



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA EN ELECTRICIDAD

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA
ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA IGLESIA DE SAN JOSÉ DE
ALPAMALAG**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

AUTORES:

Edison Camilo Vega Semblantes

Henry Daniel Lema Sangucho

TUTOR:

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc.

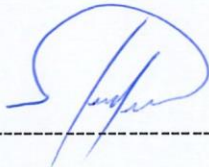
LATACUNGA, AGOSTO, 2025

Latacunga Julio del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Lema Sangucho Henry Daniel, con cédula de ciudadanía No 0504236985 y **Vega Semblantes Edison Camilo**, con cédula de ciudadanía No 0504072950, declaramos ser autores del presente Proyecto de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA IGLESIA 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.



Lema Sangucho Henry Daniel

C.C. 0504236985



Vega Semblantes Edison Camilo

C.C. 0504072950

AVAL DEL TUTOR DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

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

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA IGLESIA DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”, de Lema Sangucho Henry Daniel y Vega Semblantes Edison Camilo, 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, 28 de Julio de 2025



Franklin Hernán Vásquez Teneda
C.C.: 1710434497

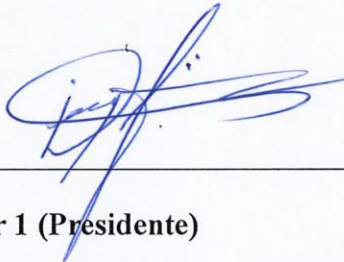
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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, los postulantes: Lema Sangucho Henry Daniel y Vega Semblantes Edison Camilo, con el título del Proyecto de Investigación, propuesta tecnológica: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA IGLESIA 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, 28 de Julio de 2025

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. Jiménez Jiménez Diego Leonardo

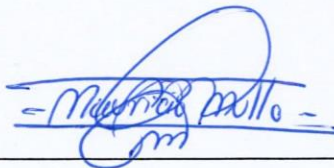
CC: 0503493702



Lector 2

Nombre: Ing. Rueda Flores Walter Paul

CC: 0503689895



Lector 3

Nombre: Ing. Mullo Pallo Mauricio Eduardo

CC: 0503755183

AGRADECIMIENTO

Con un profundo agradecimiento, deseo expresar mi más sincera gratitud a Dios, por la fortaleza y sabiduría que me ha brindado para superar los desafíos y continuar adelante en este importante camino de mi vida. Mi agradecimiento también es para mis abuelitos, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi desarrollo. A mi abuelita, quien me ha dado su amor incondicional, guiándome siempre con su apoyo y sabiduría. A mi abuelito, por ser mi ejemplo de perseverancia y por inculcarme los valores que me han permitido avanzar en la vida.

Mi agradecimiento también va dirigido a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de su comunidad académica, un espacio que ha enriquecido mi vida profesional y personal. Agradezco profundamente a los docentes y a todo el personal que hizo posible mi formación en esta institución.

Especialmente, agradezco al Ing. Franklin Vásquez, cuyo conocimiento y orientación fueron esenciales para la realización de este proyecto. Su apoyo y disposición para compartir su experiencia me ayudaron a dar los pasos necesarios para lograr mis objetivos.

Daniel Lema

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a ti, mi amor, por ser mi fuente de inspiración, fuerza y motivación en cada paso que doy. Gracias por estar a mi lado, por apoyarme y por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre. Tu amor incondicional y tu paciencia me han dado la fuerza necesaria para enfrentar todos los desafíos que la vida me ha presentado.

A ti, que siempre me has mostrado lo hermoso que es seguir adelante, incluso cuando los caminos parecen oscuros. Con tu apoyo y tus palabras, he aprendido a nunca rendirme, a siempre seguir luchando por mis sueños, por nuestros sueños.

Gracias por ser mi compañera, mi amiga y mi amor. Por darme tu cariño y comprensión en todo momento, sin importar las circunstancias. Eres el motor que me impulsa a ser mejor cada día.

Daniel Lema

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, institución que me abrió sus puertas y me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, específicamente en la Carrera de Ingeniería en Electricidad. Gracias a su compromiso con la excelencia académica y a los recursos ofrecidos, he podido desarrollar las competencias necesarias para culminar con éxito este proceso formativo.

Agradezco especialmente a los docentes y autoridades de la facultad, quienes con su dedicación, experiencia y guía han sido pilares fundamentales en mi crecimiento académico y personal. Su orientación constante y exigencia académica han sido esenciales para la realización de esta tesis.

Manifiesto una especial gratitud al Ingeniero Franklin Vásquez, tutor de esta tesis, por su invaluable apoyo, dedicación y guía a lo largo de todo el proceso investigativo. Su paciencia, compromiso y vastos conocimientos fueron determinantes para superar los desafíos y alcanzar los objetivos planteados. Su acompañamiento constante y sus valiosas sugerencias enriquecieron significativamente el desarrollo de esta investigación.

Edison Vega

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con respeto y gratitud a mis hermanos Vega Semblantes, quienes me han brindado apoyo constante en mi formación académica. De manera especial, a mis padres, Luis H y María M, por su comprensión y ayuda en momentos difíciles. Ellos me enseñaron a enfrentar adversidades sin perder la dignidad y me dieron mis valores, principios y perseverancia, siempre con amor incondicional.

También dedico este trabajo al amor de mi vida, Lourdes, quien iluminó mis días oscuros y celebró conmigo cada logro. Su paciencia, comprensión y amor han sido fundamentales para mantener mi equilibrio y dar lo mejor de mí. No podré agradecerle lo suficiente.

Quiero reconocer especialmente a mi amigo, el Sargento Marco Cuyo de la Policía Judicial, por su apoyo incondicional y amistad durante este proceso, un verdadero ejemplo de dedicación.

Finalmente, agradezco a todos mis amigos, compañeros y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron al logro de mis objetivos. Su ayuda y compañía han sido valiosas en este camino.

Edison Vega

ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.3.1 Objeto de investigación	4
2.3.2 Campo de Acción	4
2.4 BENEFICIARIOS.....	4
2.4.1 Directos.....	4
2.4.2 Indirectos	4
2.5 JUSTIFICACIÓN	5
2.6 OBJETIVOS	5
2.6.1 General	5
2.6.2 Específicos.....	5
2.7 SISTEMA DE TAREAS.....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1 Antecedentes.....	7
3.2 Electricidad	9
3.3 Tipos de corrientes eléctricas	10
3.3.1 Corriente alterna	10
3.3.2 Corriente continua	10
3.4 Ley de OHM.....	11
3.5 Fuentes de energía renovable	12
3.6 Recurso solar en ecuador	12
3.7 Energía solar	12
3.8 Radiación solar.....	13

3.8.1 Radiación directa.....	14
3.8.2 Radiación difusa.....	14
3.8.3 Radiación reflejada.....	14
3.9 Irradiancia (G).....	14
3.10 Irradiación (H).....	15
3.11 Hora solar pico (HSP)	15
3.12 Energía solar fotovoltaica	16
3.13 Inclinação de los paneles fotovoltaicos	16
3.14 Sistema sin conexión a la red OFF GRID.....	18
3.15 Componentes de un sistema fotovoltaico	18
3.15.1 Panel Solar	19
3.15.2 Batería.....	19
3.15.3 Controlador o regulador de carga.....	20
3.15.4 Inversor.....	21
3.15.5 Estructura de soporte.....	22
3.15.6 Cableado.....	22
3.16 Tipos de paneles fotovoltaicos.....	23
3.16.1 Celdas de silicio monocristalino.....	23
3.16.2 Celdas de silicio policristalino.....	23
3.16.3 Celdas de silicio amorfo	24
3.17 Conexiones de paneles solares	25
3.18 Puesta a tierra	26
3.18.1 Norma aplicada para sistemas fotovoltaicos	27
3.18.2 Calibre mínimo para la puesta a tierra.....	27
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	27
4.1 Diagrama de flujos del sistema fotovoltaico.....	27
4.2 Zona de estudio.....	29

4.3 Representación gráfica	31
4.4 Dimensionamiento de los equipos	33
4.4.1 Voltajes DC de operación.....	36
4.4.2 Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos	37
4.4.2.1 Cálculo de la demanda energética diaria total.....	38
4.4.2.2 Cálculo de la potencia total de los paneles solares	38
4.4.2.3 Cálculo del número de paneles solares.....	38
4.4.3 Dimensionamiento de la batería	39
4.4.4 Dimensionamiento del controlador de carga.....	40
4.4.5 Dimensionamiento del inversor OFF GRID.....	41
4.4.6 Dimensionamiento de conductores y protecciones de sobre corriente.....	42
4.4.7 Dimensionamientos de la estructura de paneles	42
4.5 Materiales y herramientas	43
4.6 Proceso de implementación del sistema fotovoltaico	48
4.6.1 Conexión de los paneles al tablero de control	52
4.6.2 Ubicación e instalación del tablero de transferencia	55
4.6.3 Instalación de puesta a tierra en el tablero del sistema fotovoltaico	55
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
5.1 Pruebas de voltaje	57
5.1.1 Voltaje de la batería DC	57
5.1.2 Voltaje de la carga AC	58
5.1.3 Voltaje de la red eléctrica	59
5.1.4 Voltaje del sistema fotovoltaico	59
5.2 Pruebas de corriente	60
5.2.1 Corriente de la red eléctrica.....	60
5.2.2 Corriente del sistema fotovoltaico.....	60
5.2.3 Cálculo de la corriente de consumo.....	61

5.2.4 Cálculo del tiempo de descarga de la batería	61
5.2.5 Cálculo del tiempo de carga de la batería.....	62
5.2.5.1 Cálculo de energía total almacenada en la batería.....	62
5.2.5.2 Seguidamente se debe ajustar el sistema por eficiencia de carga.....	62
5.2.5.3 Cálculo de tiempo de carga	62
5.2.5.4 Cálculo de la energía total utilizada en el sistema fotovoltaico	63
5.3 Análisis presupuestario	63
6. CONCLUSIONES.....	65
7. RECOMENDACIONES.....	65
8. BIBLIOGRAFÍA	66

Figura 1. Corriente alterna	10
Figura 2. Corriente continua	10
Figura 3. Ley de OHM	11
Figura 4. Rango de frecuencias dentro del espectro electromagnético.	13
Figura 5. Tipos de radiación solar	14
Figura 6. Hora solar pico.	15
Figura 7. Célula fotovoltaica.	16
Figura 8. Inclinación para paneles fotovoltaicos	16
Figura 9. Inclinación de su órbita	18
Figura 10. Panel solar.	19
Figura 11. Batería de Gel.	20
Figura 12. Controlador de carga.	21
Figura 13. Inversor.	22
Figura 14. Estructura solar.	22
Figura 15. Conductor de paneles.	23
Figura 16. Módulos fotovoltaicos de acuerdo a la estructura cristalina de sus celdas.	24
Figura 17. Curvas características de corriente-voltaje de un módulo fotovoltaico.	24
Figura 18. Conexión en serie o paralelo de paneles para obtener mayor tensión o mayor corriente.	26
Figura 19. Diagrama de flujo	28
Figura 20. Ubicación geográfica.	29
Figura 21. Variación de la radiación Global, Directa y difusa con respecto a cada mes del año.	31
Figura 22. Temperatura mes.	32
Figura 23. Variación de la temperatura con respecto a cada mes del año.	32
Figura 24. Histograma de frecuencias de la radiación global.	33
Figura 25. Histograma de frecuencias del mes de enero y junio.	33
Figura 26. Estimaciones mensuales de irradiación solar.	35
Figura 27. modelado paramétrico y simulación de piezas y ensamblajes.	42
Figura 28. Estructura de la parte lateral izquierda derecha.	43
Figura 29. Panel fotovoltaico.	43
Figura 30. Ubicación de las estructuras metálicas.	49
Figura 31. Perforación para empotrar la estructura.	49

Figura 32. Inclinación de paneles.	50
Figura 33. Perfeccionamiento del ángulo de inclinación.	50
Figura 34. Perforación para anclaje de paneles.	51
Figura 35. Culminación de la colocación de paneles solares.	51
Figura 36. Conexión de paneles solares.	52
Figura 37. Diseño de tablero de control.	52
Figura 38. Tablero de control físico.	53
Figura 39. Diseño del tablero de transferencia manual.	53
Figura 40. Leyenda del sistema de control y transferencia.	54
Figura 41. Implementación del tablero de control y transferencia del sistema fotovoltaico. ...	54
Figura 42. Reconocimiento del lugar para el SPT.	56
Figura 43. Ubicación de la varilla copperweld.	56
Figura 44. Sistema de puesta a tierra implementado.	57
Figura 45. Medición del voltaje de la batería.	58
Figura 46. Medición de la carga AC.	58
Figura 47. Red eléctrica.	59
Figura 48. Medición del sistema fotovoltaico.	59
Figura 49. Medición de corriente en la red eléctrica.	60
Figura 50. Medición en el sistema fotovoltaico.	60
Figura 51. Tiempo de descarga de la batería.	61
Figura 52. Tiempo de carga de la batería.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modalidad de titulación.	1
Tabla 2. Área de conocimiento UNESCO.	2
Tabla 3. Sistema de tareas del proyecto.	6
Tabla 4. Grado de orientación Azimut en el Ecuador.	17
Tabla 5. Ubicación de Alpamalag.	29
Tabla 6. Datos de irradiancia global media diaria año 2023.	30
Tabla 7. Elaboración propia.	34
Tabla 8. Irradiación global promedio diaria de San José de Alpamalag.	35
Tabla 9. Data características del voltaje DC.	37
Tabla 10. Características del panel IKAO.	37
Tabla 11. Características de la batería.	39
Tabla 12. Características del Regulador de Carga.	40
Tabla 13. Placa característica de inversor.	41
Tabla 14. Herramientas e Instrumentos.	44
Tabla 15. Materiales utilizados.	45
Tabla 16. Presupuesto del proyecto.	64

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA IGLESIA DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”

Autores:

Henry Daniel Lema Sangucho

Edison Camilo Vega Semblantes

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica tiene como propósito principal implementar un sistema fotovoltaico aislado que permita abastecer la demanda eléctrica de la Iglesia de San José de Alpamalag, situada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. Como una alternativa sostenible que aprovecha la energía solar, un recurso limpio, abundante y constante en la región, mediante un sistema autónomo que garantice un servicio eléctrico continuo, eficiente y amigable con el medio ambiente. El proyecto incluye un análisis técnico detallado de la irradiación solar en la zona, así como el estudio de las cargas eléctricas de la iglesia. Posteriormente, se procedió al dimensionamiento de los equipos necesarios, incluyendo paneles solares, baterías, inversores, reguladores de carga y estructuras de soporte. La demanda energética diaria fue calculada en 2680W, la cual será cubierta mediante la instalación de 15 paneles solares de 55W y un banco de baterías de ciclo profundo, diseñado para garantizar autonomía durante todo el día. Las pruebas realizadas confirmaron la operatividad y eficiencia del sistema propuesto, para promover. El uso de energías limpias, reduce emisiones contaminantes y fortalece la calidad de vida local.

Palabras clave: fotovoltaico, energía, demanda, comunidad y dimensionamiento.



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 AISLADO PARA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA IGLESIA DE SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”** presentado por: **Henry Daniel Lema Sangucho y Edison Camilo Vega Semblantes**, egresados de la Carrera de: Ingeniería en Electricidad, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, 28 julio del 2025

Atentamente,

Mg. Marcelo Pacheco Pruna
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502617350

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer la demanda eléctrica de la iglesia de San José de Alpamalag.

Modalidad de Titulación:

Tabla 1. Modalidad de titulación.

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	X
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional

Equipo de trabajo de titulación:

Sr. Lema Sangucho Henry Daniel

Sr. Vega Semblantes Edison Camilo

Tutor:

Ing. Vásquez Teneda Franklin Hernán MSc.

Área de Conocimiento:

Tabla 2. Área de conocimiento UNESCO.

07 ingeniería, Industria y Construcción	071 ingeniería y Profesiones Afines	0712 tecnología de protección del medio ambiente
		0713 electricidad y Energía.

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y explotación eficiente de sistemas eléctricos con energía convencional y alternativa.

2. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de energía fotovoltaica consisten en células que convierten la luz directamente en electricidad. Dado que suelen utilizar la luz solar, estos sistemas se conocen comúnmente como paneles solares. En los últimos años, esta tecnología ha experimentado un gran crecimiento a nivel mundial gracias a sus numerosas ventajas: es respetuosa con el medio ambiente gracias a sus bajas emisiones contaminantes; es una solución moderna y tecnológicamente avanzada; y resulta económica gracias a sus bajos costos de instalación y operación.

La ubicación geográfica de Ecuador puede considerarse privilegiada en cuanto a la exposición solar, ya que el país recibe luz solar de manera constante a lo largo del año, sin grandes variaciones provocadas por los cambios climáticos. Además, los rayos del sol llegan de forma perpendicular y con un ángulo definido, lo cual crea condiciones ideales para aprovechar esta fuente de energía mediante sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, el desarrollo de esta tecnología se ha concentrado principalmente en zonas alejadas de los centros urbanos, donde no llega el servicio eléctrico del sistema nacional [1].

Una opción viable es aprovechar la energía solar para generar electricidad mediante tecnología fotovoltaica. Su uso ha aumentado a nivel mundial con el tiempo y se prevé que se convierta en la segunda fuente más importante de energía renovable para 2040. Las ciudades, dada su densidad de población y su demanda energética, son los lugares ideales para implementar esta tecnología [2].

