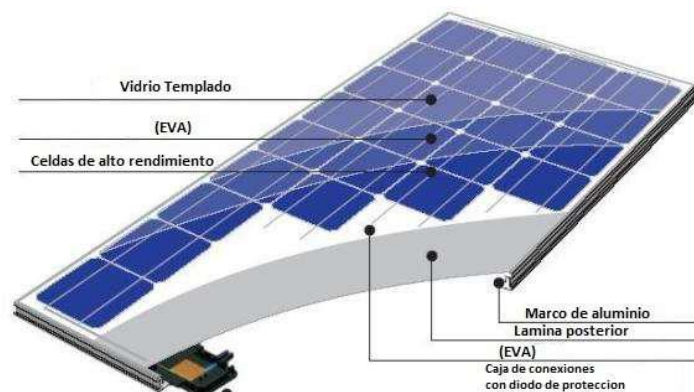


Figura 3.10 Panel solar tipo policristalino.

3.5.1.3 Diodos de protección

Los tipos de diodos que contienen los paneles solares casi siempre contienen dos:

- **Diodo de bloqueo:** Esta ubicado uno por módulo. Este regula el flujo de energía desde la batería a los paneles cuando la radiación solar es escasa, así como evitar que una fila de paneles sufra un fallo y se descargue [18].
- **Diodo de bypass:** Cuando una parte del panel solar queda en sombra, deja de generar electricidad y, en su lugar, empieza a comportarse como una resistencia, absorbiendo el calor de la energía que proviene de las demás células. Esto puede hacer que su temperatura aumente considerablemente, con el riesgo de causar un incendio. A este fenómeno se le conoce como "Punto Caliente" o Hot-Spot. Para prevenirlo, se instalan diodos en sentido inverso dentro de la caja de conexión. Cuando la sección afectada cambia de polaridad y se convierte en una carga, el diodo detecta esta variación y

consiente que esta corriente segregue a través de él, evitando que pase por las células y reduciendo así el riesgo de sobrecalentamiento [18].

3.6 Conexión de paneles en serie y paralelo.

Es posible conectar los módulos fotovoltaicos en serie o paralelo, dependiendo de lo que se necesitará en el sistema fotovoltaico.

3.6.1 Conexión en serie.

Este tipo de conexión mantiene tanto la intensidad como el voltaje de cada panel, se suma para obtener un voltaje total como se observa en la Figura 3.11. No obstante, el inconveniente de este tipo de enlace es que si uno de los módulos llega a fallar, el sistema podría desplomarse, razón por la cual se aconseja el uso de diodos de bloqueo entre los módulos [16].

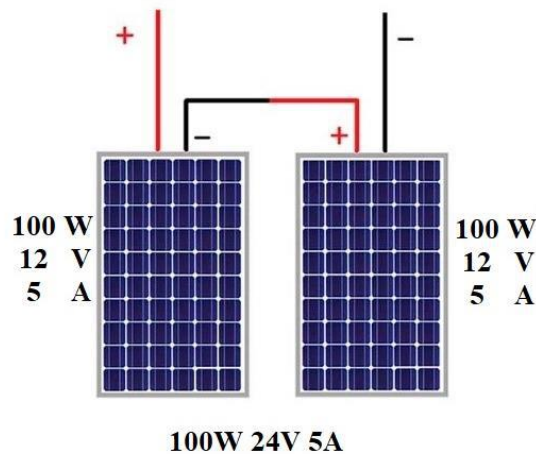


Figura 3.11 Paneles solares conectados en serie [17].

3.6.2 Conexión en paralelo.

Ocurre al interconectar todos los terminales positivos por un lado y los negativos por otro, lo que mantiene el voltaje constante. La corriente total se obtiene sumando la corriente generada por cada panel [16].

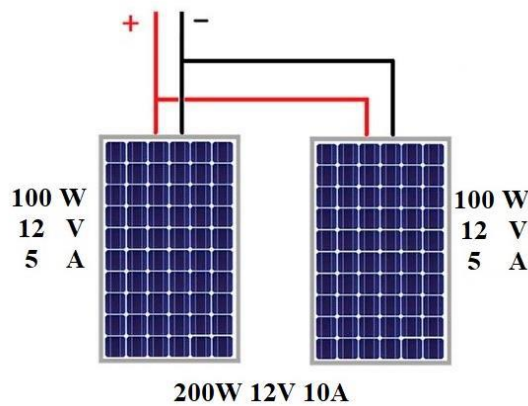


Figura 3.12 Paneles solares conectados en paralelo [17].

3.6.3 Conexión serie-paralelo.

Este tipo de conexión, tal como se ilustra en la Figura 3.13 es común en sistemas fotovoltaicos, ya que permite ajustar el voltaje y la corriente según la demanda de potencia [17].

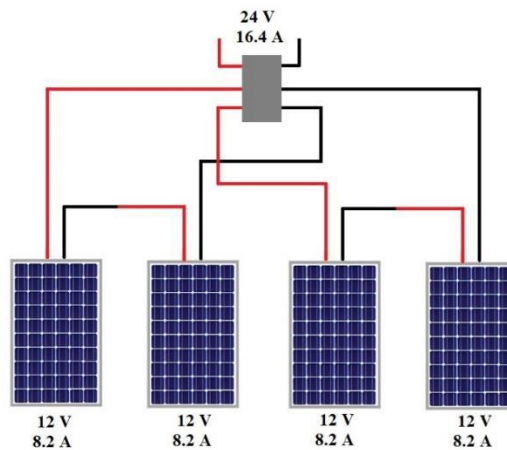


Figura 3.13 Paneles solares conectados en serie – paralelo [17].

3.7 Selección del panel solar del mercado

Es fundamental tener en cuenta diversos factores al seleccionar un panel fotovoltaico adecuado para una instalación solar. Entre estos factores se incluyen la garantía que ofrecen, la calidad, y el origen del producto, la eficiencia del panel, y la tecnología utilizada y. Se considera que un panel fotovoltaico tiene alta eficiencia cuando supera el 18%, lo que equivale a 180 W por metro cuadrado instalado. Esto es especialmente relevante en los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo instalados en los techos de las edificaciones, donde el espacio es limitado. A mayor eficiencia de los paneles, mayor será la potencia generada en ese espacio disponible [13].

3.7.1 Parámetros para la selección del módulo fotovoltaico

Es fundamental seleccionar el panel a instalar. La ecuación (3) ayuda a determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos requeridos para el sistema.

$$\#M_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_m} \quad (3)$$

Donde:

M_{FV} =Número de módulos fotovoltaicos

P_{FV} =Potencia fotovoltaica

P_m =Potencia del módulo fotovoltaico

3.8 Inversores

El inversor es un mecanismo eléctrico cuya función es convertir la corriente continua en corriente alterna, proceso fundamental en los sistemas de paneles solares. Esta conversión permite garantizar el funcionamiento correcto de los dispositivos eléctricos conectados a la red. Los inversores son esenciales en la mayoría de los sistemas solares y, generalmente, son el segundo componente más costoso, después del panel solar. [19].

3.8.1 Tipos de inversores

3.8.1.1 De cadena.

Esta configuración se encarga de conectar una serie de paneles solares (cadena) a un inversor, el cual convierte la energía generada de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), sumando la potencia de cada panel. Es fundamental que la potencia del inversor no supere su capacidad nominal de operación y que sea inferior a la potencia pico de la instalación.

No obstante, esta configuración también puede limitar la producción de energía en la cadena si uno de los módulos fotovoltaicos ve reducido su rendimiento debido a problemas operativos, como la presencia de sombras sobre el panel.

En la Figura 3.14 muestra la configuración de un inversor de cadena, donde los módulos fotovoltaicos están conectados en serie. En este ejemplo, cada módulo tiene un voltaje de 37 V, y la suma de estos voltajes se envía al inversor, que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) para su uso en el hogar [20].

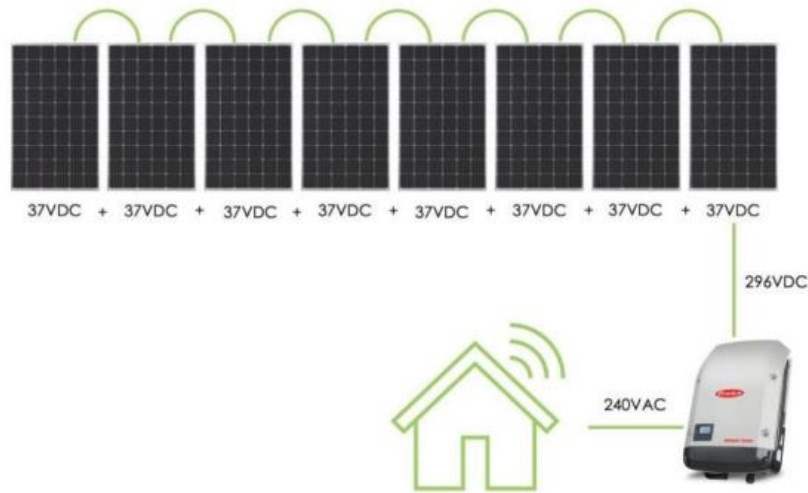


Figura 3.14 Ejemplo inversor de cadena [20].

Estos inversores son los más comunes y accesibles en el mercado. Se utilizan principalmente en instalaciones sin sombras y con paneles de rendimiento uniforme [21].

3.8.1.2 Microinversores.

Son más compactos que los inversores convencionales y se instalan directamente en cada módulo fotovoltaico. De esta forma, los daños en un panel no impactan en el rendimiento del sistema completo, maximizando la eficiencia energética. Su uso facilita el monitoreo individual del rendimiento de cada panel, lo que permite detectar y solucionar problemas de manera oportuna antes de que afecten al funcionamiento general del sistema. [20].

En la Figura 3.15 se muestra la disposición de microinversores en una conexión de 18 paneles en paralelo, donde la conversión de energía de DC a AC se realiza directamente en cada panel.

