



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

PROYECTO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA
EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA
COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI
PROVINCIA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Propuesta Tecnológica presentado previo obtención del Título
de Ingeniero Eléctrico

AUTORES:

Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio
Toapanta Rodríguez Jonathan Israel

TUTOR:

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc.

LATACUNGA-ECUADOR
OCTUBRE 2025- MARZO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio** con cédula de ciudadanía No. **0503988982** y **Toapanta Rodríguez Jonathan Israel**, con cédula de ciudadanía No. **1850759356**, declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc, Tutor del presente trabajo; y, eximimos 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 nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 12 marzo del 2026



Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio

C.C: 0503988982



Toapanta Rodríguez Jonathan Israel

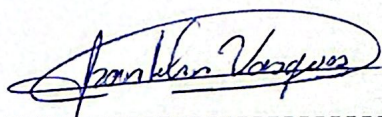
C.C: 1850759356

AVAL DEL TUTOR DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de Propuesta Tecnológica sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI PROVINCIA DE COTOPAXI”, propuesto por los estudiantes **Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio** y **Toapanta Rodríguez Jonathan Israel**, 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, 12 de marzo de 2026



Ing. Franklin Hernán Vázquez Teneda.MSc.

C.C.: 1710434497

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad del 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: **Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio** y **Toapanta Rodríguez Jonathan Israel**, con el título del Proyecto Tecnológico: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI PROVINCIA DE COTOPAXI”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 12 de marzo de 2026

Para constancia firman:

Ing. Jiménez Jiménez Diego Leonardo MSc.

CC: 0503493702

LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Salazar Achig Edgar Roberto MSc.

CC: 0502847619

LECTOR 2 (MIEMBRO)

MBA. Estupiñán Tello Diego Enrique

CC:0501656508

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AVAL DE CUMPLIMIENTO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Sr. Marco Cajamarca Flores

Presidente de la comunidad San José de Alpamalag

Presente.-

De mi consideración

Yo, **Marco Cajamarca Flores**, con cédula de ciudadanía **050217191-1**, en calidad de presidente de la comunidad San José de Alpamalag, certifico mediante la presente que los estudiantes **Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio** y **Toapanta Rodríguez Jonathan Israel**, de la carrera de **Ingeniería en Electricidad** de la **Universidad Técnica de Cotopaxi**, han desarrollado y concluido satisfactoriamente el proyecto tecnológico titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI PROVINCIA DE COTOPAXI”**

El proyecto fue ejecutado en la iglesia de la comunidad San José de Alpamalag, cumpliendo a cabalidad con los objetivos establecidos. Los autores demostraron responsabilidad, *compromiso y competencia técnica a lo largo del proceso.*

Por tanto, se extiende la presente como constancia de la culminación del proyecto tecnológico, así como del valioso aporte técnico-académico e institucional que este presenta.

Latacunga, marzo de 2026

Atentamente.



Marco Cajamarca Flores
Tlf. 0998120018
CI. 050217191-1

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero dar mis más gratos agradecimientos a Dios por haberme guiado, en cada momento de mi vida, su sabiduría su cariño y bondad, me ha permitido no darme por vencido, y poder lograr alcanzar esta meta tan deseada.

Quiero agradecer además a mis padres Margarita Lagla y Olmedo Chuquitarco quienes fueron mi motivación día tras día para convertirme en un buen profesional. Gracias por inculcarme principios y valores, por su paciencia y cariño en momentos difíciles, sin su apoyo constante nada de esto sería posible.

A mis hermanos Fernando, Diego y Norma quienes me han enseñado que, con esfuerzo, trabajo y disciplina, se pueden lograr grandes cosas, gracias por ser parte de este proceso. A mis sobrinos Lesly, Santiago y Haron gracias por permitirme, ser un ejemplo de superación, y motivación para ustedes.

Especialmente agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, docentes y autoridades de la Facultad de CIYA, por darme la oportunidad de formarme, como Ingeniero Eléctrico.