El crecimiento económico y poblacional, sumado a los avances tecnológicos y los cambios en los estilos de vida, han provocado un aumento significativo de la demanda energética mundial. Al mismo tiempo, las fuentes de energía tradicionales se agotan continuamente, lo que impacta negativamente al medio ambiente. Esta situación ha obligado a la humanidad a buscar alternativas más sostenibles para satisfacer sus necesidades energéticas. Entre las fuentes de energía renovables, la energía solar fotovoltaica (FV) destaca como una de las opciones no convencionales que mejor responde a los desafíos actuales [3].

Por esta razón, se decidió implementar un sistema de energía fotovoltaica (FV) como medida para mitigar los efectos del cambio climático. La energía solar es una fuente limpia y renovable que no genera emisiones de gases de efecto invernadero, la principal causa del calentamiento global. Mediante sistemas FV, la luz solar se convierte directamente en electricidad, evitando el uso de combustibles fósiles y, en consecuencia, la emisión de contaminantes al medio ambiente.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la comunidad San José de Alpamalag, situada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, la Iglesia local enfrenta serias dificultades relacionadas con el suministro eléctrico. La principal problemática radica en la ausencia de una red eléctrica confiable y continua, lo que afecta directamente el desarrollo de las actividades religiosas, sociales y comunitarias que allí se realizan. Esta falta de energía limita la iluminación adecuada del templo, dificulta la realización de eventos comunitarios y restringe el uso de equipos eléctricos esenciales para el funcionamiento diario de la iglesia.

Por otro lado, en los sectores donde existe algún acceso a la electricidad, el servicio suele ser inestable, con frecuentes cortes y variaciones de voltaje, lo que genera incertidumbre e influye de manera negativa en la vida cotidiana de los habitantes. La dependencia de generadores a diésel, además de incrementar los costos operativos, representa una fuente de contaminación ambiental y contribuye a la disminución en la pureza del aire local.

El alto precio de la electricidad en las zonas rurales, sumado a la limitada infraestructura eléctrica, agrava aún más la situación, especialmente para las familias de bajos recursos que ven restringido su acceso a un servicio básico indispensable. Esta realidad también impacta a sectores clave como el educativo y el sanitario, dificultando el desarrollo integral de la comunidad.

A pesar de estos desafíos, la región cuenta con un recurso natural abundante y poco aprovechado que es la radiación solar. Sin embargo, hasta la fecha, no se han implementado soluciones tecnológicas que permitan transformar este potencial en un suministro energético sostenible y eficiente. La falta de iniciativas para aprovechar la energía solar perpetúa la dependencia de fuentes no renovables y limita las oportunidades de progreso para los habitantes de San José de Alpamalag.

Ante esta situación, es imperativo encontrar soluciones que garanticen un acceso continuo, asequible y sostenible a la electricidad. Por ello, la instalación de un sistema fotovoltaico representa una alternativa práctica y eficaz para satisfacer las necesidades energéticas de la iglesia y de la comunidad en su conjunto.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma la instalación de un sistema fotovoltaico aislado puede contribuir a mejorar el suministro eléctrico en la iglesia de San José de Alpamalag, optimizando los costos operativos y promoviendo la sostenibilidad ambiental en la comunidad?

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de investigación

Sistemas Fotovoltaicos y Radiación solar

2.3.2 Campo de Acción

3322.05 Fuentes no convencionales de energía.

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Directos

La comunidad de San José de Alpamalag, serán los principales beneficiados al contar con un suministro eléctrico estable y sostenible, lo que elevará su calidad de vida y permitirá que realicen sus labores cotidianas con mayor facilidad.

2.4.2 Indirectos

El proyecto fomenta el aprendizaje práctico en energías renovables para estudiantes y docentes, y sirve como modelo inspirador para que comunidades vecinas adopten soluciones similares, contribuyendo al desarrollo sustentable y a la adopción de energías no contaminantes en el área.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Instalar un sistema fotovoltaico aislado en la Iglesia de San José de Alpamalag representa una solución clave para mejorar las condiciones de vida en la comunidad. Esta iniciativa responde directamente a la falta de una red eléctrica estable, una situación que ha limitado durante años el desarrollo social, educativo y económico del lugar, afectando tanto a sus habitantes como a las instituciones que allí funcionan. Con la puesta en marcha de paneles solares y baterías de almacenamiento, se asegura el suministro eléctrico continuo, lo que permite llevar a cabo actividades religiosas, comunitarias y educativas sin interrupciones. Además de mejorar la vida diaria, el uso de energía solar ayuda a cuidar el medio ambiente al reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones contaminantes.

Desde el punto de vista económico, este tipo de sistema también representa un alivio, ya que evita los altos costos asociados a los generadores diésel o a la electricidad convencional, que en zonas rurales suele ser escasa y costosa. Aprovechar la abundante radiación solar de la región no solo hace viable este proyecto, sino que garantiza su sostenibilidad en el tiempo. Este tipo de soluciones, además, puede inspirar a otras comunidades rurales a seguir un camino similar, apostando por energías limpias y promoviendo un desarrollo más justo y sostenible en las zonas más olvidadas del país.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

- Implementar un sistema fotovoltaico en la Iglesia de San José de Alpamalag que actúe como respaldo energético confiable y asegure el desarrollo ininterrumpido de las actividades.

2.6.2 Específicos

- Analizar las necesidades energéticas relacionadas con la iluminación actualmente instalada en la iglesia.
- Dimensionar un sistema de generación solar aislado OFF - GRID mediante estudio y análisis crítico.
- Implementar el sistema fotovoltaico en la iglesia de San José de Alpamalag.
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema y sus componentes mediante instrumentos de monitoreo y medición que permitan evaluar su desempeño.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 3. Sistema de tareas del proyecto.

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados esperados	Medios e Instrumentos
<p>Analizar las necesidades energéticas relacionadas con la iluminación actualmente instalada en la iglesia.</p>	<p>Recopilación del consumo eléctrico mediante un cuadro de cargas que permita estimar la demanda energética total de la iglesia.</p> <p>Compilación de los equipos instalados en el sitio de estudio para contar con información precisa sobre su número y características.</p>	<p>Tabla con los datos obtenidos durante el levantamiento de cargas, utilizada como base para calcular la cantidad necesaria de paneles solares, inversores, baterías, controladores y conductores requeridos para la instalación del sistema.</p>	<p>Laptop.</p> <p>Traslado al lugar de estudio para realizar el levantamiento de información correspondiente.</p>
<p>Dimensionar un sistema de generación solar aislado OFF - GRID mediante estudio y análisis crítico.</p>	<p>Cálculo de la cantidad de paneles solares necesarios para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico.</p> <p>Simulación de el sistema fotovoltaico en el software PVsyst.</p>	<p>Cantidad de paneles a utilizarse en el sistema fotovoltaico.</p> <p>Resultados de la simulación realizada en el software.</p>	<p>Excel.</p> <p>Calculadora.</p> <p>Laptop</p>

Implementar el sistema fotovoltaico en la iglesia de San José de Alpamalag.	<p>Instalación y distribución estratégica de los componentes del sistema fotovoltaico en el sitio seleccionado.</p> <p>Ubicación de los elementos calculados para el sistema fotovoltaico.</p>	<p>Verificar el correcto desempeño y autonomía del sistema fotovoltaico.</p> <p>Verificación de los elementos implementados en el sistema.</p>	<p>Paneles.</p> <p>Controlador de carga.</p> <p>Inversor.</p> <p>Batería.</p>
Verificar el correcto funcionamiento del sistema y sus componentes mediante instrumentos de monitoreo y medición que permitan evaluar su desempeño.	<p>Elaboración de pruebas para medir corrientes y voltajes del sistema implementado.</p> <p>Identificación de los resultados de corrientes y voltajes del sistema solar y de la red eléctrica.</p>	<p>Demostrar el funcionamiento de los equipos y medición de corrientes y voltajes.</p> <p>Mostrar los resultados de la carga y descarga de la batería.</p>	<p>Multímetro.</p> <p>Amperímetro.</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes

En la investigación realizada por [4], titulado “Sistema fotovoltaico aislado “, se analiza la factibilidad de generar 1 kW de energía eléctrica mediante tecnología fotovoltaica, considerando tanto las condiciones técnicas como ambientales. La investigación se enfoca en evaluar los niveles promedio de radiación solar en diversas localidades de la Península de

Yucatán, específicamente en Mérida, Sotuta y Tizimín, con el objetivo de identificar zonas con buen potencial solar. Además, se busca determinar el consumo diario promedio de energía eléctrica, expresado en kilowatt-hora (kWh), así como la demanda diaria del sistema. Por último, se consideran los costos principales de los equipos involucrados, con el fin de diseñar un sistema fotovoltaico capaz de cubrir eficientemente las necesidades energéticas identificadas.

Como menciona [5], con su tema titulado “Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para el uso en casas flotantes en la ciudad de Babahoyo”, se aborda la problemática de viviendas flotantes habitadas por familias de escasos recursos que no tienen acceso a la red eléctrica, debido a su ubicación remota. El proyecto propone una solución sostenible mediante la implementación de un sistema fotovoltaico aislado, el cual no genera contaminación ambiental y permitirá dotar de energía eléctrica a estas viviendas, mejorando así su calidad de vida.

En el estudio realizado por [6], titulado “Implementación de sistema fotovoltaico aislado y de respaldo para dispositivos de control de personal”, detalla el diseño de un sistema energético con un consumo diario de 667.2 Wh y 55.6 Ah, operando a 12V en corriente directa durante toda la semana. Esta tecnología se utilizó en el contexto del “Gran Premio de México 2015”, instalando cuatro sistemas fotovoltaicos aislados y tres de respaldo en siete puntos estratégicos alrededor del Autódromo Hermanos Rodríguez, en la Ciudad de México. Para el dimensionamiento del sistema, se consideró una irradiancia solar promedio de 4.9 kWh/m² y una temperatura ambiente de 24.9 °C. Se seleccionaron módulos solares de 250W, los cuales, bajo condiciones reales, generaban una potencia efectiva de 215.85W, alcanzando una eficiencia del 86.34% respecto a las condiciones estándar de prueba (STC). El almacenamiento de energía se realizó mediante dos baterías de 12V conectadas en paralelo, con una capacidad de 40 Ah cada una (a 20 h), utilizando tecnología de plomo-ácido sellado sin mantenimiento. La generación total del sistema fue de 786.1 W, considerando las eficiencias de todos los componentes. Además, el banco de baterías ofrecía una capacidad de 80 Ah (a 20 h), suficiente para un día de respaldo, con una profundidad de descarga del 90%. Se utilizó un controlador MPPT de 20 A para optimizar la gestión de carga. En los sistemas de respaldo, se incorporó una fuente de alimentación AC/DC de 180W y salida de 12V en corriente directa, conectada a un bus para realizar la transferencia de energía con el sistema fotovoltaico.

Finalmente, con el trabajo de [7], “Implementación y ejecución de un sistema fotovoltaico aislado residencial, en zona costera de la provincia del Guayas”, se aborda la situación energética de la comuna La Masa 1, ubicada en el Golfo de Guayaquil, Ecuador. Esta

comunidad enfrenta una marcada deficiencia en el acceso a la electricidad: solo el 20% de las viviendas dispone de suministro eléctrico mediante generadores diésel, mientras que el 80% restante permanece sin conexión, soportando altos costos y riesgos asociados al uso de combustibles fósiles. Frente a este panorama, un grupo de estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana desarrolló e instaló un sistema fotovoltaico aislado para uso residencial, aprovechando el potencial de energía solar disponible en la zona. Esta iniciativa busca ofrecer una solución sostenible, económica y segura para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la comunidad.

El proyecto partió de un análisis de la radiación solar disponible en la zona, utilizando datos proporcionados por la plataforma PVGIS. También se realizó un estudio detallado sobre el consumo eléctrico de una vivienda tipo, con el fin de definir adecuadamente las necesidades energéticas. A partir de esta información, se procedió a dimensionar y seleccionar los componentes esenciales del sistema: paneles solares, controlador de carga, baterías e inversor. Asimismo, se optimizó tanto el ángulo de inclinación de los paneles como el calibre de los cables eléctricos para asegurar eficiencia y seguridad en la instalación.

El sistema fotovoltaico diseñado permite lograr un ahorro económico estimado de hasta 750 dólares a lo largo de 25 años, lo que representa una reducción mensual aproximada de 23.35 dólares en gastos relacionados con combustible y mantenimiento. Más allá del beneficio económico, esta solución contribuye a la protección del medio ambiente y eleva la calidad de vida de los residentes, impulsando tanto el desarrollo social como la productividad en la comunidad.

3.2 Electricidad

La electricidad se refiere a un conjunto de fenómenos naturales vinculados al comportamiento de las cargas eléctricas, tanto cuando permanecen estáticas como cuando están en movimiento. La tensión eléctrica, conocida también como voltaje o fuerza electromotriz, indica cuánta diferencia de energía hay entre dos puntos de un circuito eléctrico. Esta diferencia es generada por una fuerza externa, no visible, que impulsa las cargas eléctricas de un punto a otro. Su unidad de medida es el voltio. Por su parte, la corriente eléctrica describe la cantidad de carga que pasa por un conductor en un periodo de tiempo determinado. Se mide en culombios por segundo y su unidad de medida es el amperio [8].

3.3 Tipos de corrientes eléctricas

3.3.1 Corriente alterna

La corriente alterna es una forma de energía eléctrica en la que tanto su intensidad como su dirección cambian de manera periódica. Esta variación sigue un patrón en forma de onda senoidal, el cual se representa mediante una curva. Cada oscilación completa de esta curva, que incluye una subida y una bajada, se conoce como un ciclo. La cantidad de ciclos por segundo se mide en hercios (Hz), y varía según el país: algunos operan a 50 Hz y otros a 60 Hz.

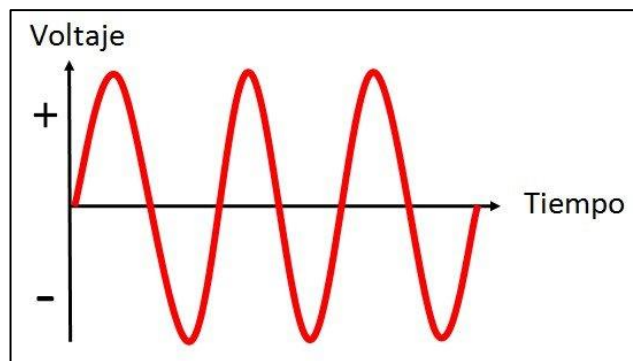


Figura 1. Corriente alterna [9].

3.3.2 Corriente continua

La corriente directa, también llamada corriente continua, se caracteriza por moverse siempre en el mismo sentido dentro de un circuito eléctrico. Este sistema es utilizado por la mayoría de los dispositivos electrónicos que usamos cotidianamente, como computadoras, tablets o teléfonos móviles. Por esta razón, podemos afirmar que la energía transformada en corriente continua resulta esencial en múltiples aplicaciones y se ha convertido en parte fundamental de nuestra vida diaria [9].

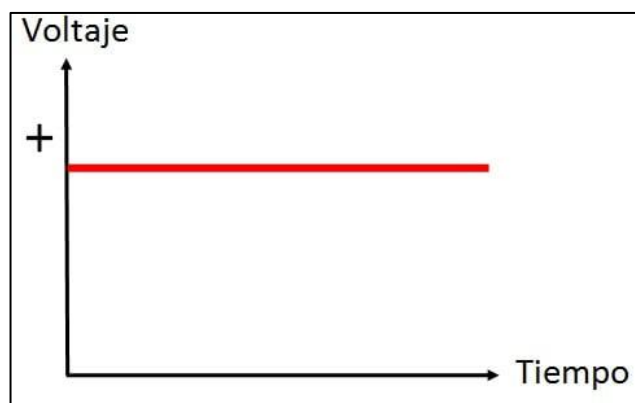


Figura 2. Corriente continua [9].

3.4 Ley de OHM

La ley de Ohm, llamada así en honor al físico y matemático alemán Georg Simon Ohm, describe una relación fundamental en el campo de la electricidad. Esta ley señala que, al aplicar un voltaje en los extremos de un conductor, la corriente que circula por él aumenta en proporción directa a ese voltaje. El valor que determina esta proporción se conoce como resistencia eléctrica, la cual depende de las características del material por el que circula la corriente.

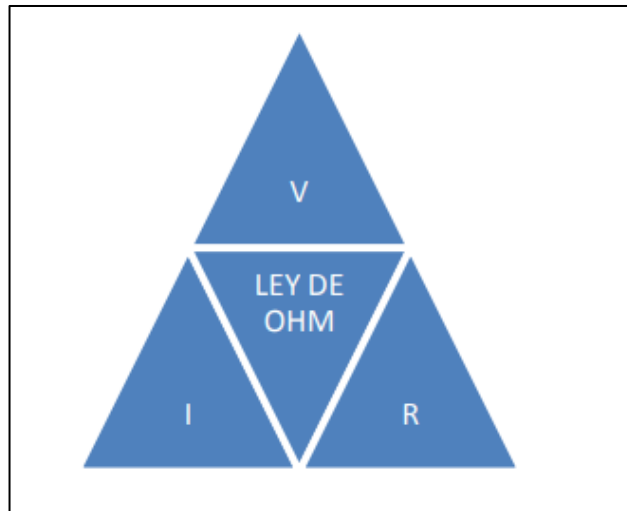


Figura 3.Ley de OHM [10].