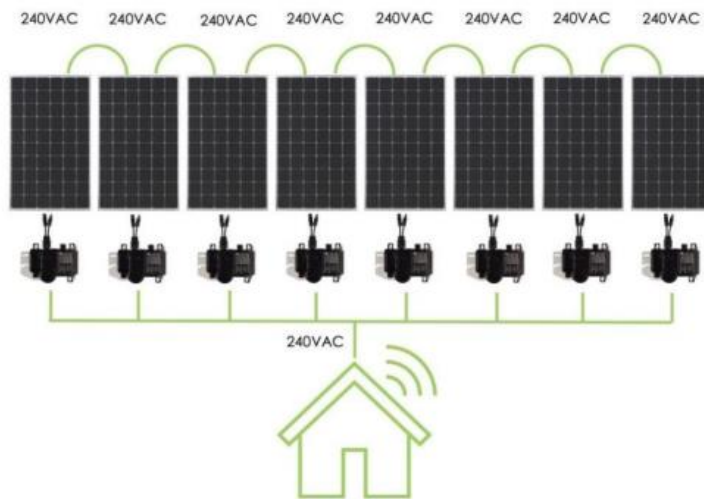


Figura 3.15 Ejemplo de uso de microinversores [20].

Este modelo ofrece mejores beneficios que los de cadena, debido a ello la inversión es más elevada [21].

3.9 Baterías de almacenamiento

Están formadas por celdas electroquímicas. Cumplen la función de transformar la energía química disponible en electricidad. Poseen un electrodo positivo, otro negativo, y también electrolitos. En conjunto hacen que la corriente fluya logrando la función para la cual fueron creadas [22].

Este proceso se resume en los siguientes pasos:

1. El panel solar fotovoltaico se alimenta durante el día de la radiación del sol y la transforma en electricidad que se conduce hacia la instalación.
2. La energía sobrante se conserva en la batería de la instalación para finalmente utilizarse durante la noche o en los días nublados.

3.9.1 Baterías de litio.

Las baterías de ion-litio ofrecen una mayor densidad de energía en comparación con la mayoría de las baterías recargables, alcanzando entre 100 y 150 Wh/kg, estas requieren voltajes más altos que otras, normalmente de 3.7 voltios, y presentan la tasa más baja de autodescarga, con un ciclo de carga/descarga de entre el 90% y el 100%. Su alta capacidad de almacenamiento las hace ideales para su uso en dispositivos electrónicos, como celulares, laptops e incluso vehículos eléctricos [23].



Figura 3.16 Baterías de litio [14]

3.9.2 Batería de plomo-ácido

Las baterías estacionarias o de ciclo profundo, como se ilustra en la Figura 3.17, se caracterizan por su buen rendimiento en ciclos de carga y descarga moderados. Están formadas por diversas

placas de plomo inmersas en una solución de ácido sulfúrico y son una opción común en sistemas fotovoltaicos gracias a su bajo costo. No obstante, su capacidad de almacenamiento varía según la velocidad de carga. [24].



Figura 3.17 Batería de plomo ácido [14].

3.9.3 Baterías de gel

Es una versión mejorada de la batería AGM, cuyos componentes químicos incluyen un electrolito gelificado. Están completamente selladas, lo que impide la presencia de líquidos en caso de volcamiento, y pueden mantenerse de forma vertical sin ningún problema. Los voltajes que tienen son de 6V, 12V, 24V y 48V. Son fabricadas con plomo ácido, su tamaño es acorde a la capacidad de Ah, tal como se muestra en la Figura 3.18. Tiene un costo superior al de las AGM y las de plomo-ácido, pero esto se compensa por su eficacia y garantía siempre que se respeten las condiciones de uso sugeridas por el fabricante. No requieren de mantenimiento y se conservan muy bien en espacios con escasa ventilación [14].



Figura 3.18 Batería de gel [14].

3.10 Reguladores de carga

Normalmente se emplean reguladores de carga en sistemas eléctricos fotovoltaicos autónomos. Facilita la protección de la batería frente a una sobrecarga o descarga excesiva. Regula la tensión

de carga de la batería con la finalidad de prolongar su durabilidad. Cuando la batería está cargada, el regulador interrumpe la carga al abrir el circuito que conecta los paneles solares con la batería. Después, cuando el sistema fotovoltaico comienza a proporcionar energía eléctrica a las cargas; las baterías comienzan su descarga y el regulador se reconecta al sistema.

Cuando se selecciona el regulador, se debe observar la tensión del sistema, así como la corriente de cortocircuito de los paneles y asignarle un factor de seguridad, normalmente 1.3, ya que la irradiación puede llegar a los 1300 W/m^2 [24].

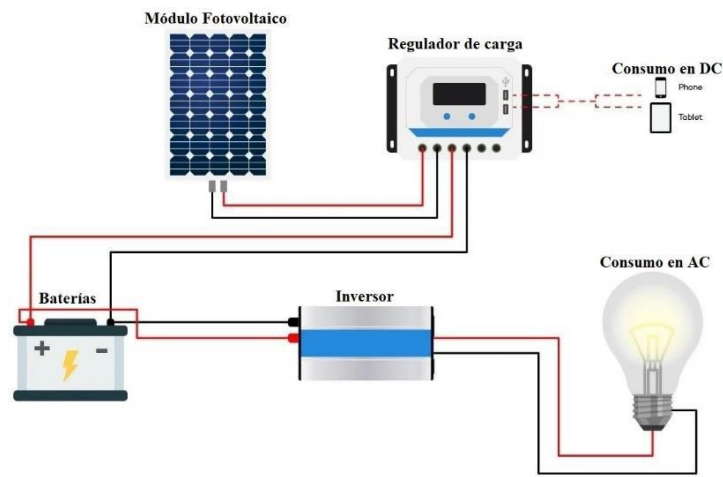


Figura 3.19 Conexión de regulador de carga [14].

3.10.1 Tipos de reguladores.

Se contempla 2 tipos de reguladores de carga que se utilizan frecuentemente para alimentar las baterías con energía solar.

- **Regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos):** Este tipo de regulador no representa una transformación de DC a DC. Es un interruptor que conecta la batería con el módulo solar, como se observa en la Figura 3.20. Esto significa que el voltaje del módulo se reduce hasta acercarse al de la batería. Cuando se logra la tensión de absorción, el regulador PWM empieza a activar y desactivar la conexión con el módulo fotovoltaico para evitar una sobrecarga, un proceso conocido como modulación por ancho de pulsos (PWM).



Figura 3.20 Regulador de carga PWM [25]

- **Regulador MPPT (Punto de máxima potencia):** Estos reguladores son más avanzados, ya que ajustan el voltaje de entrada para optimizar la salida del módulo fotovoltaico. Transforman esta energía para suministrar el voltaje variable necesario tanto a la batería como a la carga, como se ilustra en la Figura 3.21.

Sus principales componentes incluyen un diodo de protección, un convertidor de voltaje CC-CC y un seguidor de punto de máxima potencia. La energía que fluye a través del regulador es similar a la de un regulador PWM; sin embargo, el voltaje y la corriente en cada lado varían. Al aumentar el voltaje del módulo fotovoltaico, es posible incrementar la producción de energía solar hasta en un 30%. Por ello, el uso frecuente de reguladores MPPT puede mejorar significativamente el rendimiento [14].



Figura 3.21 Regulador de carga MPPT [25].

4 METODOLOGIA

4.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

4.1.1 Método Experimental

Esta investigación ofrece datos confiables que servirá a futuro para que otros investigadores tengan una base sobre un módulo fotovoltaico y su panel, y cómo este sistema contribuye a convertir la energía solar en energía eléctrica, lo que posibilita generar energía respetuosa con el ambiente. Asimismo, contribuye a reducir el uso de energía tradicional y los problemas que surgen en periodos de estiaje.

4.1.2 Método Descriptivo

Se realiza el análisis del consumo energético promedio mensual y de los equipos eléctricos utilizados en la sala comunal, complementado con la investigación de paneles solares, inversores y baterías disponibles en el mercado. La metodología descriptiva permite evaluar las condiciones actuales del entorno, optimizando el diseño de un sistema fotovoltaico técnicamente viable y económicamente sostenible, adaptado a las necesidades específicas del lugar.

4.1.3 Método Cuantitativo

Se lleva a cabo un inventario de los aparatos eléctricos, determinando sus usos y periodos de uso, para luego determinar los elementos del sistema fotovoltaico basándose en la información obtenida. Además, se analiza la factibilidad financiera y la repercusión a largo plazo del proyecto. Esta técnica cuantitativa asegura un diseño eficaz, lucrativo y sustentable, ajustado a los requerimientos energéticos de la sala de juntas.

4.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 Investigación Bibliográfica

La investigación se fundamenta en información extraída de artículos científicos, tesis y documentos digitales, garantizando una base teórica sólida para interpretar y resolver el problema planteado. Este enfoque teórico proporciona conocimiento aplicable a futuras investigaciones y asegura un diseño eficiente del sistema fotovoltaico aislado a la red. Además, permite una correcta comprensión y análisis de los resultados que fueron obtenidos en las mediciones realizadas durante el estudio.

4.2.2 Investigación Descriptiva

Para documentar los resultados de las mediciones efectuadas, se requirió la utilización de la observación en cada fase del proyecto, lo que facilitó la realización de los correspondientes cálculos energéticos que se pueden utilizar en el sitio de estudio, y de la misma manera elaborar sus tabulaciones.

La investigación se fundamenta en sucesos reales, y su característica principal es que facilita la interpretación adecuada de los resultados logrados en relación al tema en contexto.

5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

5.1 Ubicación geográfica

El proyecto de propuesta tecnológica se realiza en la sala comunal, localizada en San José de Alpamalag, en el cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi.

Con la ayuda del programa Google Earth se obtiene las coordenadas detalladas a continuación:

Tabla 5.1 Localización de la sala comunal

Coordenadas de San José de Alpamalag				
Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM		Altitud (m)
1°03'17.93" S	78°40'07,47" O	-1.05451523	-78.66936331	2973



Figura 5.1 Localización geográfica sala comunal



Figura 5.2 Sitio de implementación de paneles solares

5.1.1 Ubicación paneles fotovoltaicos

Estos paneles se encuentran ubicados en la edificación que es junto a la sala comunal como se muestra en la Figura 5.2.

5.1.2 Área disponible

Para colocar el sistema fotovoltaico se cuenta con un área de $28 m^2$

5.2 Estudio de cargas

En la sala comunal se realiza el estudio de cuál es el potencial de cargas, así como el total de potencia de consumo de los equipos que a continuación se detallan en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Cargas de la sala comunal.

CUADRO DE CARGAS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL	HORAS DE USO (h)	DEMANDA REQUERIDA (Wh)
Focos Led interior	11	20	220	2	440
Focos Led exterior	8	20	160	2	320
Focos parte panel	2	23	46	2	92
Parlante ES-15 DJ	1	300	300	1	300
Amplificador CR-OW	1	200	200	1	200
TOTAL			926	8	1352

5.3 Estudio de radiación

5.3.1 Extracción de datos del clima

Cuando se conoce la ubicación exacta de la sala comunal, se debe consultar en la Nasa Power los datos climatológicos como se observa en la Figura 5.3, para de esta manera llevar un registro de la radiación global de cada mes.