A mi tutor Ing. Franklin Vásquez, gracias por los consejos y el acompañamiento constante, en el transcurso del desarrollo, del presente trabajo de titulación.

Oscar Chuquitarco

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento y cariño a mis padres Margarita Lagla y Olmedo Chuquitarco, por el apoyo incondicional que me han brindado. Gracias por el sacrificio inquebrantable, que me brindan cada día, por los consejos llenos de sabiduría y amor. Gracias por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado, de la humildad y sencillez, que debe tener una persona.

A Lisbeth Chanaluisa por ser el motivo el cual sigo adelante a pesar de las derrotas, gracias por ser mi compañera, mi amiga, mi sentido de vida. Tu apoyo y tus palabras fueron la luz que me sostuvo, en los momentos difíciles, enseñándome a no rendirme y a seguir luchando por mis sueños y por los sueños que compartimos.

A mis hermanos y sobrinos, gracias por ser parte importante de este proceso para alcanzar el éxito profesional. Su compañía sincera, las palabras de aliento, fueron el motor que encaminó este logro alcanzado.

A mi abuelito Ángel Chuquitarco, quien, aunque ya no está con nosotros, vive en su amor, sus consejos y los recuerdos compartidos, su ejemplo, fue mi mayor motivación para superarme. Esta meta cumplida es para ti como un homenaje eterno, a tu memoria.

Oscar Chuquitarco

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo reconocimiento a Dios por darme la fortaleza, el conocimiento y la perseverancia necesarias para finalizar esta etapa académica tan significativa en mi vida.

A mis padres, Miguel Toapanta y María Rodríguez, por su apoyo constante, su dedicación inquebrantable y por ser mi mayor fuente de motivación. Agradezco cada sacrificio que han hecho, su confianza en mí y por transmitirme valores como la responsabilidad, la honestidad y la dedicación, que han sido esenciales en mi desarrollo personal y profesional.

A mis profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica, quienes compartieron su experiencia y conocimientos técnicos, contribuyendo de manera fundamental a mi progreso académico. Su orientación y exigencia han reforzado mis habilidades en el análisis, diseño y evaluación de sistemas eléctricos.

A mi director de tesis Franklin Vásquez, por su asesoría, paciencia y guía técnica durante el proceso de realización de este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de distintas maneras, ofrecieron su apoyo moral y académico para que este proyecto se llevara a cabo con éxito.

DEDICATORIA

A mis padres, Miguel Toapanta y María Rodríguez, quienes han sido la base esencial en cada etapa de mi vida y el motor que impulsó este logro académico.

A ustedes les debo mucho más que este título de Ingeniero Eléctrico; les agradezco por los valores que me sostienen, la disciplina que me formó y la perseverancia que me permitió superar cada desafío. Gracias por su esfuerzo constante, por los sacrificios silenciosos y por creer en mí incluso cuando el camino parecía incierto. Su ejemplo de trabajo honesto y compromiso inquebrantable ha sido mi mayor referencia para enfrentar cada reto con responsabilidad y determinación.

Este logro no es solo mío, es el resultado de años de apoyo incondicional, de palabras de ánimo en los momentos difíciles y de confianza total en mis capacidades. Ustedes me enseñaron que el conocimiento es una herramienta para servir y que la excelencia se construye con constancia y humildad.

Con profundo amor y agradecimiento, les dedico esta tesis como símbolo de todo lo que hemos logrado juntos. Que este título sea también suyo, porque sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

Jonathan Toapanta

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI PROVINCIA DE COTOPAXI”

Autores:

Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio
Toapanta Rodríguez Jonathan Israel