Ecuaciones fundamentales:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Ecua.1}$$

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ecua.2}$$

$$V = I * R \quad \text{Ecua.3}$$

Donde:

V = voltaje (V)

I = Corriente (A)

R= Resistencia (Ω) [10].

3.5 Fuentes de energía renovable

Las fuentes de energía renovable representan alternativas de suministro que generan un menor impacto ambiental en comparación con las fuentes tradicionales. Aunque no están completamente exentas de efectos negativos sobre el entorno, estos suelen ser considerablemente menores y, en muchos casos, reversibles. A diferencia de las energías convencionales como los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) o la energía nuclear, las renovables ofrecen una opción más sostenible. De acuerdo con un estudio sobre los efectos ambientales de la generación eléctrica, el impacto ecológico provocado por las fuentes tradicionales puede llegar a ser hasta 31 veces mayor que el generado por las tecnologías renovables [11].

3.6 Recurso solar en Ecuador

En Ecuador, el promedio anual de radiación solar global alcanza aproximadamente los 4200 kWh/m², un valor notablemente superior al registrado en la península ibérica, donde España cuenta con alrededor de 1400 kWh/m² al año. No obstante, dentro del propio territorio ecuatoriano existen variaciones significativas: en el área continental, las diferencias entre regiones pueden superar el 30%, y si se comparan con las Islas Galápagos, estas variaciones pueden superar el 40%.

Este comportamiento se debe a la gran diversidad de condiciones climáticas y geográficas que caracterizan al país. Desde la región insular hasta la selva amazónica, la combinación de distintos tipos de relieve y una amplia franja de latitudes genera un abanico muy amplio de niveles de radiación solar. Esta variabilidad influye directamente en el diseño y dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, ya que es necesario adaptar cada instalación a las condiciones específicas del lugar para asegurar que satisfaga de forma eficiente la demanda energética prevista [12].

3.7 Energía solar

La energía solar se considera una de las fuentes renovables más poderosas que tiene el planeta. Si se utiliza de forma eficiente, tiene el potencial de cubrir las necesidades energéticas del futuro, al mismo tiempo que representa una opción sostenible y con bajo impacto ambiental. Esta forma de energía puede transformarse en electricidad por distintos medios. Uno de ellos es la energía solar térmica, que consiste en captar y concentrar el calor del sol para accionar un

motor térmico. Otra alternativa es la energía fotovoltaica, que convierte directamente la luz solar en electricidad a través de celdas fotovoltaicas.

La base de esta fuente energética es la radiación solar, una forma de energía electromagnética emitida por el Sol. La cantidad de radiación que recibe cada región del planeta depende de varios factores, entre ellos:

- La ubicación geográfica
- Las condiciones meteorológicas del lugar
- La estación del año
- Las características del terreno
- La hora del día

Debido a la curvatura del planeta, los rayos solares alcanzan la superficie con distintos ángulos, que van desde una incidencia directa de 90° hasta valores menores. Cuando el ángulo es de 90° , la energía solar que llega es máxima. En cambio, cuando los rayos llegan inclinados, atraviesan más atmósfera, lo que hace que parte de su energía se disperse y, por tanto, disminuya su intensidad [13].

3.8 Radiación solar

La radiación solar está formada por una mezcla de ondas electromagnéticas que incluyen luz infrarroja, visible y ultravioleta, como se muestra en la Figura 4. Estas ondas se diferencian entre sí por sus distintas longitudes, y todas forman parte del espectro electromagnético emitido por el Sol.

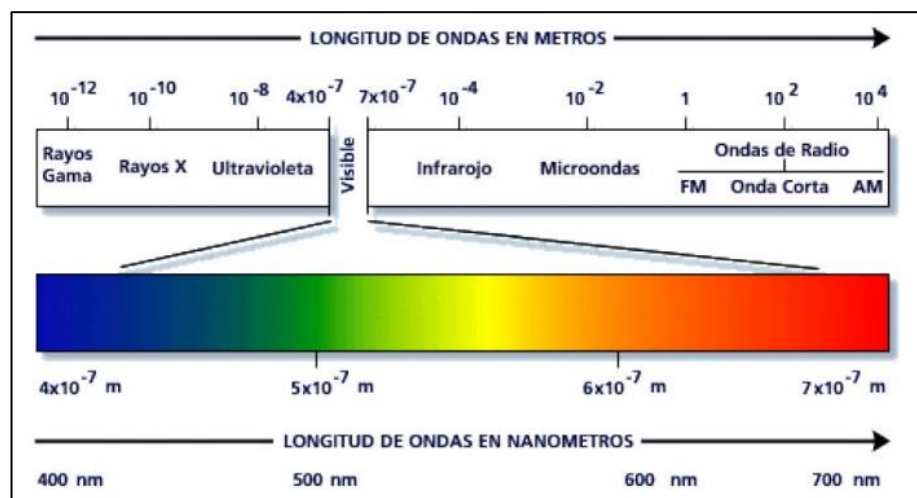


Figura 4. Rango de frecuencias dentro del espectro electromagnético [14].

La radiación solar se clasifica en tres tipos, según la forma en que los rayos llegan a la superficie terrestre, como se muestra en la Figura 5. La combinación de estos diferentes tipos de radiación se conoce como radiación solar global (H). Los tres componentes principales son:

3.8.1 Radiación directa

Es la porción de radiación solar que alcanza la superficie terrestre de forma directa, sin haber sido modificada o desviada por nubes, partículas o cualquier otro elemento de la atmósfera.

3.8.2 Radiación difusa

Corresponde a la radiación solar que, al entrar en contacto con las nubes o partículas en la atmósfera, se dispersa en múltiples direcciones antes de llegar a la superficie terrestre.

3.8.3 Radiación reflejada

Es la fracción de radiación solar que llega al suelo y luego se refleja sobre distintas superficies, fenómeno conocido como radiación de albedo. Este tipo de radiación tiene una participación mínima en la generación de energía por medio de paneles solares.

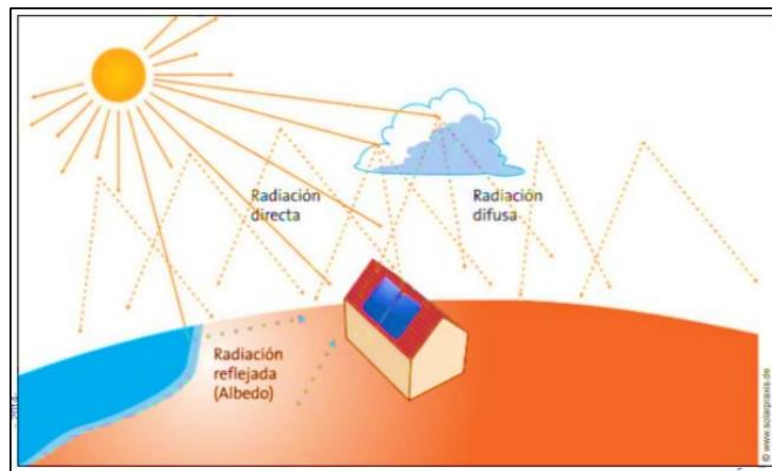


Figura 5. Tipos de radiación solar [14].

3.9 Irradiancia (G)

Se trata de una medida que representa la cantidad de energía solar que incide, en un momento determinado, sobre una superficie específica. Su unidad es el vatio por metro cuadrado (W/m^2), y permite calcular cuánta electricidad puede generar un panel solar, considerando sus especificaciones técnicas.

3.10 Irradiación (H)

La irradiación se refiere a la cantidad total de energía solar que incide sobre una superficie durante un periodo de tiempo específico. En otras palabras, es el resultado de acumular las irradiancias a lo largo del tiempo. Su unidad de medida es el vatio-hora por metro cuadrado [Wh/m²] [14].

3.11 Hora solar pico (HSP)

Conocido comúnmente como HSP (por sus siglas en inglés), este valor, expresado en Wh/m² por día, se utiliza para estimar la cantidad de energía solar diaria que puede generar un panel por cada metro cuadrado de superficie. Está directamente relacionado con la insolación global diaria (kWh/m²/día) que reciben los módulos fotovoltaicos. En términos simples, representa el número de horas equivalentes en las que un panel estaría recibiendo una radiación constante de 1000 W/m². Este valor depende, entre otros factores, de la inclinación del sistema fotovoltaico y de la radiación total que se recibe durante el día.

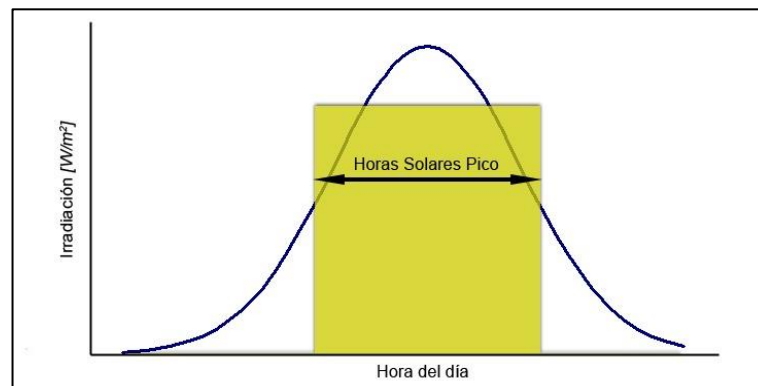


Figura 6. Hora solar pico [15].

Se puede expresar de la siguiente manera:

$$HSP_{\beta} = \frac{R_{\beta}}{I_{\beta}} \quad \text{Ecua.4}$$

Donde:

HSP_{β} : son las horas solar pico según una inclinación β .

R_{β} : corresponde a la radiación media diaria expresada en Wh/m² /día según una inclinación β .

I_{β} : corresponde a la constante equivalente a 1 kW/ m² [15].

3.12 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se refiere al proceso mediante el cual se transforma la luz del sol en electricidad utilizando paneles solares. Estos paneles, también llamados módulos fotovoltaicos, están compuestos por materiales semiconductores similares a diodos. Cuando estos materiales reciben la radiación solar, ocurre una reacción a nivel atómico que provoca el movimiento de electrones, fenómeno conocido como efecto fotoeléctrico.

Durante este proceso, los electrones dentro de las celdas fotovoltaicas absorben la energía luminosa y algunos de ellos logran liberarse, generando una corriente eléctrica de tipo continua. Esta actividad da lugar a una pequeña diferencia de voltaje entre los extremos del dispositivo. Gracias a su eficiencia y avances constantes, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una de las tecnologías renovables con mayor proyección en los últimos años, al igual que otras fuentes de energía limpia [16].

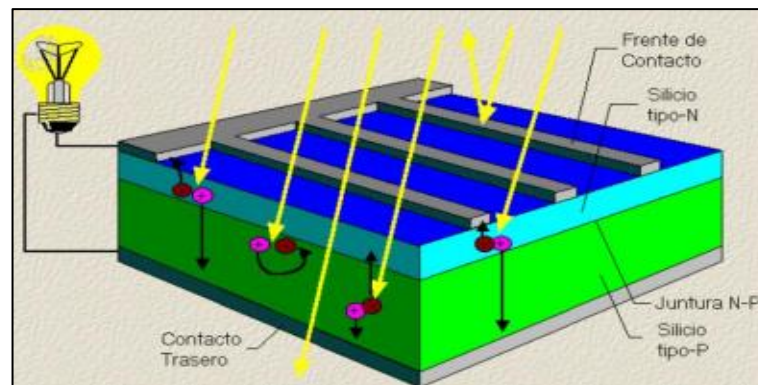


Figura 7. Célula fotovoltaica [16].

3.13 Inclinación de los paneles fotovoltaicos

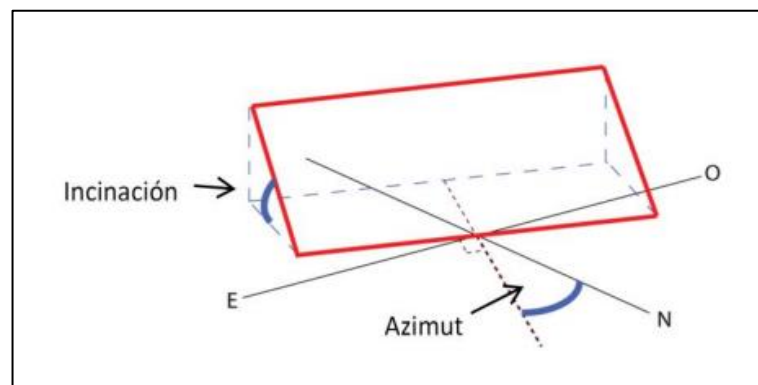


Figura 8. Inclinación para paneles fotovoltaicos [17].

La mejor orientación de los paneles solares está determinada por la latitud del lugar y por el ángulo de azimut, el cual varía según el hemisferio en el que se encuentren. En el caso del hemisferio sur, como el nuestro, para aprovechar al máximo la radiación solar, la superficie de los paneles debe estar orientada hacia el norte, idealmente de forma perpendicular a los rayos del sol. Por ello, el ángulo de azimut óptimo sería de 0°. Para calcular la inclinación más eficiente de los paneles, se utiliza una fórmula estadística que considera los niveles de radiación solar recibidos por superficies con distintas pendientes.

$$\beta = \phi \pm \delta \quad \text{Ecu.5}$$

Donde:

β : Ángulo de inclinación

ϕ : Latitud

δ : Declinación solar

Tabla 4. Grado de orientación Azimut en el Ecuador.

Azimut (°)	Panel mira hacia el
0°	Norte
90°	Este
180°	Sur
270°	Oeste

Movimiento del sol: A lo largo del año, el sol aparenta seguir trayectorias distintas en el cielo, dependiendo de la estación. Para estudiar este comportamiento, se utiliza un sistema de coordenadas basado en dos ángulos principales que permiten ubicar su posición en cualquier momento del día.

Altura solar (α): representa el ángulo entre la línea horizontal del lugar y la posición del sol en el cielo.

Azimut solar (ψ): es el ángulo que se forma entre la ubicación aparente del sol y el norte geográfico.

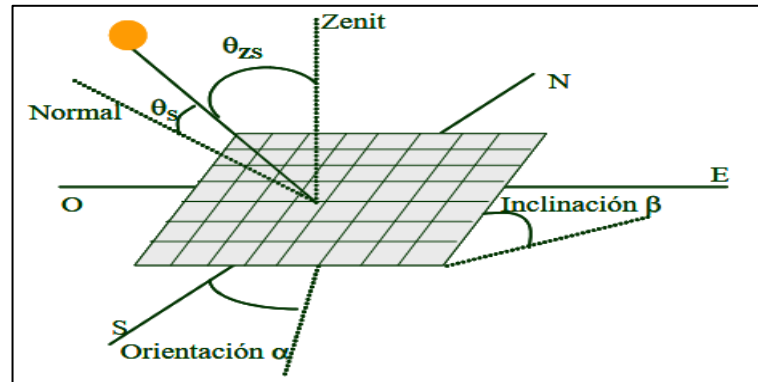


Figura 9. Inclinación de su órbita [17].

Además de los ángulos de altura y azimut, el sol presenta una inclinación orbital que varía según la estación del año. También cuenta con un ángulo horario que avanza a un ritmo cercano a los 15° por hora. Una forma práctica de calcular tanto el azimut como la altura solar es mediante el uso de tablas, las cuales proporcionan estos valores en función de la fecha, la hora solar y la ubicación geográfica (longitud) del lugar [17].

3.14 Sistema sin conexión a la red OFF GRID

Este tipo de sistema funciona de manera independiente, sin estar vinculado a la red eléctrica convencional. La energía generada se utiliza directamente en el dispositivo o se almacena en baterías para su posterior consumo. Es común encontrar este tipo de instalaciones, especialmente con baterías, en viviendas alejadas de centros urbanos.

Los paneles solares utilizados en estos casos pueden cubrir las necesidades básicas de electricidad en casas o edificaciones que no tienen acceso a la red pública. Cuando el sistema se complementa con una bomba de agua solar, puede funcionar de forma autónoma, incluso sin necesidad de baterías. En estos casos, la bomba opera de manera más eficiente cuando hay una mayor intensidad de radiación solar, aprovechando al máximo la energía disponible en ese momento [18].

3.15 Componentes de un sistema fotovoltaico

Para poner en marcha un sistema fotovoltaico, es necesario contar con varios componentes clave, los cuales deben ser correctamente dimensionados para asegurar un funcionamiento eficiente. A continuación, se presentan los componentes más importantes que lo integran:

3.15.1 Panel Solar

Es el componente encargado de convertir la luz solar en electricidad. También conocido como módulo fotovoltaico, está formado por un conjunto de celdas solares conectadas entre sí. Su función principal es generar corriente continua (CC).



Figura 10. Panel solar [19].

3.15.2 Batería

- Este componente se encarga de guardar la energía eléctrica generada por el panel solar, para luego liberarla cuando sea necesario. Las baterías cumplen un papel fundamental dentro del sistema fotovoltaico, ya que permiten mantener un suministro constante y confiable de electricidad. Sus funciones principales son:
- Almacenar la energía cuando la radiación solar es alta o el consumo es bajo, evitando desperdicios.
- Suministrar electricidad en momentos de poca o ninguna radiación solar, como durante la noche. En comunidades rurales, por ejemplo, se suele usar esta energía para encender luces, radios o televisores.
- Entregar la energía de manera estable, asegurando que los equipos eléctricos funcionen correctamente sin variaciones de voltaje.