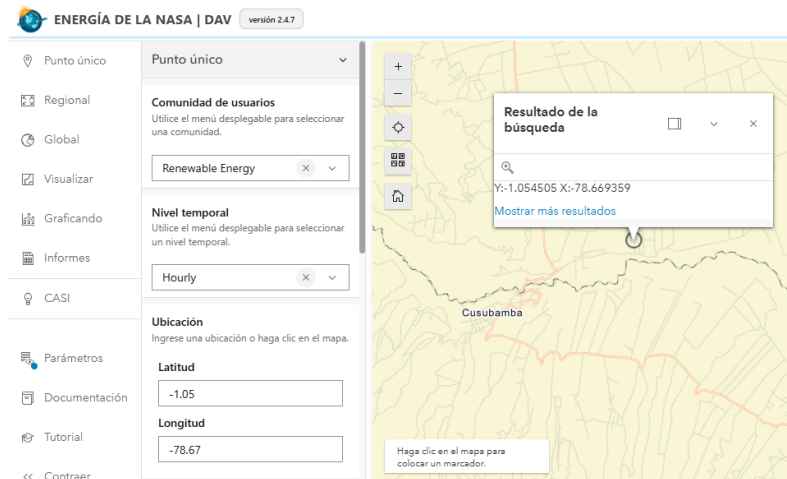


Figura 5.3 Ubicación de la sala comunal en Nasa Power

El período de tiempo en el cual se va a llevar a cabo el estudio comprende desde el **01/01/2023** hasta el **31/12/2023**, estos datos permitirán obtener un referenciación para compararlos con valores futuros. El esquema donde se registrarán estos datos se presentan en la Tabla 5.3

Tabla 5.3 Radiación mensual año 2023 sala comunal

RADIACIÓN MENSUAL - AÑO 2023												
HOR A	ENER O	FEBRER O	MARZ O	ABRIL	MAY O	JUNI O	JULIO	AGOST O	SEPTIEMB RE	OCTUB RE	NOVIEMB RE	DICIEMB RE
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	16,05	13,95	14,47	20,56	24,88	21,49	15,95	19,48	35,42	49,70	52,08	35,36
7	124,9	106,63	115,23	129,5	139,3	126,2	113,1	137,70	182,11	205,80	194,94	147,34
8	268,8	232,44	253,85	272,7	275,6	256,7	240,2	292,19	362,47	382,60	361,61	288,25
9	387,7	343,93	351,87	395,8	385,9	375,3	365,1	423,48	502,71	517,93	497,63	385,33
10	477,6	438,88	444,49	500,7	475,7	479,3	481,6	542,01	609,96	614,32	598,63	482,83
11	538,5	494,40	505,96	544,1	524,8	532,8	527,0	613,12	685,36	660,77	615,90	498,04
12	555,3	516,91	551,59	551,1	540,4	529,2	546,7	633,98	704,17	624,12	592,41	522,13
13	513,4	480,31	438,37	461,0	508,7	493,8	498,6	564,99	585,64	533,15	500,94	471,30
14	409,1	409,62	349,79	363,9	420,4	430,2	424,1	483,15	481,38	412,75	398,10	380,91

15	308,7 2	333,99	271,66	259,7 2	312,4 7	309,0 4	322,1 9	379,79	368,22	283,86	272,67	275,22
16	185,6 8	205,21	159,50	142,6 0	182,3 3	182,1 7	190,7 6	227,79	217,71	144,20	140,19	156,90
17	81,59	89,55	68,05	48,47	67,52	68,78	74,62	87,35	74,17	43,71	48,65	58,91
18	6,60	9,28	5,01	0,28	0,00	0,00	2,03	1,57	0,00	0,00	0,00	0,44
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5.3.2 Radiación difusa

La Figura 5.4 presenta la radiación solar durante los 12 meses del año 2023, que corresponde al periodo objeto de estudio. Se observa que septiembre alcanza el nivel más alto de radiación solar, con $200,39 \text{ Wh/m}^2$. Es relevante destacar que estos meses tienden a tener los niveles más elevados de radiación solar en relación a otros periodos, lo cual es fundamental para realizar la predicción.

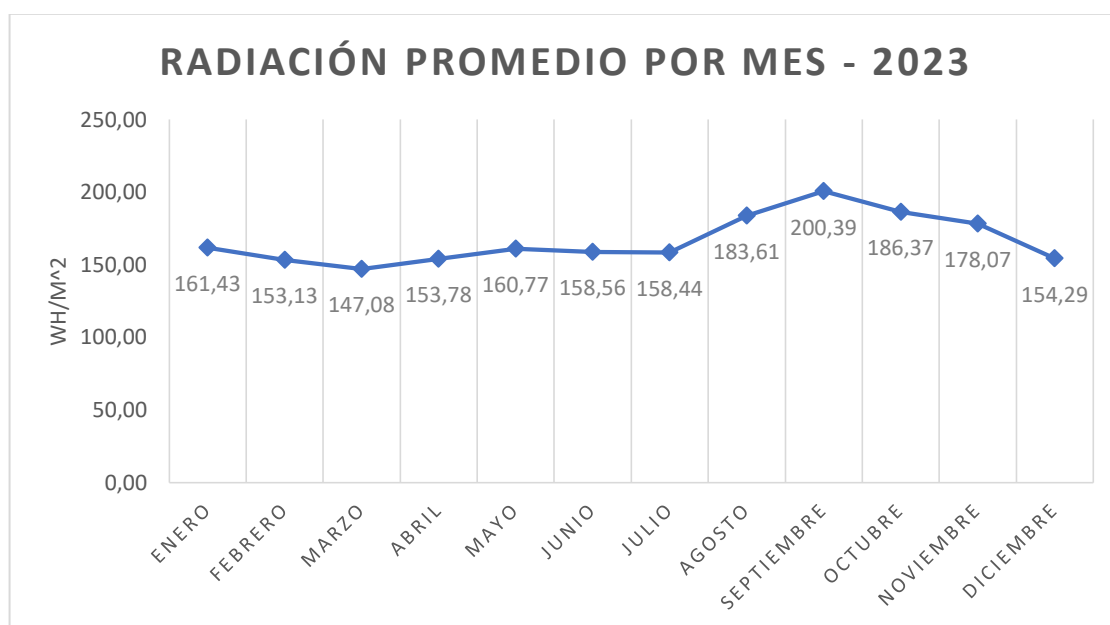


Figura 5.4 Curva de radiación promedio por mes año 2023

5.4 Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Con la información del consumo energético mostrada en la Tabla 5.2, se considera un factor de protección del 20% para llevar a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Este factor se incrementará al consumo diario de la Sala Comunal.

$$\text{Consumo Diario} = \text{Demanda}_{\text{Requerida}} * 1,20\%$$

(4)

5.4.1 Factores a considerar al seleccionar la tensión para el sistema fotovoltaico.

- En un consumo diario de 1 a 2000 Wh, es recomendable el sistema a una tensión de 12 V.
- En un consumo diario de 2001 a 4000 Wh es recomendable el sistema a una tensión de 24 V.
- En adelante, a partir de 4001 Wh, es recomendable el sistema a una tensión de 48 V.

5.4.2 Promedio de radiación diaria y la hora solar pico

Con los datos recopilados durante la observancia de la radiación de todo el año, que han sido registrados a diario, se calculó los promedios mensuales que son del año 2023. Se efectúa analizando el número de días presentes por cada mes. Considerando estos promedios se tiene el máximo y mínimo de irradiación solar, que es conocido más comúnmente como hora solar pico (HSP).

La siguiente Tabla 5.4 se calcula referente a la Ecuación (1)

Tabla 5.4 Hora Solar Pico en los meses del año 2023

TIEMPO	RADIACION SOBRE LA HORIZONTAL	DIA DEL MES	HSP
ENERO	161,4318145	31	5,00
FEBRERO	153,1291964	28	4,29
MARZO	147,0768414	31	4,56
ABRIL	153,7835417	30	4,61
MAYO	160,7664113	31	4,98
JUNIO	158,5589722	30	4,76
JULIO	158,4352554	31	4,91
AGOSTO	183,6086828	31	5,69
SEPTIEMBRE	200,3885556	30	6,01
OCTUBRE	186,3715457	31	5,78
NOVIEMBRE	178,0731667	30	5,34
DICIEMBRE	154,2902823	31	4,78
TOTAL	1995,914266	365	5,06

5.4.3 Potencia Fotovoltaica

Con el resultado de la implementación de la demanda requerida, con el 20% de protección, se procede a determinar la potencia empleando según la Ecuación (5).

$$Potencia\ FV = \frac{Demanda_{requerida}}{Hora\ solar\ pico\ (HSP)} \quad (5)$$

5.4.3.1 Cantidad de módulos fotovoltaicos

Para calcular el número de módulos, se consigue a través de la aplicación de la Ecuación (6)

$$\#Módulos\ FV = \frac{Potencia\ FV}{Potencia\ del\ módulo} \quad (6)$$

5.4.3.2 Número de baterías

Para calcular las baterías, es necesario determinar cuántos amperios hora se utilizan diariamente, lo que se puede determinar a través de la Ecuación (7)

$$\#Baterias = \frac{Demanda_{requerida} * Día\ de\ autonomía}{Voltaje\ batería * porcentaje\ de\ descarga\ batería(\%)} \quad (7)$$

Ah de la batería

5.5 Controlador de carga solar

El controlador de voltaje es el responsable de la carga y descarga de la batería, por lo que es esencial que tenga un diseño apropiado para gestionar la corriente de entrada del sistema solar y la corriente de salida para alimentar la carga, se puede determinar utilizando la Ecuación (8)

$$I = I_{sc_{panel}} * \#Módulos\ FV \quad (8)$$

5.6 Selección del inversor

Al instalar electricidad con cargas de corriente alterna, es aconsejable obtener un convertidor DC/AC que cumpla con las funciones fundamentales que son:

- Voltaje nominal de entrada y salida
- Potencia nominal
- Frecuencia
- Rendimiento

La siguiente Ecuación (9) se calcula la capacidad del inversor.

$$P_{inv} = Potencia_{total} * 1,2 \quad (9)$$

5.7 Implementación del módulo fotovoltaico en la Sala Comunal.

El sistema fotovoltaico instalado en la sala comunal se llevó a cabo de la forma siguiente:

1. Adquisición de equipos requeridos para el sistema.
2. Construcción de la estructura metálica que contenga los paneles solares, colocados en el techo de la sala comunal.
3. Instalación en el techo de la sala comunal los paneles solares como se puede observar en la Figura 5.5



Figura 5.5 Estructura y paneles fotovoltaicos

4. Los diez paneles fotovoltaicos están conectados en paralelo como se muestran en la Figura 5.6



Figura 5.6 Conexión en paralelo de los paneles fotovoltaicos

5. En la Figura 5.7 se muestran cómo se deben realizar las conexiones del tablero principal para proteger el sistema fotovoltaico y también para la red de la sala comunal en DC/AC

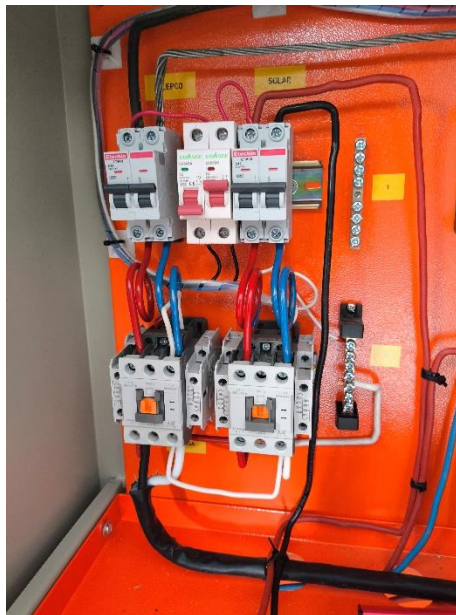


Figura 5.7 Protecciones para el sistema fotovoltaico en DC/AC

6. Se tiene en la Figura 5.8 la conexión de la batería de 12 V - 100 Ah para almacenar toda la energía del sistema fotovoltaico.



Figura 5.8 Conexión de la batería al sistema fotovoltaico

7. Como último paso se conecta el inversor a la batería para que su salida de voltaje en AC sea para alimentar la sala comunal, obsérvese Figura 5.9



Figura 5.9 Conexión del inversor y sistema fotovoltaico

5.8 Diagrama de conexión del módulo fotovoltaico.

Para la diagramación del sistema (Figura 5.10), se utilizó el software YOY SIMULATORS, a través de este software se representa gráficamente el sistema eléctrico solar, en este se muestran los equipos que integran el sistema, su conexión y disposición.

La instalación fotovoltaica comprende 3 elementos importantes los mismos que a su vez cumplen funciones de captación, acumulación y regulación en DC e inversión de la tensión de DC/AC.

En la Figura 5.10 se visualizan los módulos fotovoltaicos, el inversor PWM y la batería.

A través de los cálculos realizados se presentan 8 paneles en paralelo de 50W monocristalinos, pero para un futuro tenemos 3 paneles de reserva conectados, el cable utilizado para realizar la conexión de los paneles al tablero de control es concéntrico, de 2 hilos número 8 AWG, en el

cual se conecta al controlador de carga (PWM) para que indique el voltaje y corriente que tienen dichos paneles.

El inversor trabaja conectado con una fuente de energía (batería) de 12 V y de la salida de 110 V que posee el mismo se dirige a un breaker de 2 polos de 40 A en AC y de la salida de los contactores se conecta un cable concéntrico de 2 hilos número 8 AWG que se dirige a la caja térmica bifásica de la Sala Comunal así alimentado todo el sistema.

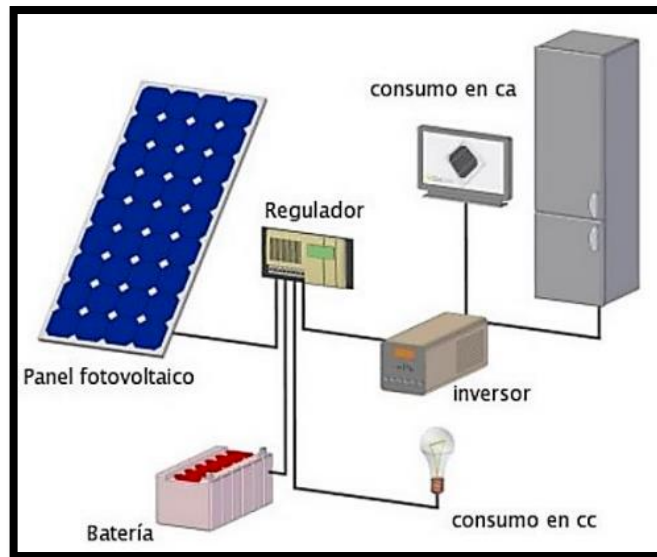


Figura 5.10 Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico [26]

6 ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Consumo diario

Se utiliza la Ecuación (4) y para tener en cuenta se utiliza el consumo diario del 20% de protección, dando lo siguiente:

$$\text{Consumo Diario} = 1352 * 1,20\% = 1622,4 \text{ Wh}$$

6.2 Potencia fotovoltaica

Seleccionando la hora solar pico mínima llegando a ser el mes de Febrero del año 2023 se obtiene:

$$\text{Potencia FV} = \frac{1622,4 \text{ Wh}}{4,29 \text{ h}} = 378,392 \text{ W}$$

6.3 Cantidad de módulos fotovoltaicos

De la Tabla 6.1 se obtiene la potencia del módulo fotovoltaico de la marca IKAO se puede visualizar de mejor manera sus características técnicas.

Tabla 6.1 Características del módulo fotovoltaico.

DATOS	MAGNITUD
Maximum power (P_{max})	50W
Maximum power currente(I_{mp})	2,78 A
Maximum power voltaje (v_{mp})	18 V
Open circuit voltaje (v_{oc})	22 V
Short circuit current (I_{sc})	3,38 A
Max system voltaje	1000 V

Aplicando la Ecuación (6) se obtiene:

$$\#Módulos\ FV = \frac{378,392\ W}{50\ W} = 7,567 \approx 8$$

6.4 Número de baterías

Al utilizar la batería de la marca POWEST de modelo recargable tipo gel y para una mejor visualización si tiene las características en el Anexo 1

DATOS	MAGNITUD
Voltaje nominal (V)	12 V
Capacidad nominal (I_{mp})	100 Ah
Peso aproximado (kg)	28 kg
Terminal	M8
Tipo de batería	Gel

Para el número de baterías se aplica la Ecuación (7) y se obtiene:

$$\#Baterias = \frac{1622,4 Wh * 1 día}{\frac{12 V * 0,9\%}{100 Ah}} = 1,502 \approx 2 baterias$$

El valor obtenido representa la cantidad mínima de baterías necesarias para el óptimo funcionamiento del sistema fotovoltaico y el almacenamiento eficiente de la energía generada. En este caso, el cálculo indica un requerimiento de dos baterías. Sin embargo, por razones económicas, se optó por una batería de gel, la cual es suficiente para cubrir la demanda energética del sistema fotovoltaico.

6.5 Controlador de carga solar

Para el controlador de carga se utilizó el modelo tipo PWM (Modulación por anchura de pulsos) que presenta sus características en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Características del controlador de carga

DATOS	MAGNITUD
Voltaje nominal (V)	12 V – 24 V
Corriente nominal (Imp)	30 A
MAX PV Voltaje	50 V
MAX PV POTENCIA DE ENTRAD	390 (W) – 12V 780 (W) – 24 V

A continuación se tiene el cálculo respectivo, con la Ecuación (8) y se tiene:

$$I = 3,38 * 8 = 27,04 \approx 27 A$$

Entonces el proyecto instalado en la Sala Comunal dispone de un controlador de carga de 30 A.

6.6 Selección del inversor

El inversor que se utilizó tiene una potencia de 1000 W y un trabaja con un voltaje de 12 V que presenta sus características en la Tabla 6.3

Tabla 6.3 Características del Inversor de DC - AC

DATOS	MAGNITUD
Voltaje de salida (V)	110 – 220 V AC
Potencia (W)	1000 W
Frecuencia de salida (Hz)	50 – 60 Hz
Salida USB	5V DC 0,5 A
Eficiencia máxima	> 95%

Para el cálculo respectivo se basa en la Ecuación (9) y su resultado es:

$$P_{inv} = 926 * 1,2 = 1019 W$$

Se tomó en cuenta un inversor de 1000 W ya que no se llegará a su máxima capacidad nominal y por reducción de costos.

6.7 Datos Obtenidos del software PVsyst

PV Array Characteristics			
PV module		Controller	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	Mono 50 Wp 36 cells	Model	Isoler 30
(Original PVsyst database)		Technology	MP Series transistor
Unit Nom. Power	50 Wp	Temp coeff.	-5.0 mV°C/Elem.
Number of PV modules	8 units	Battery Management control	
Nominal (STC)	400 Wp	Threshold commands as	SOC calculation
Modules	8 string x 1 In series	Charging	SOC = 0.90 / 0.75
At operating cond. (50°C)		approx.	13.7 / 12.8 V
Pmpp	360 Wp	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
U mpp	16 V	approx.	11.8 / 12.4 V
I mpp	22 A		
Battery			
Manufacturer	Generic		
Model	MPG 12V 125 F		
Technology	Lead-acid, sealed, Gel		
Nb. of units	1 Unit		
Discharging min. SOC	20.0 %		
Stored energy	1.2 kWh		
Battery Pack Characteristics			
Voltage	12 V		
Nominal Capacity	125 Ah (C10)		
Temperature	External ambient temperature		
Total PV power			
Nominal (STC)	0.400 kWp		
Total	8 modules		
Module area	2.9 m ²		

Figura 6.1 Datos del software PVsyst

Con base en los datos obtenidos del software PVsyst, presentados en la Figura 6.1, se muestra a continuación la Tabla 6.4, que compara los valores calculados con los proporcionados por el software.

Tabla 6.4 Valores calculados y medidos

Parámetro	Valor Calculado	Valor Simulado	Error relativo %
$N_{módulos}$	8	8	0%
$N_{modulos\ serie}$	0	1	0,01%
$N_{modulos\ paralelo}$	8	8	0%
$N_{bateria}$	2	1	0,01%
$N_{baterias\ serie}$	1	1	0%
$N_{baterias\ paralelo}$	0	1	0,01%
$P_{inversor}$	1000	1000	0%

Donde:

$N_{módulos}$, número de módulos fotovoltaicos

$N_{modulos\ serie}$, número de módulos fotovoltaicos en serie

$N_{bateria}$, número de baterías

$N_{baterias\ serie}$, número de baterías en serie

$N_{baterias\ paralelo}$, número de baterías en paralelo

$P_{inversor}$, potencia del inversor

Pese a las mínimas diferencias entre los valores calculados y los adquiridos mediante simulación, no parecen tener un efecto considerable en el diseño global del sistema. No obstante, se aconseja examinar los criterios empleados por PVsyst para efectuar estos cambios y confirmar que la configuración final satisface las necesidades del proyecto.