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica tiene como objetivo principal la implementación de un sistema fotovoltaico Off Grid para abastecer parcialmente la iglesia evangélica “Aliento de Vida” en la comunidad San José de Alpamalag ubicado en el cantón Pujilí provincia de Cotopaxi. Esta iniciativa surge de la necesidad de contar con un sistema de respaldo para el abastecimiento de energía eléctrica, que servirá de forma complementaria con el sistema de red eléctrica convencional su finalidad es asegurar la continuidad del suministro eléctrico ante posibles interrupciones de servicio público, frenando la afectación de las actividades religiosas y sociales desarrolladas en la iglesia. El proyecto parte del diagnóstico de la instalación eléctrica que posee la iglesia y el estudio de la demanda de su potencial energético con el que se abastece dicho lugar, además previo al diseño técnico del sistema se evalúa las condiciones ambientales como la radiación solar, la temperatura, así como la hora solar pico que cuenta la zona donde se lleva a cabo el proyecto.

El estudio describe el diseño técnico y dimensionamiento del sistema fotovoltaico Off Grid, así como la determinación de los elementos fotovoltaicos y sus características técnicas detalladas, para una demanda energética diaria de 3,5 kV que será cubierta mediante la instalación de dos paneles solares de 610 watts y un banco de almacenamiento comprendido de 2 baterías 12V 200 Ah además, en el presente estudio se llevó a cabo las simulaciones mediante el uso de programas como DIALux y PVsyst, como base para garantizar la viabilidad técnica y energética del proyecto guiada por la estrategia metodológica y con el cumplimiento de la normativa NEC-11 Capítulo 14.

Palabras Clave: sistema off grid, respaldo, almacenamiento, diseño técnico, hora solar pico, dimensionamiento.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: “IMPLEMENTATION OF AN OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR THE PARTIAL POWER SUPPLY OF THE EVANGELICAL CHURCH IN THE COMMUNITY OF SAN JOSÉ DE ALPAMALAG IN THE CANTON OF PUJILI, PROVINCE OF COTOPAXI.”

Authors:

Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio
Toapanta Rodríguez Jonathan Israel

ABSTRACT

The main objective of this technological proposal is to implement an off-grid photovoltaic system to partially supply the “Aliento de Vida” evangelical church in the San José de Alpamalag community located in the Pujilí canton of the Cotopaxi province. This initiative arises from the need for a backup system for the supply of electrical energy, which will serve as a complement to the conventional electrical grid system. Its purpose is to ensure the continuity of the electrical supply in the event of possible interruptions in public service, thereby limiting the impact on religious and social activities carried out in the church. The project is based on an assessment of the church's electrical installation and a study of the energy demand of the facility. Prior to the technical design of the system, environmental conditions such as solar radiation, temperature, and peak solar hours in the area where the project is being carried out are evaluated.

The study describes the technical design and sizing of the off-grid photovoltaic system, as well as the determination of the photovoltaic elements and their detailed technical characteristics, for a daily energy demand of 3.5 kW, which will be covered by the installation of two 610-watt solar panels and a storage bank consisting of two 12V 200 Ah batteries. In this study, simulations were carried out using programs such as DIALux and PVsyst, as a basis for ensuring the technical and energy viability of the project, guided by the methodological strategy and in compliance with NEC-11 Chapter 14 regulations.

Keywords: off-grid system, backup, storage, technical design, peak solar hours, sizing.

AVAL DE TRADUCCIÓN

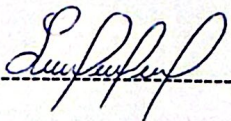
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA EL ABASTECIMIENTO PARCIAL DE LA IGLESIA EVANGÉLICA EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG DEL CANTÓN PUJILI PROVINCIA DE COTOPAXI”**, presentado por: **Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio y Toapanta Rodríguez Jonathan Israel**, egresados de la Carrera de: **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, 12 de marzo de 2026

Atentamente,



Mg. Patricia Marcela Chacón Porras
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
C.C: 0502211196