Figura 11. Batería de Gel [19].

3.15.3 Controlador o regulador de carga

Este dispositivo tiene la función de gestionar la conexión y desconexión del panel solar según el estado de carga de la batería. Si la batería ya está llena, el regulador interrumpe el flujo de energía dejando el panel en circuito abierto, evitando así una sobrecarga.

Entre las funciones principales que debe cumplir un regulador están:

- Controlar el proceso de carga de la batería, evitando que se sobrecargue.
- Incluir protecciones contra posibles fallos como sobrecorriente, polaridad invertida, cortocircuitos y descargas nocturnas, gracias al uso de un diodo de bloqueo.
- Mostrar información útil a través de luces LED o una pantalla, indicando el estado actual de la batería.
- Evitar que la batería se descargue por completo, ya que esto podría dañarla de forma irreversible.

En general, el regulador es clave para proteger la batería y alargar su vida útil, manteniéndola normalmente por encima del 40% de su capacidad.



Figura 12. Controlador de carga [19].

3.15.4 Inversor

El inversor cumple un rol esencial dentro del sistema fotovoltaico, ya que se encarga de convertir la corriente continua (CC) almacenada en la batería en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad que utilizan la mayoría de los aparatos domésticos convencionales, generalmente a 110V o 220V.

Existen tres tipos principales de inversores:

- **Onda cuadrada:** ofrecen un control limitado sobre el voltaje de salida y no protegen contra picos de tensión. Por estas razones, no se recomiendan para instalaciones residenciales.
- **Onda cuadrada modificada:** son capaces de soportar altas sobretensiones y suelen ser adecuados para aplicaciones domésticas. Sin embargo, pueden generar interferencias eléctricas que afectan el funcionamiento de algunos dispositivos electrónicos.
- **Onda Sinusoidal:** son los más adecuados para equipos electrónicos delicados. Tienen una excelente capacidad para manejar picos de tensión y permiten el arranque eficiente de distintos tipos de motores [19].



Figura 13. Inversor [19].

3.15.5 Estructura de soporte

Las estructuras de soporte se diseñan según la inclinación y orientación requeridas para los paneles solares, así como en función del tipo de superficie o infraestructura donde serán instaladas. Su función principal es garantizar que los módulos queden firmemente sujetos, brindándoles estabilidad y protección mecánica. Es fundamental que estas estructuras no proyecten ninguna sombra sobre los paneles, ya que esto afectaría su rendimiento energético.



Figura 14. Estructura solar [20].

3.15.6 Cableado

La elección del cableado adecuado depende de varios factores, como la cantidad de corriente que deberá transportar, la caída de voltaje permitida y los niveles de seguridad necesarios para su operación y manipulación. Es importante que los cables ofrezcan buena resistencia mecánica y estén diseñados para soportar las condiciones ambientales del lugar donde serán instalados [20].

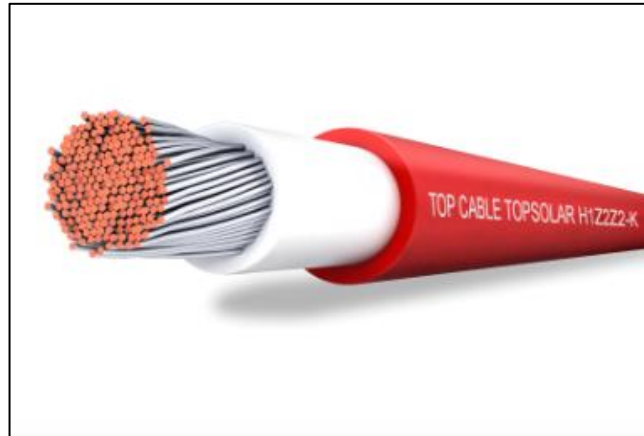


Figura 15. Conductor de paneles [20].

3.16 Tipos de paneles fotovoltaicos

Los paneles solares están formados por múltiples celdas fotovoltaicas, las cuales pueden estar conectadas entre sí en serie o en paralelo, según el diseño del sistema. Por lo general, un panel puede contener entre 40 y 96 celdas, aunque los modelos más comunes en el mercado suelen tener 60 o 72 celdas.

Además, los paneles solares se pueden clasificar según el tipo de estructura cristalina que presentan las celdas que los componen, lo que influye directamente en su eficiencia y comportamiento frente a la radiación solar:

3.16.1 Celdas de silicio monocristalino

Este tipo de celdas es actualmente el más popular en el mercado solar por su alto rendimiento. Su principal característica es que cuentan con una estructura cristalina continua y uniforme. Se fabrican a partir del silicio purificado mediante un proceso de fundición, al cual se le incorporan átomos de boro. Este procedimiento especializado incrementa su costo, pero también les permite alcanzar una eficiencia superior frente a otros tipos de celdas, situándose normalmente entre el 18% y el 20%.

3.16.2 Celdas de silicio policristalino

Aunque su proceso de fabricación es similar al del silicio monocristalino, estas celdas se solidifican de forma diferente, dando lugar a múltiples estructuras cristalinas en su interior. Esta característica reduce tanto la complejidad del proceso como los costos de producción. Sin embargo, esa misma variación estructural hace que su eficiencia sea ligeramente menor, ubicándose entre un 14% y un 16%.

3.16.3 Celdas de silicio amorfo

Estas celdas no están fabricadas con materiales cristalinos, lo que representa una desventaja, ya que tienden a perder eficiencia con el paso del tiempo debido al desgaste provocado por la exposición constante a la radiación solar. Su principal característica es su delgadez, ya que tienen un espesor muy reducido. Esto permite que su producción sea más económica; sin embargo, su rendimiento es inferior al de las celdas de silicio cristalino, con una eficiencia aproximada del 10% [21].



Figura 16. Módulos fotovoltaicos de acuerdo a la estructura cristalina de sus celdas [21].

Un módulo fotovoltaico se identifica principalmente a través de sus curvas características de corriente frente a voltaje (I-V), las cuales se detallan a continuación.

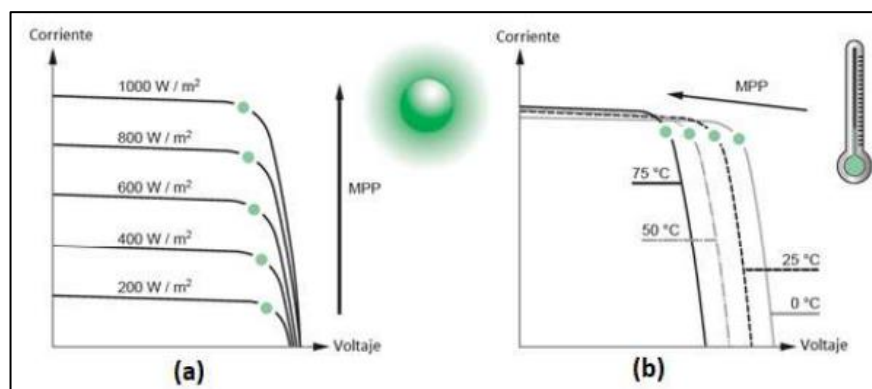


Figura 17. Curvas características de corriente-voltaje de un módulo fotovoltaico [21].

En la Figura 17, el gráfico (a) muestra cómo varía la relación entre corriente y voltaje del módulo fotovoltaico según el nivel de radiación solar que recibe. En cambio, el gráfico (b) presenta esa misma relación, pero considerando el efecto de la temperatura. En ambas representaciones, cada curva tiene un punto específico donde se alcanza la máxima potencia, conocido como punto de máxima potencia (MPP), que indica el punto ideal de operación del módulo para entregar la mayor cantidad de energía al sistema receptor.

Los parámetros eléctricos clave de un panel solar se obtienen a partir de esta curva I-V bajo Condiciones Estándar de Medida (CEM). Estas condiciones incluyen una irradiancia solar de 1000 W/m^2 , una masa de aire de 1.5 para representar la distribución espectral, y una temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ [21].

3.17 Conexiones de paneles solares

Es poco común utilizar un solo módulo fotovoltaico en una instalación, ya que para alcanzar niveles de potencia más altos es necesario interconectar varios módulos. Para transformar la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna —ya sea en sistemas conectados a la red o en sistemas aislados— se requiere el uso de uno o más dispositivos complementarios, los cuales se detallarán más adelante.

La selección de estos equipos dependerá del nivel de consumo energético, ya que deberán ser capaces de operar con distintos rangos de voltaje y corriente de entrada. Para alcanzar los valores deseados de tensión y corriente, los paneles solares se deben conectar entre sí, ya sea en serie o en paralelo.

Al conectarlos en serie, se suman los voltajes; mientras que, al hacerlo en paralelo, se suman las corrientes.

La Figura 18 ilustra los resultados al conectar dos módulos fotovoltaicos de 220 Wp en ambas configuraciones.

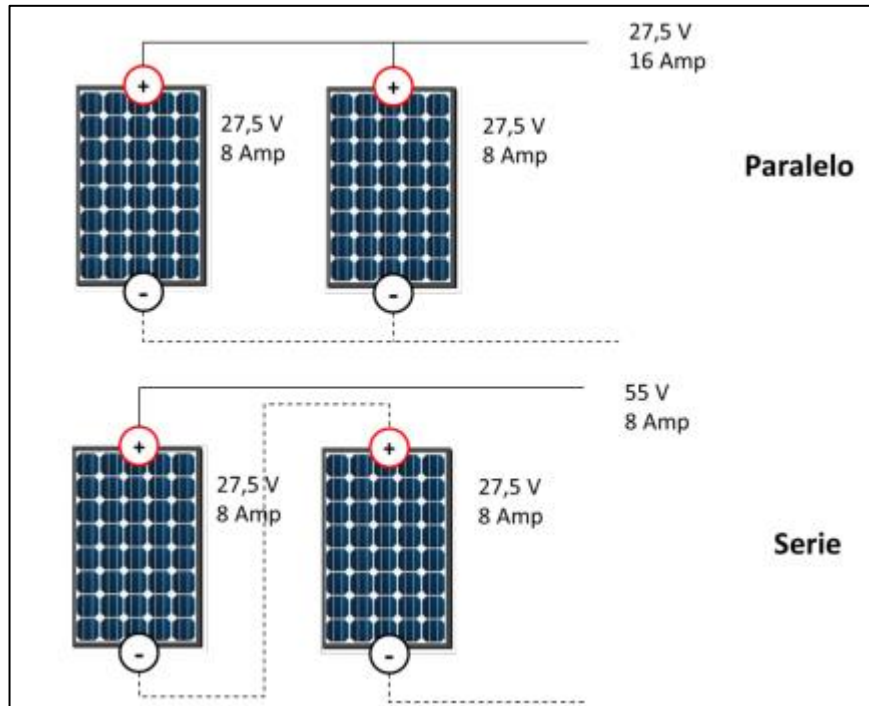


Figura 18. Conexión en serie o paralelo de paneles para obtener mayor tensión o mayor corriente [22].

Cuando varios paneles solares se conectan en serie, a esta configuración se le conoce internacionalmente como una “cadena” o “string”. En una instalación fotovoltaica, es común encontrar múltiples cadenas conectadas entre sí en paralelo para alcanzar la potencia deseada.

Generalmente, los paneles solares vienen equipados con dos cables de salida: uno para el polo positivo (+) y otro para el polo negativo (-). Estos cables terminan en conectores especiales que aseguran una conexión eléctrica segura y protegen contra la entrada de humedad o polvo. Aunque existen diferentes tipos de conectores según el fabricante, los más comunes en el mercado son los MC4, denominados así por el fabricante “Multi-Contact” y por el diámetro del pin de conexión que utilizan [22].

3.18 Puesta a tierra

La conexión a tierra es un elemento fundamental dentro de cualquier sistema eléctrico, ya que garantiza una adecuada calidad de energía. Entre sus principales funciones se destacan:

- Brindar protección a las personas y a los equipos ante posibles fallas eléctricas.
- Reducir el riesgo de descargas provocadas por tormentas eléctricas.
- Definir un punto en común que sirva como referencia para todo el sistema.

Para determinar la resistividad del terreno, se aplica el método de Wenner, el cual es reconocido por normas como la IEEE Std 80 y la IEEE Std 81, que definen los criterios básicos que deben

cumplirse. Este procedimiento consiste en colocar cuatro electrodos alineados y enterrados en el suelo, a distancias específicas entre sí. A través de un telurómetro, se inyecta una corriente y un voltaje entre los electrodos, lo que permite medir la resistencia del suelo expresada en ohmios [23].

3.18.1 Norma aplicada para sistemas fotovoltaicos

Según lo dispuesto en la normativa ARCERNR-001/2021, todas las estructuras metálicas que forman parte de un sistema fotovoltaico, ya sea en la sección de corriente continua (CC) o de corriente alterna (CA), deben estar conectadas a un sistema de puesta a tierra común. Este sistema de tierra debe ser independiente del utilizado por la empresa distribuidora de energía. El objetivo principal de esta exigencia es garantizar la seguridad de las personas y la protección de los equipos ante posibles fallas eléctricas.

3.18.2 Calibre mínimo para la puesta a tierra

En la mayoría de los casos, cuando ocurre una falla eléctrica, el paso de corriente requiere de un conductor con una sección transversal relativamente pequeña. Sin embargo, esto puede ser problemático, ya que estos conductores suelen estar expuestos a condiciones que los hacen vulnerables a la corrosión del suelo o a daños mecánicos. Para sistemas fotovoltaicos, se establece que el calibre mínimo del conductor de puesta a tierra debe ser de 14 AWG (2.08 mm²), y debe contar con una protección adecuada contra daños físicos. No obstante, esta protección no es obligatoria si el conductor tiene una sección igual o mayor a 6 AWG (13.3 mm²).

En Ecuador, se sigue esta misma disposición: el conductor de 14 AWG debe estar protegido contra daños, mientras que para otros materiales se exigen secciones mínimas específicas, como 16 mm² para conductores de cobre, 35 mm² para aluminio y 50 mm² para acero. Además, los conductores individuales de puesta a tierra que conectan los módulos fotovoltaicos deben tener, al menos, una sección de 1.04 mm² (17 AWG) [24].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Diagrama de flujos del sistema fotovoltaico

Mediante este diagrama se determina el proceso y los pasos que se va a realizar en el sistema fotovoltaico de tal manera que se encuentra dividida en cuatro partes fundamentales, las cuales son muy necesarias para poder concluir con la implementación, en este caso el sistema

fotovoltaico aislado de la red. Es por esta razón que el primer paso es recopilar datos históricos de la irradiación del lugar de estudio, seguidamente se realiza el levantamiento de cargas de la iglesia.

Por otro lado, se debe dimensionar los elementos o equipos que se utilizarán en sistema fotovoltaico, como son el número de paneles, inversor, controlador y baterías, finalmente se construye las estructuras del sistema y se implementa cada uno de los equipos según lo establecido, y por último se realizan pruebas de funcionamiento y pruebas de corriente, voltaje, descarga y carga de la batería, todo lo antes mencionado se muestra a continuación en la presente Figura 19:

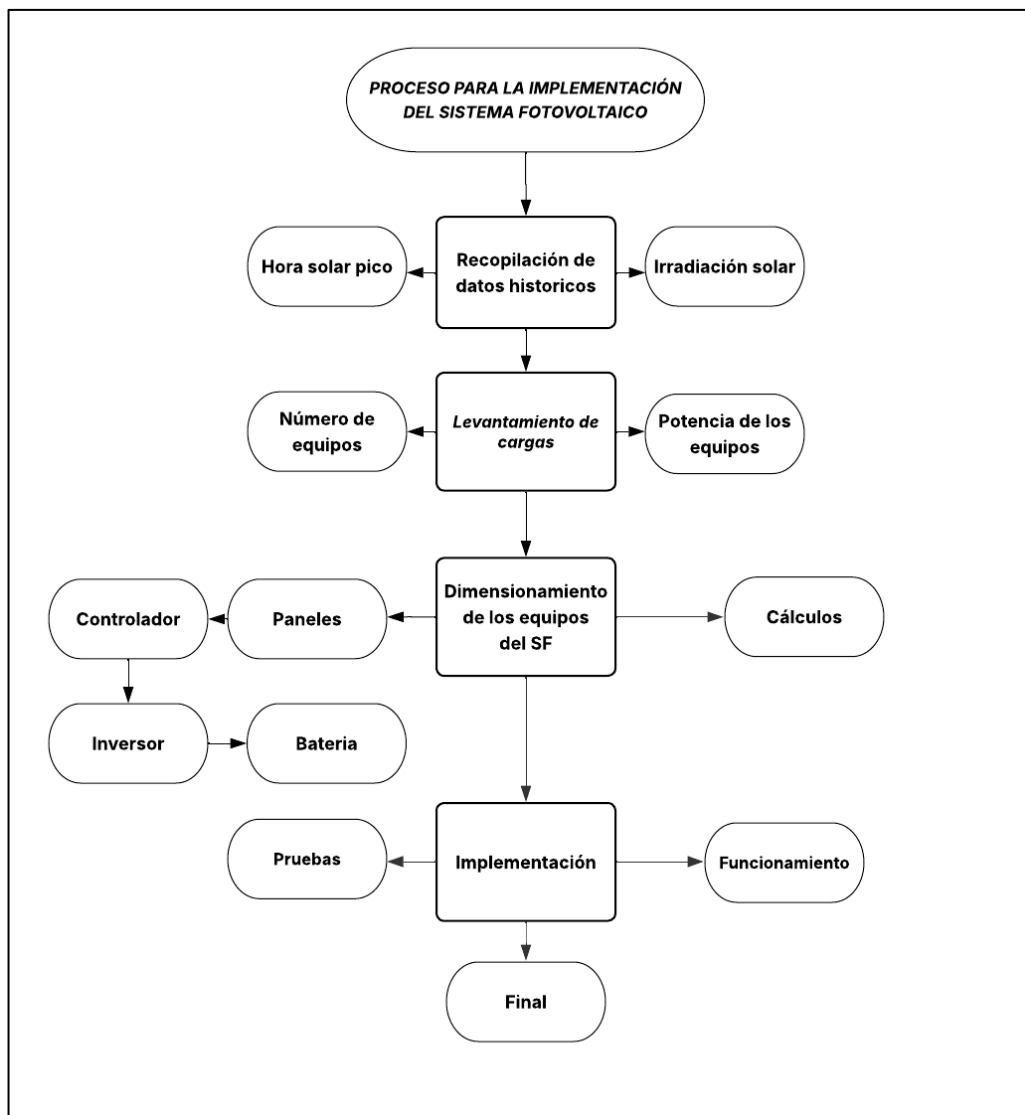


Figura 19. Diagrama de flujo.