6.8 Pérdidas por inclinación

Para la inclinación del panel fotovoltaico se tomó en cuenta un ángulo de 30°, para facilitar el retiro de la suciedad acumulada por la lluvia sobre su superficie.

Seguidamente se procede a calcular la pérdida resultante de aumentar el nivel, con la siguiente Ecuación (10);**Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$Pérdidas(\%) = 100 * [1,2x10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2]; \text{ para } \beta \leq 30^\circ \quad (10)$$

Donde:

β Inclinación del panel

ϕ Latitud del lugar (grados decimales)

$$Pérdidas(\%) = 100 * [1,2x10^{-4}(30 - 78,66936 + 10)^2] = 17,94 \%$$

6.9 Energía suministrada anualmente

En el mes de Enero la energía diaria registrada es $3,874 \text{ Wh}/(\text{m}^2 * \text{día})$ y las pérdidas de inclinación (17,94%) de la Ecuación (10)

$$G_{dm}(\beta) = (G_{dm})(Pérdidas \text{ de orientación e inclinación}) \quad (11)$$

$$G_{dm}(\beta = 30^\circ) = \left(3,874 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{día}} \right) (100\% - 17,94\%)$$

$$G_{dm}(\beta = 30^\circ) = 3,179 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

6.10 Cálculo de la energía anual producida

Para calcular la cantidad que durante un día generó un por un sistema fotovoltaico, se utiliza la Ecuación (12);**Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$E_d = \frac{G_{dm}(\beta) * P_{Gmax} * PR}{G_{GEM}} \quad (12)$$

Donde:

$G_{dm}(\beta)$ Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano ($\text{kWh}/(\text{m}^2 * \text{día})$)

P_{Gmax} Potencia máxima o pico del generador fotovoltaico (kW)

PR Rendimiento energético de la instalación, valores típicos: 0,65-0,8

G_{GEM} Irradiación en condiciones estándar de medida ($1\text{kW}/\text{m}^2 \text{ constante}$)

Los resultados muestran que el coeficiente de rendimiento del sistema es de 0,78 tomando en cuenta las pérdidas en relación al cableado, inversor, lluvia, etc. Con la Ecuación (12);**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tiene:

$$E_d = \frac{\left(0,00318 \frac{kWh}{m^2 * día}\right) (0,5kW)(0,78)}{1 \frac{kW}{m^2}}$$

$$E_d = 1,24 \frac{Wh}{día}$$

La energía generada de forma diaria, mensual y anual por el sistema diseñado e implementado se presenta en la Tabla 6.5

Tabla 6.5 Energía diaria, mensual y anual del SF

MES	IRRADIACION W/m ²	ENERGIA DIARIA [Wh/(m ² * día)]	RENDIMIENTO	ENERGIA DIARIA PRODUCIDA (kWh/día)	DIAS DEL MES	ENERGIA MENSUAL (kWh/mes)
ENERO	3,874	3,179	0,78	1,240	31	38,438
FEBRERO	3,675	3,016	0,78	1,176	28	32,932
MARZO	3,530	2,897	0,78	1,130	31	35,020
ABRIL	3,691	3,029	0,78	1,181	30	35,435
MAYO	3,858	3,166	0,78	1,235	31	38,279
JUNIO	3,805	3,123	0,78	1,218	30	36,536
JULIO	3,802	3,120	0,78	1,217	31	37,724
AGOSTO	4,407	3,616	0,78	1,410	31	43,718
SEPTIEMBRE	4,809	3,947	0,78	1,539	30	46,174
OCTUBRE	4,473	3,670	0,78	1,431	31	44,376
NOVIEMBRE	4,274	3,507	0,78	1,368	30	41,032
DICIEMBRE	3,703	3,039	0,78	1,185	31	36,737
ENERGIA ANUAL (Wh/año)						466,403

La evaluación financiera posibilita determinar la rentabilidad de este proyecto. Para lograrlo, se utilizan los procedimientos de evaluación conocidos como el periodo de recuperación de la inversión.

En la siguiente Tabla 6.6 se detalla la inversión de la instalación del sistema fotovoltaico y en la Tabla 6.7 los gastos anuales de mantenimiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 6.6 Inversión del sistema fotovoltaico aislado a la red

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
1	Panel fotovoltaico IKAO 50W	10	54,52	545,2
2	Batería Powest 100 Ah	1	220	220
3	Controlador de carga solar PWM	1	40	40
4	Inversor 1000 W	1	40	40
5	Gabinete de acero inoxidable 100x60x30	1	90	90
6	Estructura para panel fotovoltaico	1	100	100
7	Breaker 2P-40Amp riel din	2	3,11	6,22
8	Breaker de control	1	1,6	1,6
9	Contactores Ebase de 40Amp a 120V	2	30,55	61,1
10	Selector de 3 posiciones	1	2,5	2,5
11	Luz piloto verde 110-220V	1	0,75	0,75
12	Luz piloto roja 110-220V	1	0,75	0,75
13	Cable concéntrico de 2 hilos número 8 AWG	10	2,5	25
14	Cable de 1 hilo número 8 AWG	2	1,65	3,3
			Subtotal	1136,42
			Transporte	10
			TOTAL \$	1146,42

Tabla 6.7 Gastos anuales del sistema fotovoltaico aislado a la red

ITEM	DESCRIPCION	COSTO ANUAL (\$)
1	Mantenimiento del Sistema Fotovoltaico Aislado a la Red (SFAR)	15
TOTAL \$		15

Tabla 6.8 Estudio financiero para el SF

AÑO	FLUJOS DE EFECTIVO	FLUJOS DE EFECTICO ACUMULADO
0	-1146,42	
1	16,79	48,58
2	31,79	80,37
3	46,79	127,16
4	61,79	188,95
5	76,79	265,74
6	91,79	357,53
7	106,79	464,32
8	121,79	586,11
9	136,79	722,91
10	151,79	874,70
11	166,79	1041,49
12	181,79	1223,28
13	196,79	1420,07
14	211,79	1631,86
15	226,79	1858,65
16	241,79	2100,44
17	256,79	2357,23
18	271,79	2629,02
19	286,79	2915,81
20	301,79	3217,60
21	316,79	3534,39
22	331,79	3866,18
23	346,79	4212,97
24	361,79	4574,76
25	376,79	4951,55
INVERSIÓN		1146,42
PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN		11,58

6.10.1 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Es el periodo requerido para recuperar la inversión, a través de los flujos de efectivo (precio del proyecto) y los flujos de efectivo acumulado (suma progresiva de los flujos de efectivo).

La Ecuación (14) es para calcular el periodo de recuperación compuesto.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d} \quad (13)$$

Donde:

a: Periodo anterior hasta recuperar la inversión

b: Inversión inicial

c: Suma de flujos de caja hasta el periodo anterior de recuperación de la inversión

d: Valor del flujo de caja del año en que se satisface la inversión

Considerando el periodo de recuperación de la inversión y teniendo en cuenta la Tabla 6.8, se llega a obtener lo siguiente:

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

$$PRI = 11 + \frac{1146,42 - 1041,49}{181,79}$$

$$PR_c = 11,58$$

La inversión podría recuperarse en aproximadamente 11 años, 6 meses y 8 días lo que hace este proyecto sea una opción viable para el sector social. Además, considerando que la vida útil de los paneles solares es de 25 años, el sistemas seguirá proporcionando beneficios económicos y energéticos por varios años después de su amortización.

6.11 Tiempo de carga y descarga de la batería.

6.11.1 Cálculo de la corriente de consumo

Para obtener el cálculo de la corriente que consume el sistema de toda la sala comunal se utiliza la Ecuación (14)

$$I_{consumida} = \frac{Potencia\ demanda}{V_{sistema}} \quad (14)$$

Sabiendo que la potencia demandada de la sala comunal es de 926 W como se observa en la Tabla 5.2 y el voltaje del sistema solar es de 108 V, se tiene que la corriente del sistema es:

$$I_{consumida} = \frac{926 \text{ W}}{108 \text{ V}} = 8,57 \text{ A}$$

6.11.2 Tiempo de descarga de la batería

Para calcular el tiempo de descarga de la batería se toma en cuenta que esta se encuentra totalmente cargada, se utiliza la Ecuación (15) sugerida por el autor [30]

$$T_{des} = \frac{V_{bat} * Capacidad_{bat}}{V_{bat} * I_{consumida}} * Prof_{descarga} \quad (15)$$

Se considera que la batería tiene una capacidad de 100 Ah, la corriente consumida calculada anteriormente es de 8,57 A se tiene que el tiempo de descarga es de:

$$T_{des} = \frac{12 \text{ V} * 100 \text{ Ah}}{12 \text{ V} * 8,57 \text{ A}} * 100\% = 11,6 \text{ h}$$

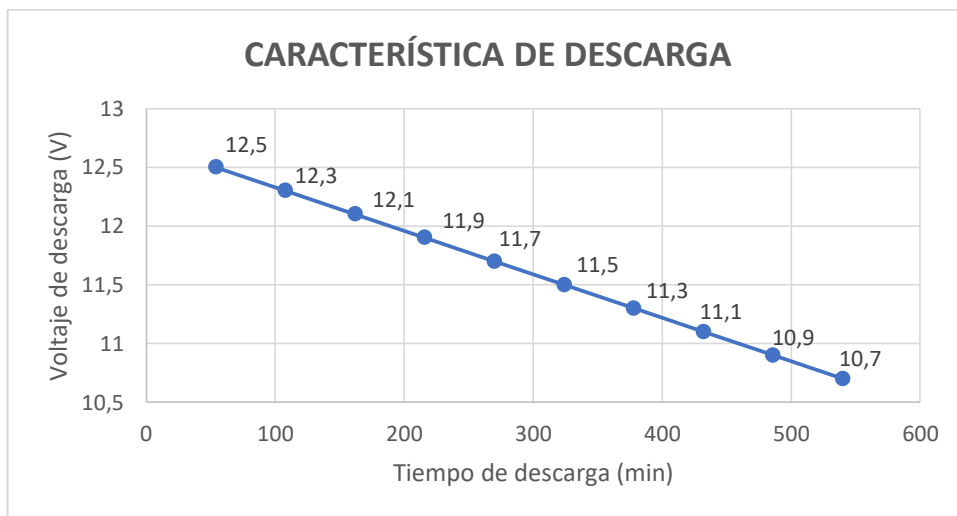


Figura 6.2 Tiempo de descarga de la batería

En la Figura 6.2, se observa que el voltaje de la batería disminuye de 12,5 V a 10,7 V en un período aproximado de 540 minutos (9 horas), bajo una condición de que toda la carga de la sala comunal está encendida al 100%

Utilizando la Ecuación (15) para el cálculo del tiempo de descarga, se obtuvo un valor de 11 horas, mientras que en la prueba experimental la batería alcanzó un tiempo de descarga de 9 horas (540 min). Esta diferencia de 2 horas puede atribuirse a diversos factores eléctricos, químicos y precisión de los instrumentos que afectan el desempeño real de la batería.