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	4
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.3.1 Objeto de investigación	5
2.3.2 Campo de Acción	5
2.4 BENEFICIARIOS	5
2.4.1 Directos.....	5
2.4.2 Indirectos	5
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	5
2.6 OBJETIVOS.....	6
2.6.1 General.....	6
2.6.2 Específicos.....	6
2.7 SISTEMA DE TAREAS.....	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
3.1 Antecedentes.....	9
3.2 Energías renovables	14
3.3 Electricidad.....	14
3.4 Tipos de corrientes eléctricas.....	15
3.4.1 Corriente Continua	15
3.4.2 Corriente Alterna	16
3.5 Ley de OHM.....	16
3.6 Energía solar fotovoltaica.....	18
3.7 Radiación solar	19
3.7.1 Radiación directa	19

3.7.2 Radiación difusa	20
3.7.3 Radiación reflejada	20
3.8 Hora solar pico	20
3.8.1 Hora solar pico a una inclinación	21
3.9 Irradiancia e Irradiación.....	22
3.9.1 Irradiancia.....	22
3.9.2 Irradiación.....	22
3.10 Coordenadas geográficas	22
3.10.1 Latitud.....	24
3.10.2 Longitud	24
3.11 Geometría solar.....	25
3.12 Coordenadas polares del sol	26
3.13 Sistemas solares fotovoltaico.....	27
3.13.1 Clasificación de sistemas fotovoltaicos.....	28
3.14 Componentes de un sistema fotovoltaico	30
3.14.1 Panel solar fotovoltaico	30
3.14.2 Estructura solar fotovoltaica.....	32
3.14.3 Inclinación de paneles solares	33
3.14.4 Conexión de módulos solares	34
3.15 Regulador de carga	35
3.15.1 Regulador (PWM)	36
3.15.2 Regulador (MPPT)	36
3.16 Baterías fotovoltaicas	36
3.16.1 Batería de plomo acido abierto.....	36
3.16.2 Batería AGM	37
3.16.3 Batería de gel.....	37
3.16.4 Batería recargable	38

3.16.5 Bateria de litio	38
3.17 Inversor fotovoltaico.....	39
3.17.1 Inversor de onda cuadrada	39
3.17.2 Inversor de onda modificada	40
3.17.3 Inversor de onda sinusoidal pura	40
3.18 Sistema de puesta a tierra	41
3.19 Norma NEC-11	41
3.20 Software PVsyst	42
3.21 Valor actual neto (VAN)	42
3.22 Tasa interna de rentabilidad (TIR).....	43
3.23 Relación beneficio inversión	43
3.24 FORMULAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS	44
3.24.1 Cálculo del consumo eléctrico.....	44
3.24.2 Cálculo de las baterías del sistema fotovoltaico.....	44
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	47
4.1 Nivel de investigación del proyecto fotovoltaico	47
4.2 Tipos de investigación aplicadas al proyecto fotovoltaico	47
4.3 Aplicación de la normativa NEC (Capítulo 14) para el sistema fotovoltaico	48
4.4 Sistema de posicionamiento global (Google Earth)	49
4.5 Irradiancia diaria solar promedio.....	51
4.5.1 Parámetros ambientales de la zona de estudio.....	51
4.5.2 Hora solar pico en Alpamalag	55
4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	57
4.7 Cálculo de la demanda eléctrica requerida	57
4.7.1 Demanda total de la iglesia evangélica (consumo considerado en Wh/día).....	57
4.7.2 Voltajes de operación.....	58