4.2 Zona de estudio

El proyecto comienza con la propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico, tomando como base el requerimiento energético de la iglesia ubicada en la comunidad San José de Alpamalag. En la Figura 20 se muestra la localización geográfica de dicha comunidad, obtenida a través de la plataforma digital “Google Maps”.

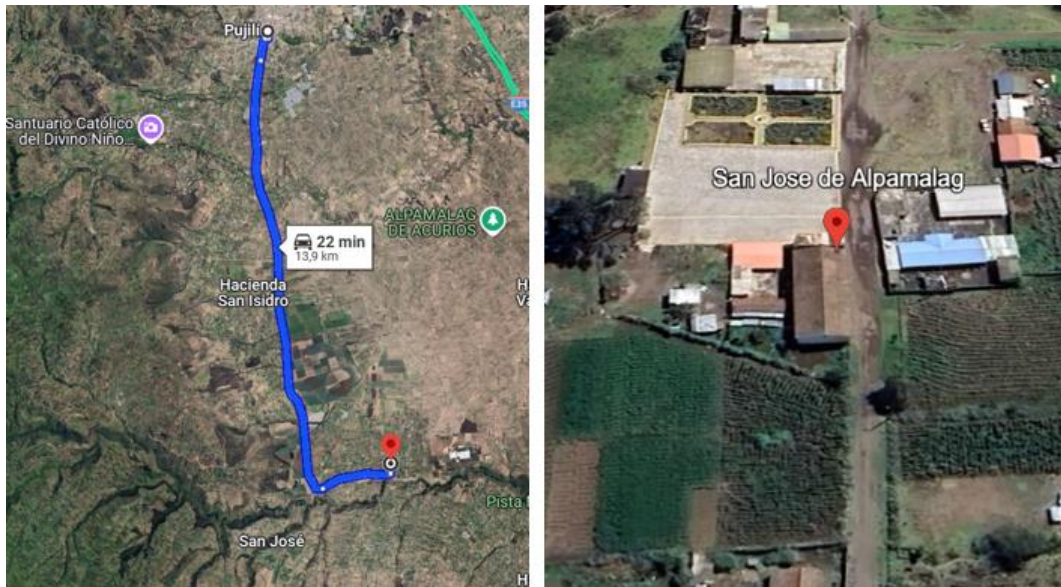



Figura 20. Ubicación geográfica.

La Tabla 5 presenta la información geográfica correspondiente a la iglesia de San José de Alpamalag, incluyendo su latitud, longitud y altitud. Esta iglesia se encuentra en una zona rural del cantón Pujilí, en la provincia de Cotopaxi.

Tabla 5. Ubicación de Alpamalag.

San José de Alpamalag	Ciudad	Pujilí
	Dirección	Rafael Villacis vía la Merced
	Latitud	-1.0549
	Longitud	-78.6692

A continuación, la Tabla 6 muestra el promedio mensual de la irradiancia solar global diaria registrada durante el año 2023 en la comunidad de San José de Alpamalag.

Tabla 6. Datos de irradiancia global media diaria año 2023.

Radiación Mensual del año 2023

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
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	124.99	106.63	115.23	129.53	139.36	126.29	113.18	137.70	182.11	205.80	194.94	147.34
8	268.85	232.44	253.85	272.74	275.66	256.76	240.27	292.19	362.47	382.60	361.61	288.25
9	387.79	343.93	351.87	395.82	385.92	375.37	365.16	423.48	502.71	517.93	497.63	385.33
10	477.62	438.88	444.49	500.78	475.76	479.35	481.62	542.01	609.96	614.32	598.63	482.83
11	538.52	494.40	505.96	544.17	524.81	532.83	527.04	613.12	685.36	660.77	615.90	498.04
12	555.31	516.91	551.59	551.13	540.46	529.28	546.76	633.98	704.17	624.12	592.41	522.13
13	513.48	480.31	438.37	461.05	508.76	493.81	498.69	564.99	585.64	533.15	500.94	471.30
14	409.16	409.62	349.79	363.96	420.46	430.25	424.16	483.15	481.38	412.75	398.10	380.91
15	308.72	333.99	271.66	259.72	312.47	309.04	322.19	379.79	368.22	283.86	272.67	275.22
16	185.68	205.21	159.50	142.60	182.33	182.17	190.76	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

4.3 Representación gráfica

En cuanto a la representación gráfica de los datos, se incluirán histogramas de frecuencias acompañados de su respectiva curva de distribución normal. Un histograma consiste en una serie de rectángulos dispuestos sobre un eje cartesiano, donde el área de cada barra representa el valor correspondiente al intervalo de clase dentro de una tabla de frecuencias, permitiendo comparar la magnitud entre dichos intervalos.

Además, se elaborarán gráficos de barras que muestran los promedios mensuales del año 2023 para cada variable analizada, con el objetivo de observar su comportamiento y variabilidad a lo largo del tiempo. Estas gráficas consideran los doce meses correspondientes al periodo de estudio.

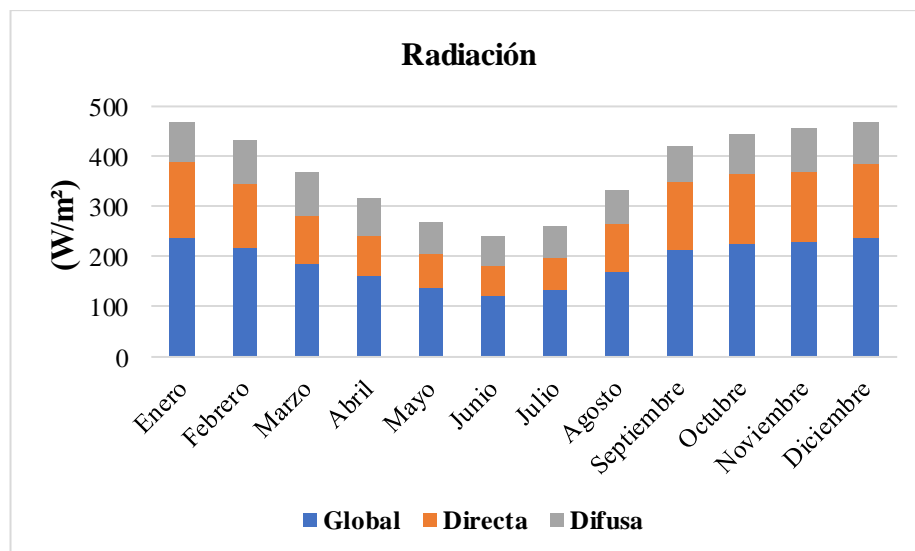


Figura 21. Variación de la radiación Global, Directa y difusa con respecto a cada mes del año.

La radiación solar es un factor clave en el diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos, ya que su comportamiento a lo largo del año impacta de forma directa en la producción de energía y en el rendimiento general de las instalaciones solares. Este análisis tiene como fin evaluar el comportamiento de la radiación global mensual registrada en 2023, con el fin de establecer tendencias y posibles implicaciones para la planificación energética en la región de estudio.

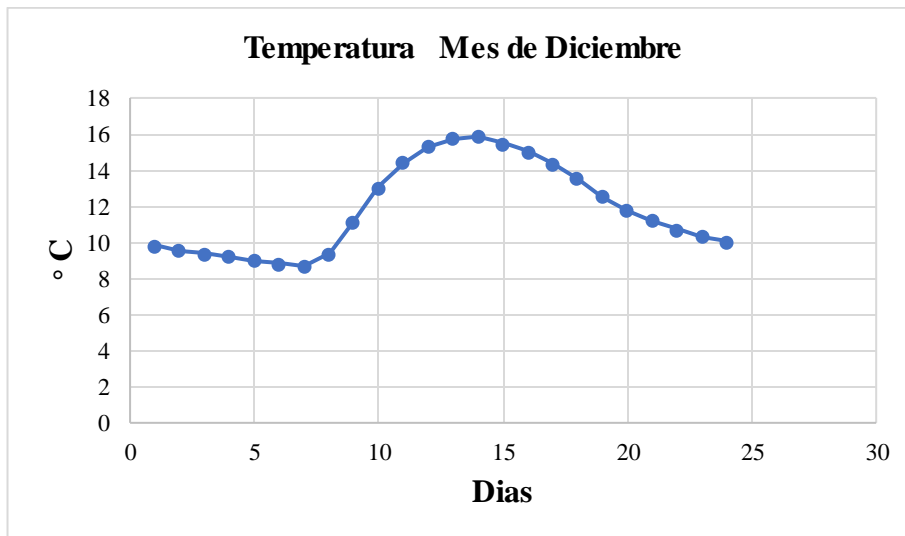


Figura 22. Temperatura mes.

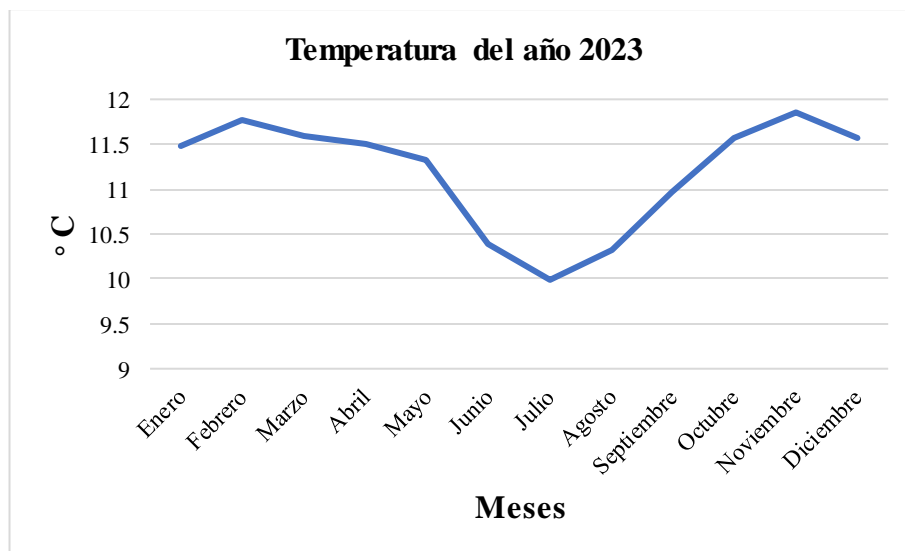


Figura 23. Variación de la temperatura con respecto a cada mes del año.

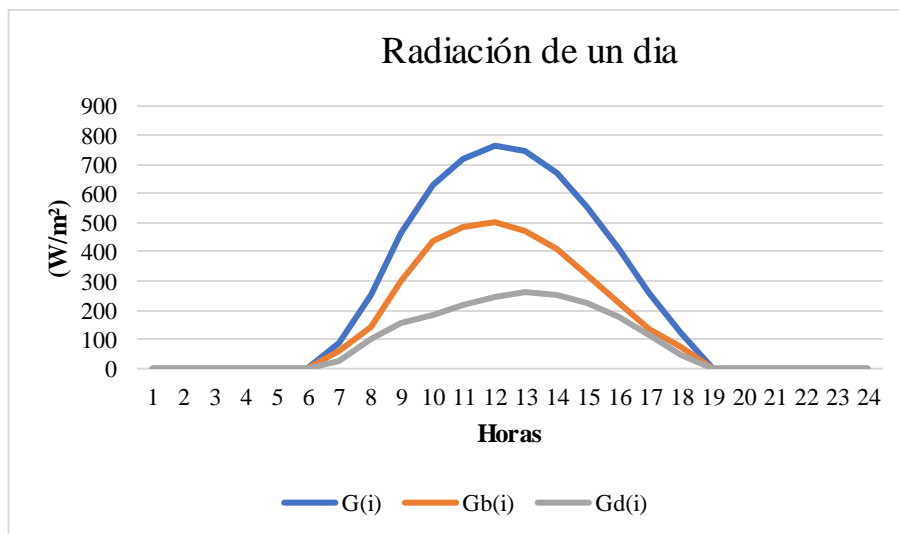


Figura 24. Histograma de frecuencias de la radiación global.

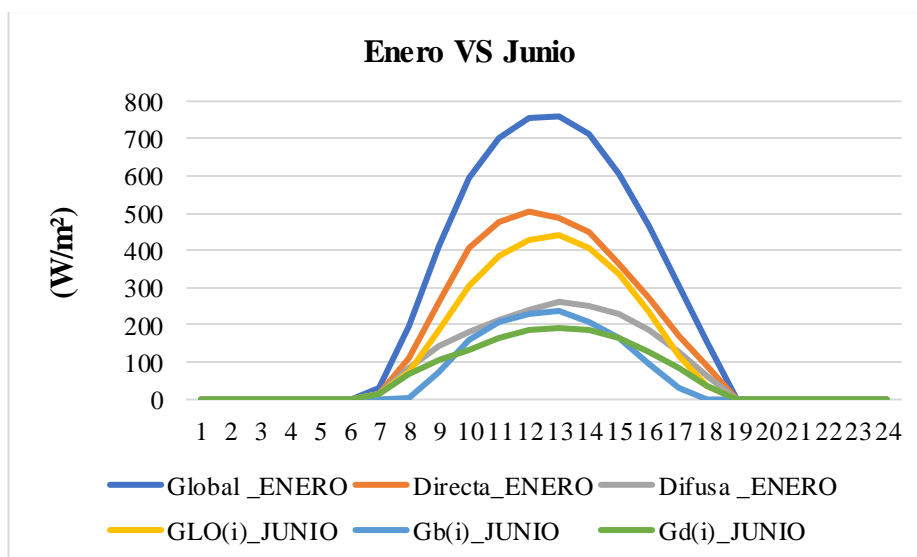


Figura 25. Histograma de frecuencias del mes de enero y junio.

4.4 Dimensionamiento de los equipos

En esta sección se detalla, paso a paso, el procedimiento utilizado para resolver el caso base, enfocándose en los cálculos necesarios para dimensionar un sistema solar fotovoltaico tipo OFF-GRID.

El análisis comienza con la evaluación de la demanda eléctrica del sistema, lo cual requiere conocer tanto la carga instalada parcial como la total. Además, es fundamental identificar el consumo diario estimado que deberá cubrir la instalación. La carga instalada (CI) corresponde a la suma de las potencias nominales o de placa de todos los dispositivos y equipos eléctricos presentes en la instalación o circuito. Esta magnitud puede expresarse en unidades como vatios

(W), kilovatios (kW), voltamperios (VA) o kilovoltamperios (kVA), y se calcula mediante la fórmula que se muestra a continuación.

$$CI = \text{Potencias nominales o de placa de las cargas} \quad \text{Ecu.6}$$

Para estimar la carga instalada parcial, es necesario multiplicar el número de equipos eléctricos por la potencia nominal de cada uno. Posteriormente, al sumar todas las cargas parciales obtenidas, se determina la carga total del sistema, como se refleja en la Tabla 7.

Por otro lado, el requerimiento energético diario, medido en Wh/día, corresponde a la energía necesaria para que cada equipo funcione correctamente durante una jornada completa. Este valor se obtiene al multiplicar la carga parcial de cada aparato por el tiempo que permanece encendido durante el día, y se resume a través de una fórmula matemática que permite calcular el consumo diario total.

$$\text{Consumo Diario} = CI * \text{horas} \quad \text{Ecu.7}$$

La cantidad total de energía necesaria por día se determina al realizar la suma de los consumos individuales de cada carga involucrada.

Tabla 7. Elaboración propia.