Es crucial asegurarse de que no se descargue por debajo de los 10,5 V para evitar daños en la batería a largo plazo.

6.11.3 Tiempo de carga de la batería

El tiempo de carga de la batería se considera que está totalmente descargada se utilizó la Ecuación sugerida por el autor [30]

$$T_c = \% \text{ batería} * \frac{\text{Capacidad}_{bat} * \eta}{I_{carga}} \quad (16)$$

Se considera que la batería tiene una capacidad de 100 Ah, eficiencia de 90% y la corriente de carga es de 5 A se tiene que el tiempo de carga de la batería de 50% al 100% es de:

$$T_c = 50\% \frac{100 \text{ Ah} * 0,9}{5 \text{ A}} = 9 \text{ h}$$

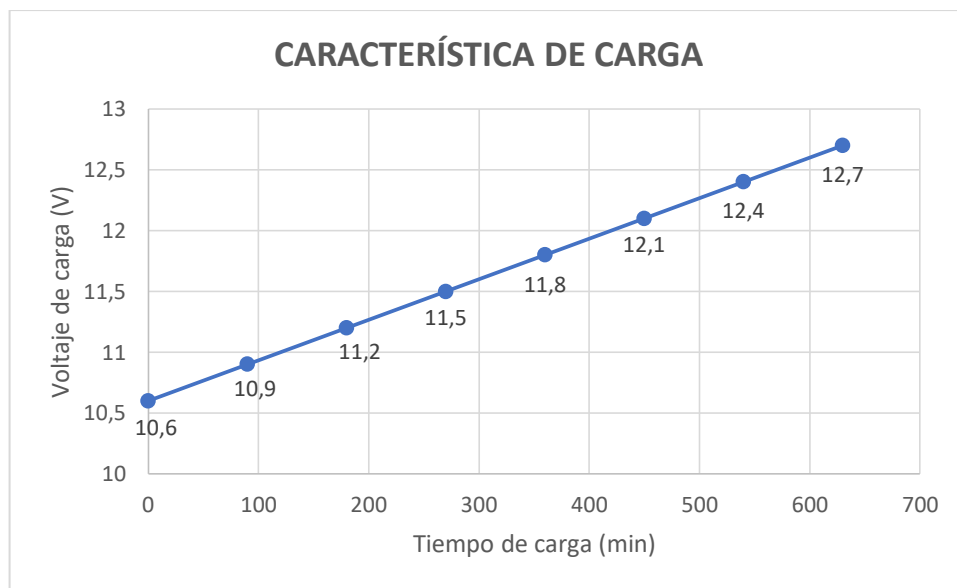


Figura 6.3 Tiempo de carga de la batería

Para la Figura 6.3 se observa que el voltaje inicial de la batería es de 10,6 V, lo que indica que se encontraba en un estado de descarga significativa. A medida que avanza el tiempo de carga, el voltaje se incrementa de manera progresiva hasta alcanzar un voltaje de 12,7 V en aproximadamente 600 minutos (10 horas).

Este comportamiento es característico de una batería sometida a un proceso de carga constante y que la batería está absorbiendo energía de manera eficiente.

La diferencia de 1 hora entre el cálculo teórico y la prueba experimental se encuentra dentro de un rango razonable y puede explicarse por la combinación de los ciclos de carga y la temperatura ambiente ralentiza el tiempo requerido para alcanzar un nivel de carga completo.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La energía solar presente en la comunidad de San José de Alapamalag fue esencial para la implementación del sistema fotovoltaico apartado a la red, ha demostrado ser una solución técnica y económicamente viable para garantizar un suministro confiable. El análisis de la radiación solar del sector confirma que la energía obtenida por los paneles solares es suficiente para abastecer la demanda eléctrica del recinto, reduciendo la utilización de fuentes de energía tradicionales.
- El dimensionamiento del sistema, incluye establecer el número adecuado de la cantidad de paneles solares, la capacidad del inversor, la reserva de baterías y el controlador de carga tipo PWM permitió desarrollar un sistema muy eficiente y adecuado para las condiciones de la comunidad. Los cálculos realizados garantizan la autonomía energética del sistema, incluso en días de baja irradiación solar.
- Las pruebas experimentales realizadas confirmaron que el sistema opera dentro de los parámetros esperados, con una eficiencia adecuada y un suministro energético estable. La correcta instalación y configuración de los equipos garantizaron su funcionamiento óptimo, validando el diseño teórico propuesto.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar inspecciones y mantenimiento periódicos al sistema fotovoltaico para garantizar su óptimo rendimiento. Es necesario limpiar los paneles solares regularmente y revisar el estado de las baterías, conexiones eléctricas y el inversor para prevenir futuras fallas.
- Se aconseja la instalación de un sistema de monitoreo en tiempo real para evaluar la generación y consumo de energía lo que permitiría detectar posibles fallos y optimizar el rendimiento del sistema.
- Se recomienda que la comunidad establezca un fondo de mantenimiento y reposición destinado a la sustitución de la batería, considerando su vida útil estimada de 10 años. Aunque la mano de obra inicial no representa un costo debido a su inclusión en el proyecto de vinculación, es fundamental que la comunidad planifique financieramente la futura inversión en baterías.

- Se sugiere gestionar el apoyo de instituciones gubernamentales y privadas para fortalecer el proyecto, ya sea mediante financiamiento para mejoras tecnológicas o capacitación adicional a la comunidad sobre el uso eficiente de la energía renovable.

8 REFERENCIAS

- [1] Barquero C, «Uso de energía solar en Costa Rica: una necesidad en respuesta a los efectos ocasionados por el cambio climático», pp. 1-22, 2022.
- [2] O. R. . C. C. A. . M. L. L. P. Medrano Pérez, «Generation Potential of Floating Photovoltaic Technology in Mexico», *Enerlac*, vol. VI, pp. 112-128, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-5445-1136>
- [3] N. . ENERLAC, Vol.IV, «Colectores solares de placa plana en Uruguay Eficiencia en la producción de energía eléctrica , Análisis de dos tipos de protecciones solares en Instalación solar de un proceso productivo , de edificios en Uruguay . Catalizadores para producción de gas na», 2020.
- [4] P. W. Villaseca Calle, «Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú», *Repos. Inst. - UCV*, pp. 0-2, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55584>
- [5] I. González-Correa y B. Aros-Briones, «Liderando Con El Ejemplo: El Programa Techos Solares Públicos (Ptsp) En Chile», *Rev. Estud. Políticos Y Estratégicos*, vol. 8, n.º 2, pp. 92-121, 2020.
- [6] G. S. Inca Yajamín, D. F. Cabrera Carrión, D. F. Villalta Gualán, R. C. Bautista Zurita, y H. D. Cabrera Carrion, «Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas», *Cienc. Lat. Rev. Científica Multidiscip.*, vol. 7, n.º 3, pp. 9493-9509, 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i3.6835.
- [7] J. C. G. David, J. G. M. Cesar, A. C. M. Fernando, y J. G. M. Luis, «manabí , ecuador proposal for an 824 , 86 MW photovoltaic plant in manabí , ecuador», *Upse*, vol. 9, pp. 85-100, 2022.
- [8] Á. Rafael, P. Ayabaca, C. Xavier, y P. Carpio, «DE TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES ENTRE ECUADOR Y ESPAÑA A RENEWABLE JOURNEY : THE EVOLUTION OF SUSTAINABLE TECHNOLOGIES BETWEEN».
- [9] B. G. Montero Encarnación, R. M. Ramos Tituana, y D. P. Molina Jiménez, «Optimización de la red de iluminación del laboratorio de electricidad del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego mediante la implementación de un sistema fotovoltaica OFF-GRID», *Polo del Conoc.*, vol. 9, n.º 2, pp. 2489-2512, 2024, doi: 10.23857/pc.v9i2.6755.
- [10] B. P. Suatunce-chiliqinga, D. F. Trujillo-ronquillo, y Y. Morales-tamayo, «Byron Pablo Suatunce-Chiliqinga», vol. 10, pp. 671-687, 2024.
- [11] M. Quezada, J. Carlos, C. Sánchez, y R. Andreé, *Implementación y ejecución de un sistema fotovoltaico aislado residencial, en zona costera de la provincia del Guayas*. 2023.
- [12] M. Martínez y A. Mora, *Diseño E Implementación De Un Sistema Fotovoltaico Para El Suministro De Energía Eléctrica En Vivienda En Zona Rural Donde No Llega El Tendido Eléctrico Situado En El Golfo De Guayaquil - Comunidad Masa 2*. 2022. [En línea].

Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22810>

- [13] M. Morillo y W. Ayala, «Implementación de reflectores con paneles fotovoltaicos para la iluminación de la cancha sintética del bloque B en la Universidad Técnica de Cotopaxi», pp. 64-81, 2021, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7943>
- [14] F. De *et al.*, *Universidad Técnica De Cotopaxi "Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Conectado a La Red En*. 2019.
- [15] J. Constante y E. Palacios, *El Recurso Solar Para Generación De Energía*. 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6791>
- [16] A. J. Morales Peñafiel y D. A. Gómez Bravo, «Dimensionamiento E Implementación De Paneles Fotovoltaicos Aplicados Al Área Residencial En Un Sector Costero De La Provincia Del Guayas, Ecuador», pp. 1-104, 2022.
- [17] H. M. Cadena Gallardo y C. S. Carrión Moreno, «Modelamiento De Un Módulo Fotovoltaico Para Alimentar El Sistema De Comunicaciones En La Empresa “Innovación En Redes Y Telecomunicaciones Cotopaxi”», pp. 23-24, 2024, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11975>
- [18] M. Barrio y M. Casa, *Instalaciones solares fotovoltaicos*. 2017.
- [19] C. Grijalva y F. Vélez, «“Estudio e implementación de un Sistema Fotovoltaico aplicado a luminarias: Caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero”», *Univ. Politec. Sales.*, vol. 0, n.º 0, pp. 1-97, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>
- [20] S. Energètica, «Autor: Trinidad Sofía Gutiérrez Sepúlveda Análisis comparativo entre inversores y microinversores para la generación de energía solar fotovoltaica», 2022.
- [21] F. Gruezo, D. Valencia, S. Solis, y V. Mora, «Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica Smart solar photovoltaic inverters Inversores solares fotovoltaicos inteligentes», *Pol. Con*, vol. 7, n.º 4, pp. 1246-1266, 2022, doi: 10.23857/pc.v7i4.3887.
- [22] B. C. Cañizales Perdomo, J. L. Ponce Guerrero, y P. J. Ramírez Parra, «Comparación de la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica en los paneles solares para estaciones meteorológicas en diferentes zonas del Ecuador», *Pro Sci. Rev. Prod. Ciencias e Investig.*, vol. 6, n.º 45, pp. 109-118, 2022, doi: 10.29018/issn.2588-1000vol6iss45.2022pp109-118.
- [23] F. DE Mecánica, P. por, y J. Diego Cruz Freire Darwin Vinicio Chimbo Chimbo, «Escuela Superior Politécnica De Chimborazo», 2015.
- [24] I. E. Chunga, «Diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para el radar de lluvias de UDEP», pp. 1-122, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4787>
- [25] A. Guale y J. Alvarado, *Marzo 2024 – CID - Centro de Investigación y Desarrollo Copyright © CID - Centro de Investigación y Desarrollo Copyright del texto © 2024 de Autores*. 2024.
- [26] «Escuela politécnica nacional», 2024.
- [27] M. P. Andrade Marín, «Estudio para la implementación de generación fotovoltaica para

autoabastecimiento en la empresa industrial “Tornasol”». 2021. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21733>

- [28] BCE, «Tasas de Interés Efectivas», BCE. [En línea]. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasHistorico.htm>
- [29] ARCONEL, «Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica año 2024», ARCONEL. [En línea]. Disponible en: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/Pliego-Tarifario-SPEE-2024_compressed.pdf
- [30] V. Vakharia, M. Shah, P. Nair, H. Borade, P. Sahlot, y V. Wankhede, «Estimation of Lithium-ion Battery Discharge Capacity by Integrating Optimized Explainable-AI and Stacked LSTM Model», *Batteries*, vol. 9, n.º 2, 2023, doi: 10.3390/batteries9020125.

ANEXOS

Anexo 1 Características de la Batería Sellada

FL Full Battery
FL12-100GS

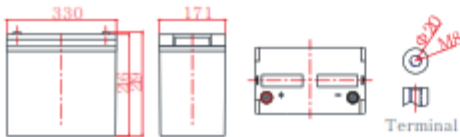


Características generales

- > Alto rendimiento resistente a la corrosión: Rejilla multialeación Pb-Ca.
- > Alta densidad de energía y densidad de potencia.
- > Capacidad optimizada de descarga instantánea de alta corriente.
- > Excelente capacidad de aceptación de carga.
- > Excelente capacidad de descarga de ciclo profundo.
- > Fuerte rendimiento a altas y bajas temperaturas.
- > Tecnología de sellado de precisión.



Dimensión: 330(Largo)×171(Ancho) ×216(Alto)×219(T) Unidad: mm



BATERÍA SELLADA 12V-100Ah

Aplicaciones

- > Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)
- > Sistema de alimentación eléctrica
- > Fuente de alimentación de reserva de emergencia
- > Luz de emergencia
- > Sistema de alarma y seguridad
- > Aparatos y equipos electrónicos
- > Equipos de comunicación
- > Sistema de control automático
- > Propósito general

Especificación

Voltaje nominal	12V						
Capacidad nominal	100Ah						
Vida de diseño	10 años						
Terminal	MB						
Peso Aprox.	Aprox. 28.0Kg						
Material del contenedor	ABS						
Capacidad nominal	<table border="1"> <tr> <td>100.0 Ah</td> <td>10 horas (5.00A a 10.5V)</td> </tr> <tr> <td>93.9Ah</td> <td>3 horas (93.9A a 10.5V)</td> </tr> <tr> <td>75.3Ah</td> <td>1 hora (25.1A a 10.5V)</td> </tr> </table>	100.0 Ah	10 horas (5.00A a 10.5V)	93.9Ah	3 horas (93.9A a 10.5V)	75.3Ah	1 hora (25.1A a 10.5V)
100.0 Ah	10 horas (5.00A a 10.5V)						
93.9Ah	3 horas (93.9A a 10.5V)						
75.3Ah	1 hora (25.1A a 10.5V)						
Resistencia interna	Carga completa a 25°C: Aprox. 5.0mΩ						
Máx. Corriente de descarga	1200A(5s)						
Temperatura de funcionamiento:	Descargar: -20 ~50°C (-4~ 122°F) Carga: -20 ~50°C (-4~ 122°F) Almacenamiento: -20 ~50°C (-4~ 122°F)						
Método de carga (25°C)	Corriente de carga: Max.25A; Recom. 10A Carga flotante: 13.5-13.8V, recom.13.8V(-18mV/°C) Igualación la carga: 13.8-14.1V, recom.14.1V(-24mV/°C) Ciclo de carga: 14.4-15.0V, recom.14.7V(-30mV °C)						
Autodescarga	3% de capacidad disminuida por mes a 25°C						

Características de descarga de Corriente constante Unidad: A/Celda a 25°C

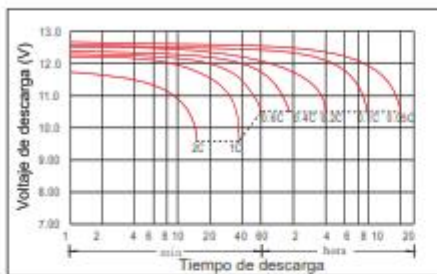
FV/Tiempo	5min	15min	30min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	328	176	107	62.6	35.9	26.0	17.5	11.5	9.67	5.07
1.65V	317	171	105	62.2	35.7	25.8	17.3	11.4	9.57	5.05
1.70V	305	167	103	61.8	35.4	25.4	17.1	11.3	9.48	5.02
1.75V	280	161	102	60.8	34.9	25.1	16.9	11.2	9.39	5.00
1.80V	251	151	98.0	59.3	34.2	25.0	16.5	11.1	9.29	4.97
1.85V	224	134	89.4	54.9	32.5	23.5	15.7	10.7	9.01	4.89

Características de descarga de Potencia constante Unidad: W/Celda a 25°C

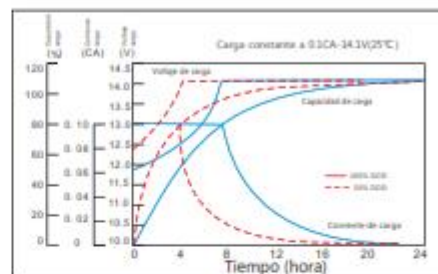
FV/Tiempo	5min	15min	30min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	591	333	208	127	73.0	53.3	35.7	24.0	20.0	10.8
1.65V	568	328	206	126	72.8	52.6	35.5	23.8	19.8	10.8
1.70V	565	324	206	125	72.5	52.3	35.2	23.7	19.6	10.7
1.75V	527	322	205	124	72.1	52.0	35.0	23.5	19.4	10.7
1.80V	484	304	201	123	71.9	51.8	34.6	23.3	19.2	10.6
1.85V	432	272	184	115	68.7	49.3	33.0	22.5	18.9	10.5

Descargo de responsabilidad: los fabricantes tienen derecho a modificar por sí mismos los parámetros de las actualizaciones del producto; manténgase en contacto con los fabricantes para obtenerla información más reciente.

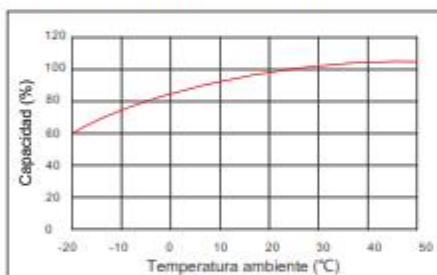
Característica de descarga



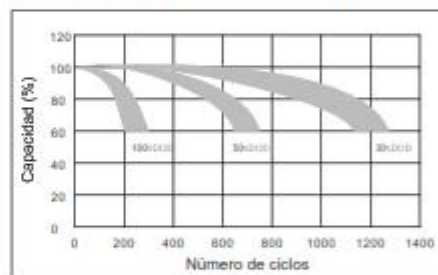
Característica de carga



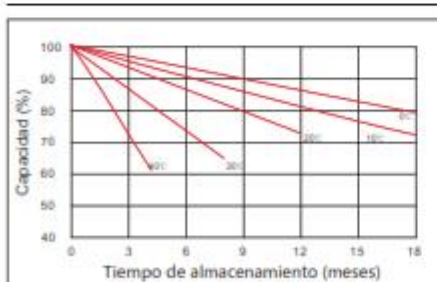
El efecto de la temperatura en la capacidad



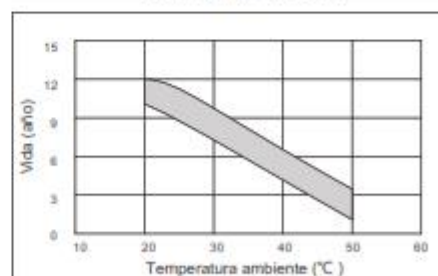
El efecto de la profundidad de descarga en el ciclo de vida



Curvas de autodescarga



El efecto de la temperatura en la vida útil (flotación)



www.powest.com (+57) 601 570 9000 - (593) 22030755 - (593) 994294590 serviciocliente@powest.com
POWEST COLOMBIA
 Carrera 62 N° 14 - 65
 Zona Industrial- Puente Aranda
 Bogotá D.C. Colombia
POWEST ECUADOR
 Calderon Calle Jose Viteri Y Geovanni Calles
 Bodegas Loginet N 9.
 Quito - Ecuador

00847_100Ah-03





PVsyst V8.0.6

PVsyst - Simulation report

Standalone system

Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

Standalone system with batteries

System power: 400 Wp

Hacienda Alpamala de Velasco - Ecuador

| Author



Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
 VC0. Simulation date:
 23/02/25 10:40
 with V8.0.6