Aparatos Eléctricos y Alumbrado	Cantidad	P. Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Horas	Demanda (Wh/día)
Illuminación					
Focos Led	4	9	36	1	36
Ojo de Buey	12	4.5	54	1	54
Lámpara LED REFLET	2	20	40	1	40
Lámpara LED INTERIOR	2	100	200	1	200
Lámpara LED REFLET	1	10	10	1	10
Fluorescentes	16	40	640	1	640
Fuerza					
Amplificador	1	300	300	1	300
Parlantes	4	200	800	1	800
Tomas	3	200	600	1	600
Total, de la demanda diaria			2680 W		2680 Wh/día

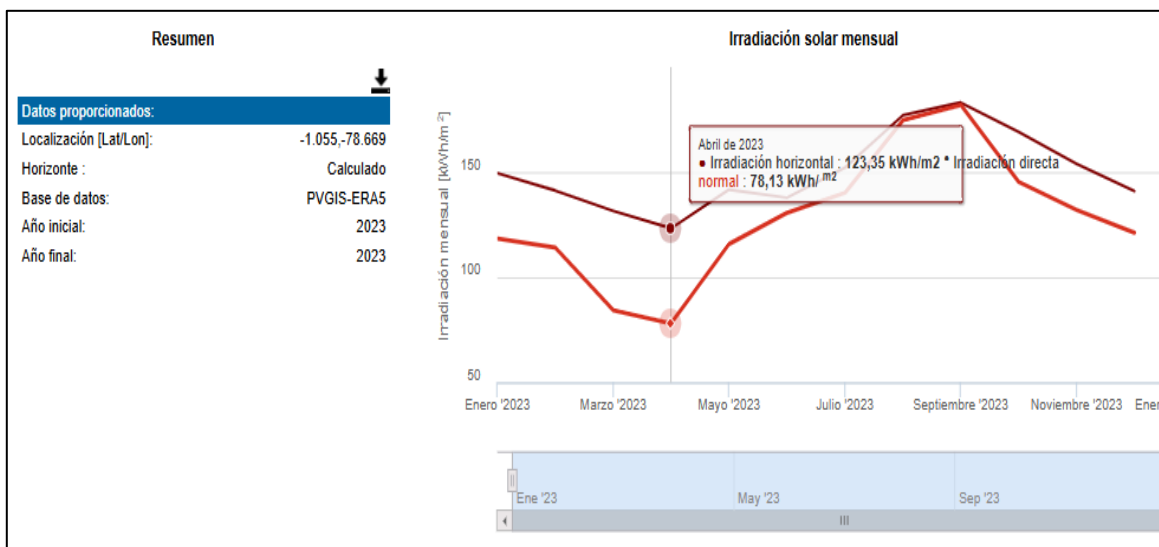


Figura 26. Estimaciones mensuales de irradiación solar.

En la Figura 26, se aprecia los valores de irradiación solar mensual, tanto en su componente horizontal como en la directa, información clave para determinar las Horas Sol Pico (HSP). Para este cálculo, es necesario convertir los datos mensuales en promedios diarios y seleccionar el mes con la irradiación más baja del año, ya que este valor representa el punto crítico para dimensionar el sistema. En el caso de instalaciones fotovoltaicas con seguidores solares, se deben emplear los datos de radiación directa normal. Por otro lado, los sistemas convencionales sin seguimiento solar deben basarse en los valores de irradiación global en plano horizontal.

Tabla 8. Irradiación global promedio diaria de San José de Alpalma g.

Mes	Irradiación Global Horizontal (kWh/m ²)
Enero	149.56
Febrero	141.27
Marzo	131.53
Abril	123.35
Mayo	141.7
Junio	137.89
Julio	152.12
Agosto	177.11
Septiembre	183.14
Octubre	169.23

Noviembre	153.97
Diciembre	141.03

De acuerdo con el caso base, el sistema fotovoltaico analizado no incorpora un seguidor solar. Por esta razón, el cálculo de las Horas Sol Pico (HSP) se realiza utilizando los datos de irradiación global en superficie horizontal. Para este fin, se toma como referencia el mes de menor radiación, que corresponde a abril, con un valor registrado de 123.35 KWh /m².

Primero se convierte la irradiación de $\frac{KWh}{m^2}$ a $\frac{Wh}{m^2}$, utilizando la ecuación 8.

$$123.35 \frac{KWh}{mes} = \frac{1000 W}{1 Kwh} = 123350 \frac{Wh}{m^2} \text{ mes} \quad \text{Ecu.8}$$

Luego se divide entre el número de días que tiene el mes con la irradiación más baja.

$$123350 \frac{Wh}{m^2} \text{ mes} = \frac{30 \text{ Días}}{1 \text{ mes}} = 4114.666 \frac{Wh}{m^2} \text{ mes} \quad \text{Ecu.9}$$

Finalmente se calcula la HSP con la ecuación 9

$$HSP = \frac{\text{Irradiación}}{1000 \text{ w. m}^2} \quad \text{Ecu.10}$$

$$HSP = \frac{4114.66 \frac{Wh}{w. m^2}}{1000 \text{ w. m}^2} = 4.11$$

Para poder dimensionar adecuadamente los componentes del sistema fotovoltaico, lo primero es definir el voltaje de operación en corriente continua (DC) con el que funcionará la instalación OFF-GRID. Esta elección se basa en la cantidad total de carga que se desea abastecer, la Tabla 9, presenta los niveles de tensión recomendados en función de la potencia total del sistema.

4.4.1 Voltajes DC de operación

Aquí se muestra el voltaje de operación del sistema fotovoltaico de corriente continua de 12V, para ello se elige la mejor opción para el sistema esto se puede mirar en la Tabla 9 las características del voltaje.

Tabla 9. Data características del voltaje DC.

Voltaje del Sistema en DC	
12 V	< 1500 W
24V – 48V	1500 W – 5000 W

4.4.2 Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos

Una vez definidos los parámetros requeridos, se procede a calcular la cantidad de módulos solares (NP) necesarios. En este proyecto se optará por el uso de paneles de la marca Ikao. Cabe destacar que, conforme a lo establecido en la normativa ARCERNR 001-2021, cualquier usuario tiene la posibilidad de instalar sistemas solares en su vivienda o negocio para generar energía destinada al autoconsumo, siempre que se respeten los criterios técnicos y se sigan los procesos establecidos por las autoridades correspondientes.

Tabla 10. Características del panel IKAO.

Panel	
Panel monocristalino	Ikao
Potencia máxima	50-55 W
Corriente de potencia máxima	2.78 A
Voltaje de potencia máxima	18 V
Voltaje de circuito abierto	22 V
Corriente de cortocircuito	3.38 A
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Altura	
Eficiencia del módulo	16.2%
Tolerancia de potencia	0 -'3 %
Irradiancia	1000 W/m ²
Número de células	28
Temperatura	25°C

4.4.2.1 Cálculo de la demanda energética diaria total

Primero se determina la cantidad total de energía (en vatios-hora, Wh) que se necesita suministrar diariamente. Esto implica sumar el consumo de todos los aparatos eléctricos que se utilizarán durante el día.

Carga Utilizada por Día: En tu caso base, esta carga es de 2680 Wh.

Con el fin de garantizar un funcionamiento confiable del sistema y prever posibles aumentos en la demanda o pérdidas por ineficiencia, se incorpora un margen adicional mediante la aplicación de un factor de seguridad.

Factor de Seguridad: En esta ocasión se emplea el factor de 1.2.

$$\text{Demanda con factor de seguridad} = \text{Carga utilizada por día} * 1.2 \quad \text{Ecu.11}$$

$$\text{Demanda con factor de seguridad} = 2680 \text{ Wh} * 1.2 = \mathbf{3216 \text{ Wh}}$$

Por lo tanto, la demanda energética diaria total, considerando el factor de seguridad del 20%, es de 3216 Wh.

4.4.2.2 Cálculo de la potencia total de los paneles solares

Una vez conocida la demanda energética diaria, es necesario calcular la potencia total (en vatios, W) que los paneles solares deben generar para cubrir la misma. Esto depende de las Horas de Sol Pico (HSP) en tu ubicación.

$$\text{Potencia total necesaria} = \frac{\text{Demanda}}{\text{HSP}} \quad \text{Ecu.12}$$

$$\text{Potencia total necesaria} = \frac{3216 \text{ Wh}}{4.11 \text{ h}} = \mathbf{782.48 \text{ W}}$$

Por lo tanto, necesitas un sistema de paneles solares que genere al menos 782.84 W para cubrir tu demanda energética diaria.

4.4.2.3 Cálculo del número de paneles solares

Finalmente, para determinar cuántos paneles solares se requieren, se debe conocer la potencia nominal de cada panel.

Potencia Nominal del Panel: 55 W.

La fórmula para calcular el número de paneles solares es:

$$\text{Número de Paneles} = \frac{\text{Potencia total necesaria (W)}}{\text{Potencia Nominal de los Paneles (W)}} \quad \text{Ecu.13}$$

$$\text{Número de Paneles} = \frac{782.48}{55} = \mathbf{14.23}$$

Número de Paneles = **15 Unidades**

Por lo tanto, se necesitó 15 paneles solares de 55 W para cubrir tu demanda energética diaria de 3216 Wh, considerando las HSP de 4.11 horas.

4.4.3 Dimensionamiento de la batería

El proceso de dimensionar las baterías en un sistema fotovoltaico consiste en determinar cuánta capacidad de almacenamiento se requiere para cubrir la demanda energética, incluso en momentos donde la generación solar es insuficiente o inexistente.

Tabla 11. Características de la batería.

Batería	
Batería de gel ciclo profundo	-
Capacidad	200 AH
Voltaje nominal	12 V
Tipo de batería	Gel ciclo Pro
Marca	ULT
Ancho	50 cm
Largo	28 cm
Alto	22 cm
Peso	60 kg
Ciclos de vida útil	1500-2000
Autodescarga	<3%
Temperatura	-20°C a 50°C
Rendimiento	0.9

La capacidad total del banco de baterías se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad requerida} = \frac{\text{Demanda} * \text{Dia de autonomía}}{\text{Voltaje} * \% \text{ de descarga}} \quad \text{Ecu.14}$$

$$\text{Capacidad requerida} = \frac{3216 * 1}{12 * 0.9} = 297 \text{ Ah}$$

Numero de baterías para el sistema

$$\text{Número de Batería} = \frac{\text{Capacidad requerido}}{\text{Ah de la batería}} \quad \text{Ecu.15}$$

$$\text{Número de Batería} = \frac{297}{200} = 1.48$$

$$\text{Número de Batería} = \mathbf{1 \text{ Unidad}}$$

4.4.4 Dimensionamiento del controlador de carga

En un sistema fotovoltaico, el controlador de carga se encarga de gestionar la corriente que va desde los paneles solares hacia las baterías, asegurando que no se produzcan sobrecargas ni descargas profundas. Para determinar su capacidad adecuada, se toma en cuenta la corriente de cortocircuito (I_{sc}) de los módulos solares y la cantidad total de paneles que están conectados en paralelo.

Tabla 12. Características del Regulador de Carga.

Controlador de carga PWM	Amarillo
Material	Plástico
Salida USB	5 V / 5 A
La batería de 12V solo puede acceder a PF	18 – 20 V
Pantalla	LCD
Corriente nominal	60 A

$$I_{\text{Controlador}} = I_{sc} * N_{\text{panels}} \quad \text{Ecu.16}$$

$$I_{\text{Controlador}} = 3.38 * 15 = 50.7 \text{ Amp}$$

Para este sistema fotovoltaico se considera un regulador de carga de 60 A lo que proporciona un margen de seguridad del 18%.

4.4.5 Dimensionamiento del inversor OFF GRID

El dimensionamiento del inversor en un sistema fotovoltaico aislado (OFF-GRID) consiste en elegir la capacidad adecuada del equipo para garantizar que pueda soportar la carga total de los dispositivos conectados. Este proceso también asegura que el inversor pueda transformar correctamente la energía almacenada en corriente continua (CC) dentro de las baterías en corriente alterna (CA), necesaria para el funcionamiento de los aparatos eléctricos.

Tabla 13. Placa característica de inversor.

Inversor de onda modificada	
Voltaje de entrada (DC)	10 - 15V
Voltaje de salida (AC)	110/220 V
Alarma de batería baja nominal	10 -11 V
Punto de apagado por batería baja nominal	9.7 - 10.3 V
Punto de apagado por batería alta nominal	14.5 - 15.5 V
Salida USB	5 V -0.5 A
Frecuencia de salida	50-60 Hz
Peso	60 kg
Ciclos de vida útil	1500-2000
Autodescarga	<3%
Descarga de batería sin carga de AC	<0.3 A
Eficiencia	>95%

A la selección del inversor, debe ser capaz de manejar la potencia calculada en el paso anterior. Generalmente, se elige un inversor con una capacidad nominal superior a la potencia requerida para garantizar una operación eficiente.

La potencia total (Potencia total) se calcula sumando la potencia nominal de todos los equipos eléctricos que se alimentarán con el sistema fotovoltaico.

Potencia Total= 2680 W

Aplicar un Factor de Seguridad

Para evitar que el inversor trabaje al límite y permitir cierta flexibilidad ante picos de demanda, se le deja un margen extra en su capacidad.

Factor de Seguridad: Se utilizó un factor de 1.2.

$$\text{Demanda con factor de seguridad} = P_{\text{Total}} * \text{Factor de seguridad} \quad \text{Ecu.17}$$

$$\text{Demanda con factor de seguridad} = 2680\text{W} * 1.2 = 3216 \text{ W}$$

Un inversor de 4 kW (4000 W) es adecuado, ya que es mayor a 3216 W y permite margen para futuros aumentos de carga.

4.4.6 Dimensionamiento de conductores y protecciones de sobre corriente

Donde:

$$I_{\text{sc}} = 3.38 \text{ A (Corriente de cortocircuito de un panel solar).}$$

$$N_{\text{panels}} = 15 \text{ (Número de paneles conectados en paralelo).}$$

Cálculo de intensidad

$$I = I_{\text{sc}} * N_{\text{panels}} * 1.25 \quad \text{Ecu.18}$$

$$I = 3.38\text{A} * 15 * 1.25 = 63.37\text{A}$$

4.4.7 Dimensionamientos de la estructura de paneles

Para asegurar una instalación firme y confiable, se diseñaron cuidadosamente las estructuras que sostienen los paneles solares, ya que son esenciales para su estabilidad y funcionamiento, a continuación, se mostrará las estructuras diseñadas en Inventor de Autodesk que es un software de modelado 3D especializado en diseño mecánico, inventor está más enfocado en modelado paramétrico y simulación de piezas y ensamblajes.

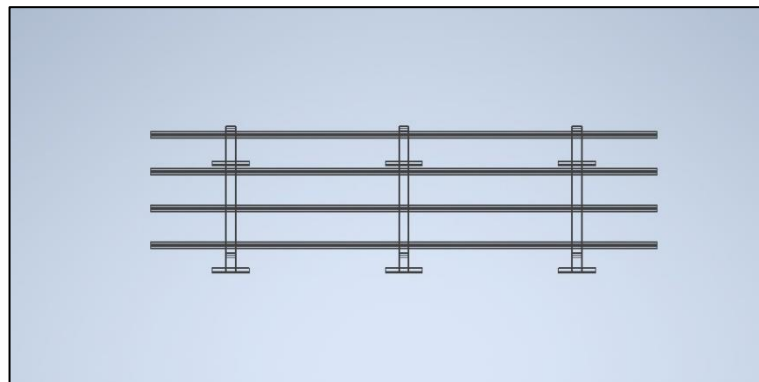


Figura 27. modelado paramétrico y simulación de piezas y ensamblajes.

En la Figura 27 aprecia parte frontal de la estructura donde se fijarán los paneles solares, asegurando el asentamiento de los mismos para tener una mejor captación del sol.

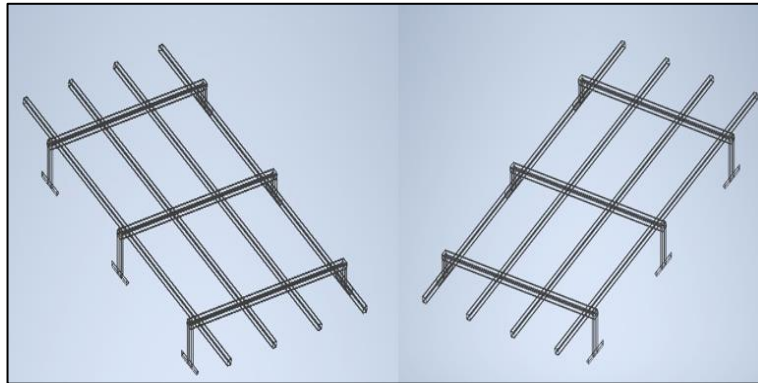


Figura 28. Estructura de la parte lateral izquierda derecha.

La estructura que se muestra en la Figura 28 ha sido diseñada como un soporte para paneles solares, ofreciendo estabilidad y la inclinación adecuada para maximizar la captación de radiación solar. Su diseño modular y el uso de perfiles metálicos indican que es una solución robusta y versátil, capaz de adaptarse a diversas condiciones ambientales.

Para asegurar un rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico, es fundamental verificar aspectos como la inclinación, los materiales utilizados, la resistencia estructural y el tipo de anclaje. Para ello las dimensiones son de la siguiente manera 4 m de largo por 2 de ancho, este dimensionamiento se realizó por las dimensiones del panel solar.

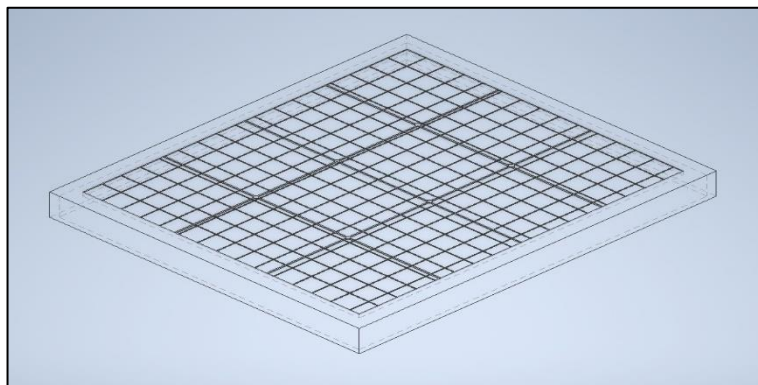



Figura 29. Panel fotovoltaico.

En la presente Figura 29 se puede observar el módulo fotovoltaico, que es monocristalino que cuenta con dimensiones de 0.75 cm de alto y 0.55 cm de ancho, el mismo que cuenta con partes metálicas y agujeros para empotrar en la base diseñada en la Figura 27.

4.5 Materiales y herramientas

La instalación de un sistema fotovoltaico necesita distintas herramientas, para la ejecución del mismo, es por esta razón que a continuación se dará a conocer cada una de ellas:

Tabla 14. Herramientas e Instrumentos.

Herramienta	Función	Fotografía
Taladro eléctrico	Tiene como funcionalidad perforar, aluminio, paredes de concreto o madera, para este proyecto se utilizará en la perforación de las bases de la estructura metálica para el anclaje de los paneles solares.	
Destornilladores	Son utilizados para ajustar o desajustar tornillos de punta plana o estrella, es así que para el proyecto se utilizó en el ajuste los materiales, esto son inversor, regulador, paneles entre otros.	
Multímetro	Herramienta de medición, utilizada para calcular voltaje y corriente continua y alterna.	
Clinómetro	Se trata de una herramienta que permite medir la inclinación o pendiente de una superficie, así como el ángulo de elevación o	

descenso de un objeto en relación con la gravedad.



Alicates Son herramientas diseñadas para cortar, doblar o sujetar conductores eléctricos u otros materiales.



Juego de rachas Son utilizadas para ajustar, montar y desmontar piezas que están adaptadas a tornillos o tuercas.



Tabla 15. Materiales utilizados.

Materiales	Función	Fotografía
Panel solar	Está creado para absorber la radiación del sol y transformarla en electricidad en forma de corriente continua.	



Inversor Es un convertidor eléctrico que se encarga de transformar la corriente continua (DC) en alterna (AC) y también puede hacer el proceso inverso.



Regulador Son reguladores básicos que funcionan como interruptores entre los paneles solares y la batería. Obligan a los módulos a operar con el mismo voltaje de la batería, sin necesidad de instalaciones adicionales.



Batería Estas baterías están diseñadas para acumular energía y permitir su recarga mediante la electricidad generada por los paneles solares.



Conductores Se trata de materiales que permiten, en distinta proporción, el paso de la electricidad. Gracias a sus propiedades, los electrones pueden moverse de un punto a otro a través de ellos.



Interruptor magnetotérmico Son aparatos diseñados para cortar el paso de la corriente en un circuito cuando esta supera ciertos niveles de seguridad.



Contactores El contactor es un dispositivo eléctrico que permite abrir o cerrar circuitos, ya sea en funcionamiento o en reposo, incluso cuando



manejan corrientes de alta intensidad.

Luces piloto Las luces piloto son las encargadas de detectar cuando un sistema se encuentra activo o desactivo, en este caso tiene como finalidad seleccionar el tipo de sistema con el que se va a trabajar.



Tablero de control El tablero de control tiene como función proteger los equipos que se encuentran en el mismo, por otro lado, tiene un control de transferencia para invertir la el uso de energía eléctrica, esta puede ser en solar o de la red.



4.6 Proceso de implementación del sistema fotovoltaico

En este punto se dará a conocer el desarrollo del proyecto de implementación del sistema fotovoltaico en la iglesia de San José de Alpamalag, además de lo anterior, se seguirán las normas de seguridad y prevención de riesgos eléctricos.



Figura 30. Ubicación de las estructuras metálicas.

En la Figura 30 se observa la ubicación exacta de las estructuras metálicas para la ubicación de los paneles solares.



Figura 31. Perforación para empotrar la estructura.

En la Figura 31 se mira la perforación que se realizó en el concreto para fijar la estructura metálica, que sujeta los paneles solares.



Figura 32. Inclinación de paneles.

Para este proyecto se tiene que tener en cuenta el ángulo de inclinación, es por ello que se tomó en cuenta las normas para instalación de paneles solares, es así que por norma el margen de inclinación en Ecuador es de 15 a 25 grados, pero esto dependerá del lugar de estudio, en este caso el ángulo de inclinación óptimo es de 25 grados.



Figura 33. Perfeccionamiento del ángulo de inclinación.

Como se observa en la Figura 33 se está realizando los cortes correspondientes para la fijación de la estructura con el ángulo de inclinación tomado por el inclinómetro.

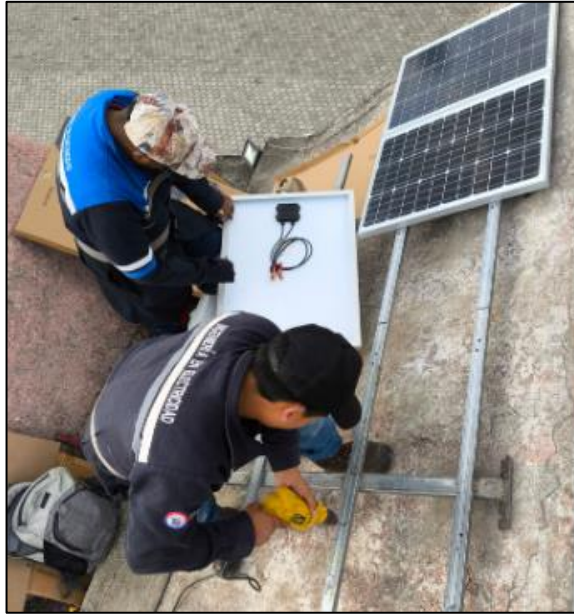


Figura 34. Perforación para anclaje de paneles.

Una vez terminada la ubicación de la estructura, se procede a perforar la misma que servirá como soporte para los paneles de esta manera se procede a ubicar los pernos correspondientes para la sujeción de los paneles solares.



Figura 35. Culminación de la colocación de paneles solares.

Una vez culminada la ubicación de los paneles solares asegurado y anclaje los pernos en cada panel, se procederá con la siguiente parte que es la conexión de los conductores para los paneles.

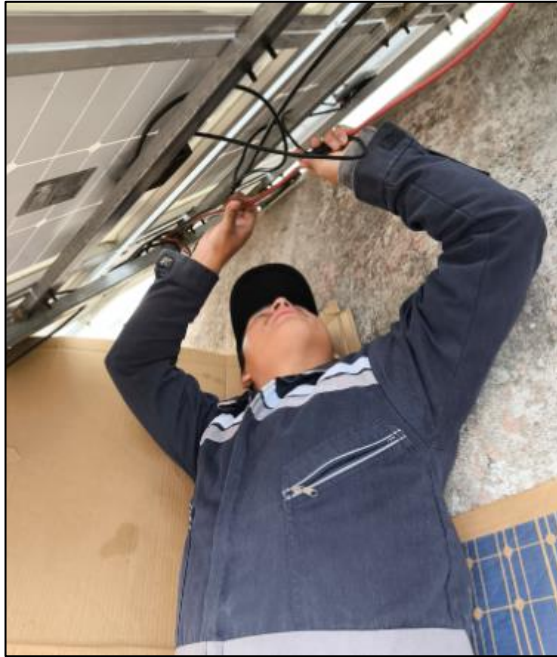


Figura 36. Conexión de paneles solares.

La Figura 36 presenta las conexiones correspondientes que se realizaron en cada uno de los paneles, para ello se tomó en cuenta la conexión en paralelo que consta en mantener el voltaje y sumar las corrientes.

4.6.1 Conexión de los paneles al tablero de control

Como siguiente punto se realizará el cableado de los paneles hacia el tablero de control, para ello se programó un día específico. Por otro lado, se diseñó el tablero de control que servirá para proteger el sistema fotovoltaico de personas no autorizadas. También se menciona que el tablero se diseñó en el software AutoCAD.

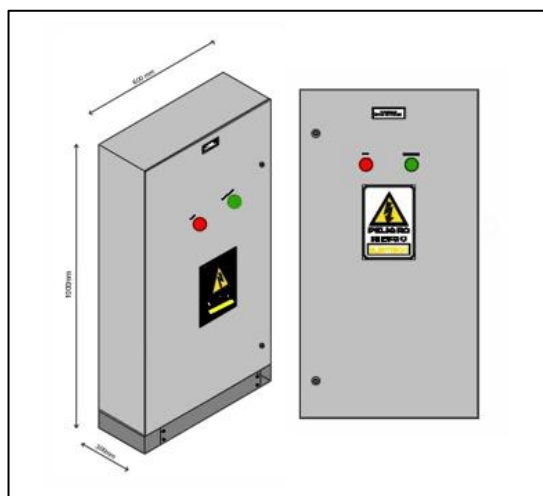


Figura 37. Diseño de tablero de control.

En la siguiente Figura 37 se presenta el diseño del tablero de control diseñado para alojar los componentes del sistema fotovoltaico, el mismo que consta con el tablero de transferencia manual, que tiene como finalidad proteger el sistema.



Figura 38. Tablero de control físico.

En la Figura 38 presenta el tablero construido físicamente para el conjunto fotovoltaico. Tal como se indicó en la Figura 37, se diseñó se realizó en AutoCAD y se realizó acorde a lo diseñado en el programa.

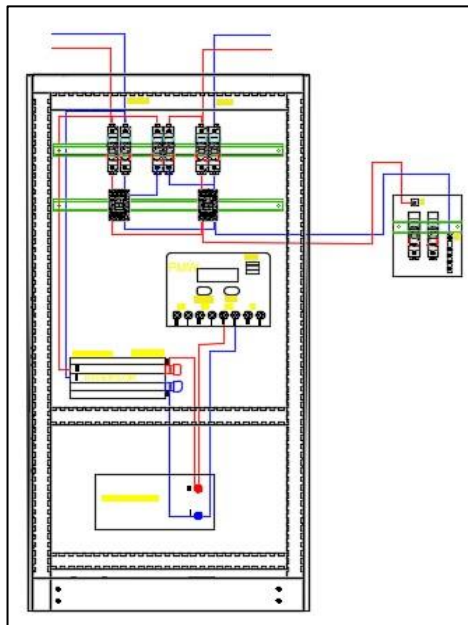


Figura 39. Diseño del tablero de transferencia manual.













LEYENDA DE ELECTRICIDAD			
	CAJA GENERAL DE PROTECCION		CONDUCTOR UNIFILAR #8 AWG
	LUZ PILOTO VERDE 110-220 V		CONDUCTOR FASE + N #8 AWG
	LUZ PILOTO ROJA 110-220 V		INVERSOR DE 1000 W
	DOS BREAKER 2P-40 Amp		CONTROLADOR DE CARGA DE 30 Amp
	DOS CONTACTORES DE 40 Amp a 120V		BATERIA DE 12V DE 100Ah
	CUATRO BREAKER DE CONTROL 20 Amp		CUADRO DE DISTRIBUCION

Figura 40. Leyenda del sistema de control y transferencia.

En la presente Figura 40 se puede observar el tablero de transferencia manual con sus respectivos componentes, de control, como es contactores, interruptores termomagnéticos, luces piloto, estos son los componentes en base al sistema de transferencia. Por otro lado, se encuentra ubicado el sistema fotovoltaico con sus componentes, como son controlador, inversor y batería.

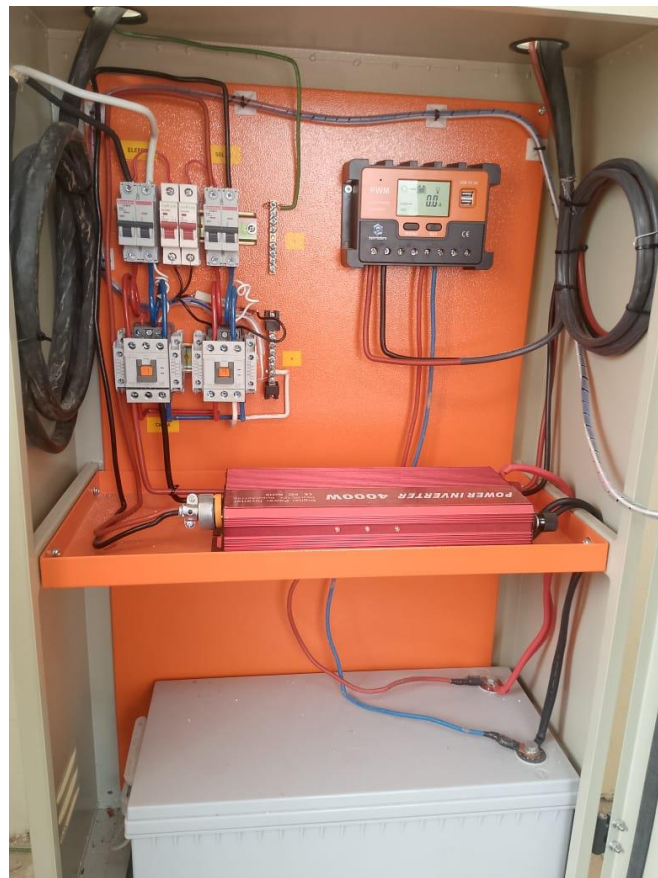


Figura 41. Implementación del tablero de control y transferencia del sistema fotovoltaico.

La Figura 41 evidencia las conexiones realizadas en el tablero de transferencia para la implementación del sistema fotovoltaico, mismas que se describen a continuación:

4.6.2 Ubicación e instalación del tablero de transferencia

En primera instancia se debe empotrar el tablero de control en un lugar adecuado, para poder trabajar de la mejor manera al momento de implementar los componentes. Luego, se procede a colocar los interruptores termomagnéticos, en el sistema de la red eléctrica, por consiguiente, se conecta en el contactor fase y neutro, para después, puentear la línea y el neutro según corresponda.

También, se conecta la carga al sistema de la red eléctrica, para evidenciar su funcionamiento y de la carga conectada se debe puentear hacia el contactor del sistema fotovoltaico.

Para la instalación fotovoltaica, es necesario conectar el controlador de carga utilizando los conductores que provienen de los paneles solares, seguidamente se debe conectar en las entradas del controlador los conductores de la batería teniendo en cuenta la polaridad de los mismos de ahí se conecta la batería en paralelo con el inversor, el cual recibe el voltaje en corriente continua proveniente de los paneles solares, para convertirlo en corriente alterna y así cumplir su función principal. Finalmente se debe conectar de la salida del inversor a los interruptores termomagnéticos para que puede energizar la carga del sistema.

4.6.3 Instalación de puesta a tierra en el tablero del sistema fotovoltaico

Esta área estará destinada a la instalación del sistema de conexión a tierra, un elemento clave para la seguridad eléctrica. Su propósito es desviar cualquier fuga de corriente, minimizando el riesgo de accidentes y resguardando la integridad de las personas.

Por otro lado, se menciona que el sistema de puesta a tierra tiene como finalidad proteger los equipos que se encuentran instalados en el sistema en este caso los equipos de la iglesia de San José de Alpamalag.



Figura 42. Reconocimiento del lugar para el SPT.

En primera instancia se procede a verificar el lugar donde se instalará el sistema de conexión a tierra, tal como se indica en la siguiente Figura 42. También se realizó la instalación del conductor eléctrico para el SPT, desde el tablero de transferencia hacia la varilla copperweld del sistema, además se consideró el conductor de color verde para la puesta a tierra.



Figura 43. Ubicación de la varilla copperweld.

En la presente Figura 43 se puede evidenciar la ubicación de la varilla del SPT, para ello se procede a preparar la tierra para perforar la varilla, es así que se aplicó el método que consiste en remojar la tierra para enterrar la varilla.

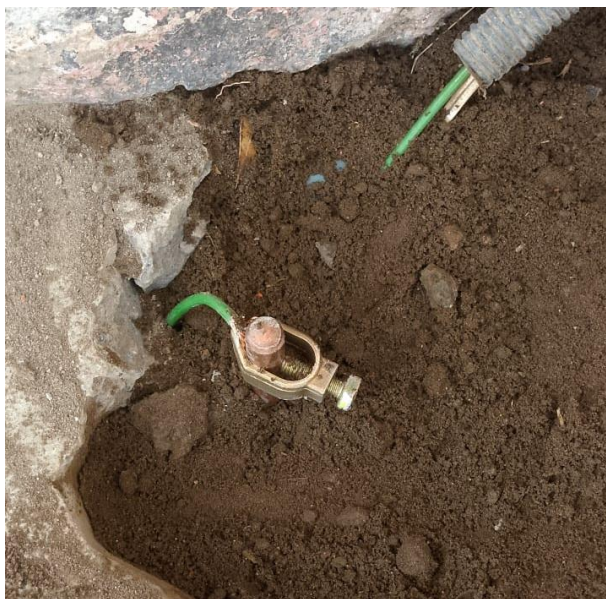


Figura 44. Sistema de puesta a tierra implementado.