Project summary				
Geographical Site Hacienda Alpamala de Velasco Ecuador	Situation		Project settings	
	Latitude	-1.05 °S	Albedo	0.20
	Longitude	-78.67 °W		
	Altitude	2965 m		
	Time zone	UTC-5		
Weather data Hacienda Alpamala de Velasco PVGIS api TMY				

System summary			
Standalone system		Standalone system with batteries	
Orientation #1		User's needs	
Fixed plane		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	25 / 0 °	Constant over the year	
		Average	1.4 kWh/Day
System information			
PV Array		Battery pack	
Nb. of modules	8 units	Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Pnom total	400 Wp	Nb. of units	1 unit
		Voltage	12 V
		Capacity	125 Ah

Results summary					
Useful energy from solar	288.60 kWh/year	Specific production	721 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	40.70 %
Missing Energy	204.88 kWh/year	Available solar energy	478.57 kWh/year	Solar Fraction SF	58.46 %
Excess (unused)	114.45 kWh/year				

Table of contents	
Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8



Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
 VC0. Simulation date:
 23/02/25 10:40
 with V8.0.6

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
Orientation #1		Models used	
Fixed plane		Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	25 / 0 °	Diffuse	Imported
		Circumsolar	separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	1.4 kWh/Day		

PV Array Characteristics			
PV module		Controller	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	Mono 50 Wp 36 cells	Model	Isoler 30
	(Original PVsyst database)	Technology	MP Series transistor
Unit Nom. Power	50 Wp	Temp coeff.	-5.0 mV°C/Elem.
Number of PV modules	8 units	Battery Management control	
Nominal (STC)	400 Wp	Threshold commands as	SOC calculation
Modules	8 string x 1 In series	Charging	SOC = 0.90 / 0.75
At operating cond. (50°C)		approx.	13.7 / 12.8 V
Pmpp	360 Wp	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
U mpp	16 V	approx.	11.8 / 12.4 V
I mpp	22 A		
Battery			
Manufacturer	Generic		
Model	MPG 12V 125 F		
Technology	Lead-acid, sealed, Gel		
Nb. of units	1 Unit		
Discharging min. SOC	20.0 %		
Stored energy	1.2 kWh		
Battery Pack Characteristics			
Voltage	12 V		
Nominal Capacity	125 Ah (C10)		
Temperature	External ambient temperature		
Total PV power			
Nominal (STC)	0.400 kWp		
Total	8 modules		
Module area	2.9 m²		

Array losses			
Array Soiling Losses		Thermal Loss factor	
Loss Fraction	3.0 %	Module temperature according to irradiance	
		Uc (const)	20.0 W/m²K
		Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s
Series Diode Loss		Module Quality Loss	
Voltage drop	0.7 V	Loss Fraction	-0.8 %
Loss Fraction	3.9 % at STC	Module mismatch losses	
		Loss Fraction	0.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			
Loss Fraction	0.1 %		
		DC wiring losses	
		Global array res.	12 mΩ
		Loss Fraction	1.5 % at STC



Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
VC0, Simulation date:
23/02/25 10:40
with V8.0.6

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

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



Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
 VC0. Simulation date:
 23/02/25 10:40
 with V8.0.6

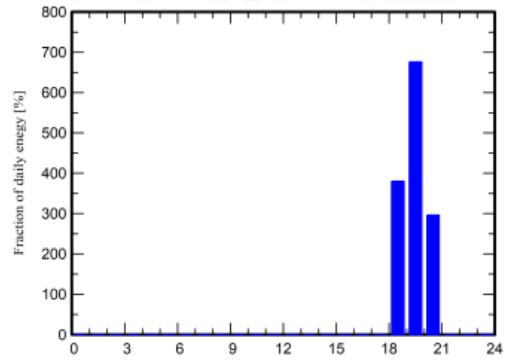
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 1.4 kWh/day

Annual values

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
FOCOS LED INTERIOR	11	20/lamp	2.0	440
FOCOS LED EXTERIOR	8	20/app	2.0	320
FOCOS PARTE PANELES	2	23/app	2.0	92
PARLANTE ES-15DJ	1		1	300
AMPLIFICADOR CR-OW	1		1	200
Total daily energy				1352

Hourly distribution





Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

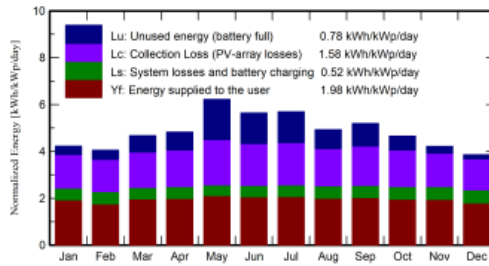
Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
 VC0. Simulation date:
 23/02/25 10:40
 with V8.0.6

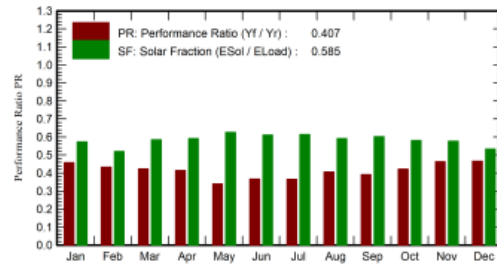
Main results

System Production			
Useful energy from solar	288.60 kWh/year	Perf. Ratio PR	40.70 %
Available solar energy	478.57 kWh/year	Solar Fraction SF	58.46 %
Excess (unused)	114.45 kWh/year		
Loss of Load		Battery aging (State of Wear)	
Time Fraction	5.8 %	Cycles SOW	72.4 %
Missing Energy	204.88 kWh/year	Static SOW	91.7 %
		Battery lifetime	3.6 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	158.7	121.1	34.71	4.43	17.90	24.01	41.91	0.573
February	132.9	105.3	30.08	4.38	18.16	19.70	37.86	0.520
March	155.1	136.0	39.18	8.58	17.36	24.55	41.91	0.586
April	144.3	136.6	39.37	9.24	16.56	24.00	40.56	0.591
May	176.9	183.4	53.29	21.31	15.64	26.27	41.91	0.627
June	150.2	160.0	46.36	15.63	15.74	24.82	40.56	0.612
July	158.6	166.7	48.32	16.31	16.13	25.78	41.91	0.615
August	147.4	144.1	41.54	10.04	17.08	24.84	41.91	0.592
September	162.1	146.4	42.21	11.54	16.11	24.45	40.56	0.602
October	162.8	134.1	38.52	7.40	17.52	24.39	41.91	0.582
November	155.6	116.8	33.50	3.44	17.13	23.43	40.56	0.578
December	152.9	110.1	31.49	2.16	19.55	22.36	41.91	0.533
Year	1857.7	1660.7	478.57	114.45	204.88	288.60	493.48	0.585

Legends

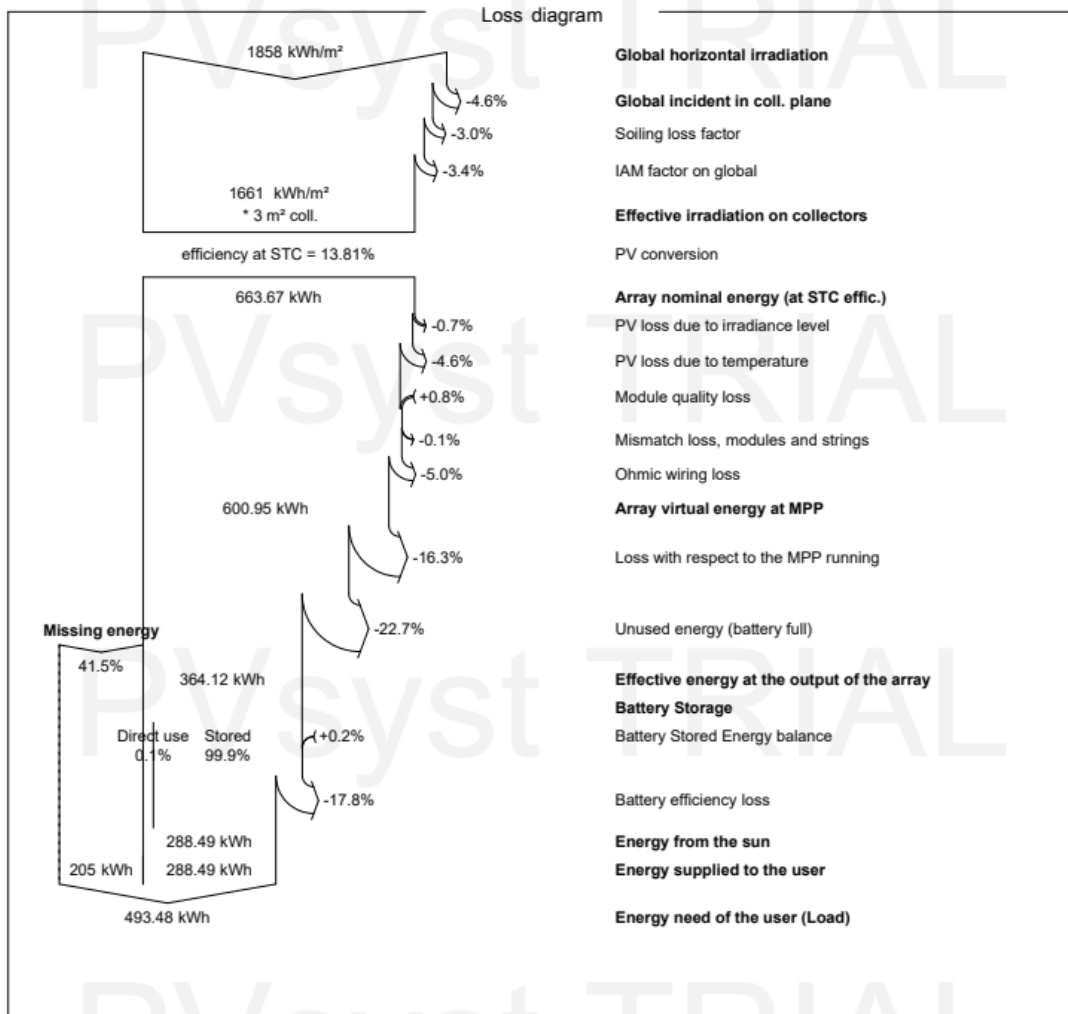
GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		



Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
 VC0. Simulation date:
 23/02/25 10:40
 with V8.0.6





Project: SALA COMUNAL ALPAMALAG

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.6
VC0. Simulation date:
23/02/25 10:40
with V8.0.6