Finalmente, en la Figura 44 se mira la implementación del SPT culminado, esto aportará a la seguridad del conjunto fotovoltaico, tanto en la protección de los equipos como en la de las personas que operen el tablero.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se hablará de los resultados obtenidos en la implementación del sistema fotovoltaico, además de ello se dará a conocer las pruebas realizadas en los equipos implementados, es así que se medirá el nivel de voltaje y corriente en AC y DC. Por otro lado, se calculará las horas de abastecimiento del sistema, tomando en cuenta que los equipos se encuentran trabajando al cien por ciento.

5.1 Pruebas de voltaje

En electricidad existen dos tipos de voltajes que se pueden medir, en voltaje alterno y continuo, es por esta razón que a continuación se dará a conocer las mediciones correspondientes en los equipos implementados.

5.1.1 Voltaje de la batería DC



Figura 45. Medición del voltaje de la batería.

La batería mostrada en la Figura 45 presenta un voltaje de 12.15 V, en corriente continua ya que, se tiene dimensionada con una batería de 12 V. Por otro lado, se debe considerar que existen una variedad de baterías según su voltaje como puede ser 12, 24 y 48 voltios.

5.1.2 Voltaje de la carga AC



Figura 46. Medición de la carga AC.

El voltaje evidenciado en la Figura 46 tiene una carga de 126 V con ello, se verifica que el sistema se encuentra en el régimen aceptable según norma de. ARCERNR-001/2021.

5.1.3 Voltaje de la red eléctrica



Figura 47. Red eléctrica.

La tensión de red, tiende a ser de 118.4 V como se puede apreciar en la Figura 47 para ello se menciona que estas mediciones se realizaron para realizar la comparación de ambos sistemas.

5.1.4 Voltaje del sistema fotovoltaico



Figura 48. Medición del sistema fotovoltaico.

El voltaje que se puede apreciar en la Figura 48 es de 126.1 V, a diferencia del voltaje de la red eléctrica tiende hacer de 118.4 V. con una diferencia de 7.7 V.

5.2 Pruebas de corriente

5.2.1 Corriente de la red eléctrica



Figura 49. Medición de corriente en la red eléctrica.

La corriente del sistema fotovoltaico tiende a ser de 8.41 A, esto se puede apreciar en la Figura 49.

5.2.2 Corriente del sistema fotovoltaico



Figura 50. Medición en el sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico tiene una corriente de 8.02 A esto se debe a que el sistema depende de la energía suministrada por las baterías, esto se puede mostrar en la figura presentada.

Por otro lado, se aprecia en la Figura 49 y Figura 50 la diferencia de corriente de los dos sistemas expuestos y es así que se tiene a 0.39 A.

5.2.3 Cálculo de la corriente de consumo

Para calcular la corriente de consumo, es necesario tomar en cuenta tanto la potencia requerida como el voltaje registrado durante las pruebas.

$$I_{\text{consumida}} = \frac{\text{Potencia demandada}}{V. \text{ sistema}} \quad \text{Ecu.19}$$

$$I_{\text{consumida}} = \frac{2680 \text{ W}}{126 \text{ V}} = \mathbf{21.26 \text{ A}}$$

5.2.4 Cálculo del tiempo de descarga de la batería

Para llevar a cabo el siguiente cálculo, es importante tener en cuenta el voltaje, la capacidad de la batería, la corriente utilizada y su nivel de descarga.

$$t_{\text{descarga}} = \frac{V_{\text{bat}} * \text{Capacidad}_{\text{bat}} * \text{Prof}_{\text{descarga}}}{V_{\text{bat}} * I_{\text{consumida}}} \quad \text{Ecu.20}$$

$$t_{\text{descarga}} = \frac{12 \text{ V} * 200 \text{ Ah}}{12 \text{ V} * 21.26 \text{ A}} * 100\% = \mathbf{9.40 \text{ h}}$$

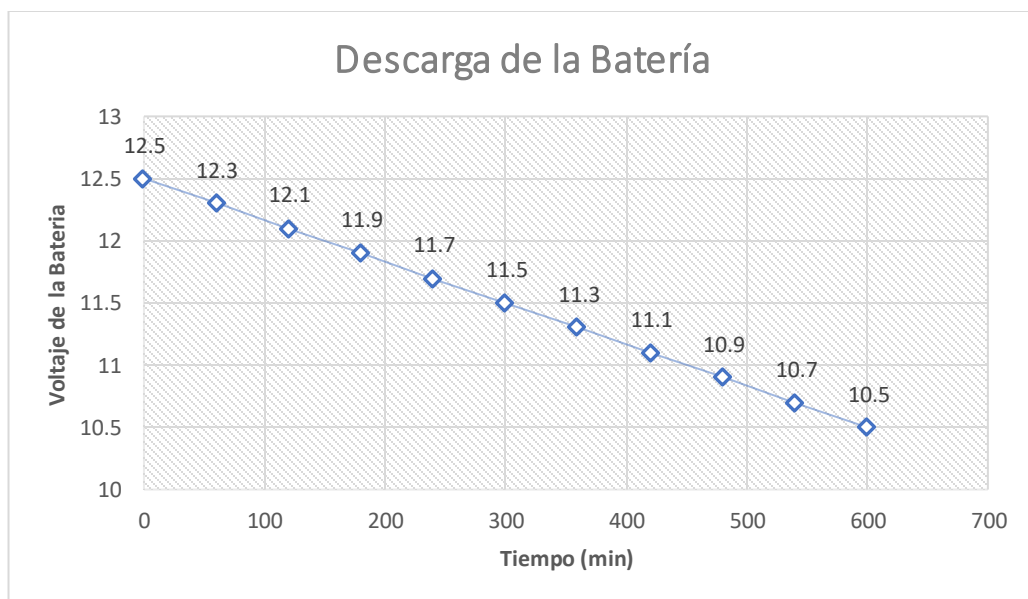


Figura 51. Tiempo de descarga de la batería.

En la Figura 51 de acorde a los datos obtenidos al realizar las pruebas de campo se determina la variación de voltaje en la batería, en el cual se tiene como mayor voltaje de 12.5V, el sistema se encuentra al 100% cargada. Para determinar esta prueba se pone en ejecuta el sistema y se procede a encender todas las cargas que se obtuvo al hacer el levantamiento respectivo.

Utilizando la Ecuación (20) para el cálculo del tiempo de descarga se obtuvo el primer valor de 9.40 horas (564 min), esta prueba se realizó en un intervalo de tiempo, teniendo una variación en el voltaje de la batería entre el rango de 12.5V a 10.5V.

5.2.5 Cálculo del tiempo de carga de la batería

Para efectuar el siguiente cálculo se debe considerar, cálculos adicionales como se muestra a continuación:

5.2.5.1 Cálculo de energía total almacenada en la batería

$$E = V * C \quad \text{Ecu.21}$$

$$E = 12V * 200 \text{ Ah} = 2400 \text{ Ah} = \mathbf{2.4kWh}$$

5.2.5.2 Seguidamente se debe ajustar el sistema por eficiencia de carga.

$$E_{\text{carga}} = \frac{E}{\text{eficiencia}} \quad \text{Ecu.22}$$

$$E_{\text{carga}} = \frac{2.4 \text{ kWh}}{0.85} = \mathbf{2.82 \text{ kWh}}$$

5.2.5.3 Cálculo de tiempo de carga

$$t_{\text{carga}} = \frac{C}{I_c} * \frac{1}{F_{\text{carga}}} \quad \text{Ecu.23}$$

$$t_{\text{carga}} = \frac{200 \text{ Ah}}{62.5 \text{ A}} * \frac{1}{0.85} = 3.2 * 1.176 = \mathbf{3.76 \text{ h}}$$

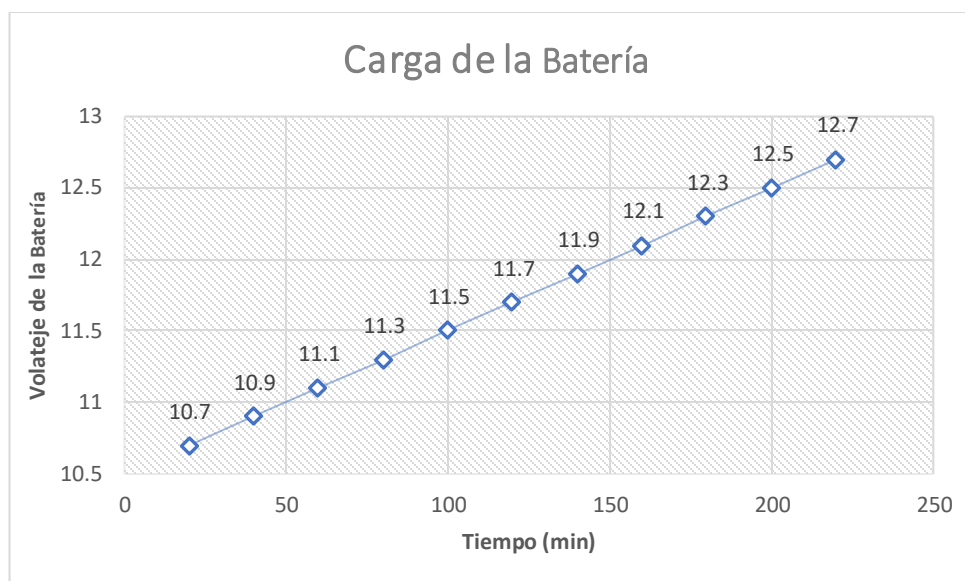


Figura 52. Tiempo de carga de la batería.

En la Figura 52 se observa el voltaje de desconexión de 10.7V cuando el sistema se tiende a paralizarse por falta de corriente y voltaje, en este trayecto el sistema se queda en stand by hasta que logre cargar la batería y llegue a un voltaje que supere los 12.7V y vuelva a activarse el sistema para trabajar con normalidad. El tiempo de carga se obtiene en 3.76 horas (225.6 min) este comportamiento de carga de la batería si tiene concordancia con los cálculos de la ecuación (23), esta prueba se realizó con un día despejado y aprovechando la radiación del sol al máximo.

5.2.5.4 Cálculo de la energía total utilizada en el sistema fotovoltaico

$$E_{usada} = V * I * Pro_{descarga} \quad \text{Ecua.24}$$

$$E_{usada} = 12V * 200 \text{ Ah} * 1.2 = 2880\text{Wh} = \mathbf{2.88 \text{ kWh}}$$

5.3 Análisis presupuestario

Al hablar de análisis presupuestario se debe considerar los gastos que se realizaron para la ejecución del presente proyecto de implementación fotovoltaica, la misma que tiene como finalidad el beneficio de la comunidad de San José de Alpalag, proyecto que está dirigido a la iglesia de la comuna.

También se dará a conocer los costos unitarios de cada equipo que se adquirió para el proyecto, esto se logró gracias al estudio realizado previamente y al dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 16.Presupuesto del proyecto.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Porcentaje (%)
Paneles	15	54.52	817.8	43.7
Inversor	2	120	240	12.8
Regulador	1	45	45	2.4
Batería	1	325	325	17.4
Tablero de control	1	263	263	14.1
Conductores	50	1.9	95	5.1
Estructura Armada	1	86	86	4.6
TOTAL			1871.8	100.0

6. CONCLUSIONES

- Al analizar la irradiación solar en la comunidad de San José de Alpamalag demostró una disponibilidad solar suficiente durante todo el año, con valores de irradiación global superiores a 120 kWh/m² por mes, lo cual asegura la viabilidad técnica y energética del sistema fotovoltaico propuesto.
- Se determinó que la demanda energética diaria de la iglesia es de 2680 Wh/día, por lo que se diseñó un sistema fotovoltaico aislado con 15 paneles solares monocristalinos de 55W y un banco de baterías de ciclo profundo. Esta configuración garantiza una autonomía energética de un día, cumpliendo con los requerimientos eléctricos de la iglesia, además, se realizaron simulaciones en PVsyst para validar el dimensionamiento del sistema solar.
- Conformemente se realizó los cálculos pertinentes para dimensionar los equipos que se van a utilizar en la implementación del sistema, como son paneles, controlador, inversor, batería, estructura de paneles y conductores eléctricos.
- Tras realizar las pruebas de corriente y voltaje se llega a la conclusión que el sistema fotovoltaico, abastece la demanda eléctrica de la iglesia, dando como resultado el voltaje del sistema en 126V con una corriente de 8.02 amperios.

7. RECOMENDACIONES

- Al tener buena irradiación solar en el lugar de estudio se recomienda aprovechar esta ventaja asegurando la orientación óptima e inclinación de los paneles solares para maximizar la captación de energía.
- Se recomienda mantener una revisión periódica del rendimiento de los paneles y del banco de baterías para prevenir pérdidas de eficiencia por suciedad, envejecimiento o sulfato en las baterías.
- Es fundamental confirmar que el controlador de carga y el inversor seleccionados cuentan con margen suficiente para manejar picos de demanda superiores a la media diaria, protecciones contra sobrecargas y descargas profunda para salvaguardar la vida útil de los equipos.
- Se recomienda diseñar un programa de monitoreo continuo, que incluya la medición de voltajes, corrientes y condiciones de los equipos, para detectar de manera oportuna cualquier desviación operativa.

8. BIBLIOGRAFÍA

- } G. C. C. X. y. V. M. F. Daniel, «Estudio e Implementación de un sistema Fotovoltaico aplicado a luminarias: Caso de estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero,» UPS, Guayaquil, 2020.
- [2] A. R. B. Toma, «Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones de la UCSP,» UCSP, Perú, 2017.
- [3] F. d. I. C. C. A. y. R. A. M. Otero, «Sistemas fotovoltaicos: solución energética en las comunidades aisladas,» *Ciencia e Ingeniería*, vol. 9, n° 2, p. 2, 2022.
- [4] D. P. y. E. T. Alvaro Aguilar, «Sistema fotovoltaico aislado,» ITSMODUL, México, 2012.
- [5] M. A. P. Buenaño, «Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para el uso en casas flotante en la ciudad de Babahoyo,» UCSG, Guayaquil, 2020.
- [6] E. B. Nájera, «Implementación de sistema fotovoltaico aislado y de respaldo para dispositivos de control de personal,» UNAM, México, 2020.
- [7] J. C. M. Q. y. R. A. C. Sánchez, «Implementación y ejecución de un sistema fotovoltaico aislado residencial, en zona costera de la provincia del Guayas,» UPS, Guayaquil, 2023.
- [8] W. R. C. G. y. R. V. G. Gualoto, «Análisis y evaluación en las instalaciones eléctricas internas de baja tensión y alta tensión de los talleres y laboratorios de la Facultad de Mecánica,» ESPOCH, Riobamba, 2015.
- [9] J. A. L. Baque, «Diseño e implementación de una de poder de corriente continua fija y variable para pruebas en circuitos electrónicos en el laboratorio de robótica de la carrera de ingeniería en computación y redes,» UNESUM, Manabí, 2021.
- [10] J. A. B. R. y. B. O. R. Caguana, «Propuesta de implementación del software ni-multisim para mejorar el proceso de aprendizaje de los circuitos eléctricos en la asignatura de física,» UC, Cuenca, 2016.
- [11] M. A. A. Y. y. E. R. M. Quiroz, «Análisis de la intensidad y sendero energéticos del Ecuador del periodo 2000-2008 y proyección al 2020,» UPS, Quito, 2011.
- [12] G. V. y. E. Cabrera, «Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación para la provincia de Imbabura,» ESPE, Quito, 2009.

- [13] L. G. C. Torres, «Análisis de instalaciones fotovoltaicas para suplir la demanda energética de la industria y reducir su huella de carbono,» EPN, Quito, 2024.
- [14] N. D. A. Claderón, «Diseño de una micro red de distribución de energía eléctrica con generación hídrica fotovoltaica térmica para atender a la comunidad aislada Zancudococha,» EPN, Quito, 2021.
- [15] A. J. S. Poma, «Ubicación óptima georreferenciada de centrales de generación fotovoltaica considerando restricciones de radiación solar y temperatura,» UPS, Quito, 2022.
- [16] L. A. A. M. y. M. S. C. Panata, «Implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos con capacidad 20 kW/mes para ser utilizados en instalaciones industriales,» UPS, Quito, 2017.
- [17] R. G. Cordero, «Sunfields Solar,» 28 6 2023. [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/inclinacion-orientacion/>. [Último acceso: 22 10 2024].
- [18] K. A. T. C. y. K. R. P. Iñiguez, «Generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico off grid en la zona rural de Guayaquil,» UPS, Guayaquil, 2023.
- [19] P. M. A. y. A. V. Gubler, «Proyecto EnDev/GIZ,» 18 3 2013. [En línea]. Available: https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf. [Último acceso: 20 10 2024].
- [20] V. C. W. Javier, «Estudio para el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico para el mercado San Roque,» EPN, Quito, 2021.
- [21] J. X. I. Quishpe, «Diseño de una central fotovoltaica para abastecimiento de energía eléctrica del campus de la escuela Politécnica Nacional,» EPN, Quito, 2020.
- [22] N. B. M. P. C. I. R. D. y. D. R. Christian Navntoft, «Manual de generación distribuida solar fotovoltaica,» Secretaria de energía, Argentina, 2019.
- [23] A. C. E. Andrés, «Evaluación técnica de los sistemas eléctricos y propuesta de correctivos para la empresa Sigmaplast,» UPS, Quito, 2020.
- [24] P. S. G. Córdova, «Análisis de normativa de puesta a tierra para sistemas fotovoltaicos,» UPS, Cuenca, 2023.