4.7.3 Cálculo de las baterías	58
4.7.4 Cálculo de los módulos fotovoltaicos.....	59
4.7.5 Cálculo de la cantidad de paneles solares.....	59
4.7.6 Selección del controlador de carga	61
4.7.7 Selección del inversor.....	62
4.7.8 Cálculo del calibre de conductor	62
4.7.9 Cálculo de las protecciones	66
4.7.10 Cálculo de la eficiencia de la instalación.....	70
4.8 Diagrama de flujos del sistema fotovoltaico	70
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES	72
5.1 Paneles solares monocristalinos	73
5.2 Sistema de almacenamiento de energía	74
5.3 Regulador de carga	75
5.4 Inversor.....	77
5.5 Temporizador digital.....	78
5.5.1 Especificaciones para el diseño del gabinete de transferencia	79
5.5.2 Especificaciones del diseño de la estructura para los módulos FV	81
6. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO	82
6.1 Condiciones energéticas previas.....	82
6.1.1 Diseño para implementación de la iluminación externa en DIALux	84
6.2 HERRAMIENTAS Y MATERIALES.....	90
6.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	95
6.3.1 Verificación y mejoramiento de las instalaciones eléctricas de la iglesia	96
6.3.2 Colocación de estructura con los paneles fotovoltaicos	97
6.3.3 Instalación del tablero de transferencia	99
6.3.4 Instalación de las luminarias externas	101
6.3.5 Colocación del tablero de distribución de cargas	104

6.3.6 Colocación del dispositivo de encendido y apagado automático.	105
6.3.7 Colocación de la puesta a tierra al tablero de transferencia.	105
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	107
7.1 Rediseño de la instalación eléctrica de la iglesia.....	107
7.2 Diagrama Unifilar.....	108
7.3 ESTUDIO EN PVSYST SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA FOTVOLTAICO PRIMER CASO: “PR” BAJO DEL 44,17%.....	109
7.3.1 Configuración y orientación de los módulos FV.....	109
7.3.2 Evaluación del rendimiento energético anual del sistema FV.....	110
7.3.3 Características de los módulos FV	111
7.3.4 Detalles del almacenamiento de la batería	111
7.3.5 Pérdidas eléctricas en la operativas del sistema	112
7.3.6 Detalles de la demanda de energía	112
7.3.7 Resultados del dimensionamiento del sistema FV en PVsyst.....	113
7.3.8 Producción de energía por cada por cada kWp instalado.....	114
7.3.9 Evolución mensual de la proporción del rendimiento	115
7.3.10 Balance y resultados principales	115
7.3.11 Pérdidas energéticas del sistema FV.....	116
7.4 SEGUNDO CASO: “PR” ALTO DEL 80,81%.....	117
7.4.1 Análisis del PR de acuerdo con el arreglo del sistema FV	118
7.4.2 Diagrama de perdidas con PR corregido	120
8. ESTUDIO A FUTURO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ALUMBRADO ORNAMENTAL EN EL PATIO DE LA IGLESIA EVANGÉLICA.....	121
8.1 Marco normativo	121
8.2 Descripción del área de estudio	122
8.3 Diseño par el alumbrado ornamental.....	122
8.3.1 Plano arquitectónico	122

8.3.2 Cálculo de la cantidad de luminarias y tipo de montaje.....	123
8.3.3 Simulación del sistema de iluminación ornamental	125
9. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR Y SUGERENCIA PARA AUMENTAR EL NÚMERO DE BATERÍAS CON EL FIN DE OPTIMIZAR LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA.....	127
10. PRUEBAS DEL VOLTAJE AC DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	128
10.1.1 Pruebas de tensión de los dispositivos fotovoltaicos.....	128
10.1.2 Voltaje AC de la red eléctrica Elepco S.A	128
10.1.3 Voltaje del sistema FV en AC	129
11. PRUEBAS DEL VOLTAJE DC DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	129
11.1.1 Voltaje DC de baterías hacia el controlador MPPT	129
11.1.2 Voltaje DC de baterías hacia el inversor	130
11.1.3 Voltaje DC de los paneles FV hacia el controlador MPPT.....	130
11.1.4 Estado operativo del controlador MPPT.....	131
12. CARGA Y DESCARGA DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	131
CASO 1: Iluminación interna + iluminación externa +Toma.....	131
12.1.2 CASO 2: Iluminación interna + iluminación externa.....	136
12.1.3 CASO 3: Iluminación externa	140
12.1.4 CASO 4: Iluminación interna	145
12.1.5 CASO 5: Sistema de Fuerza (Toma corriente)	150
12.2 Análisis económico del proyecto fotovoltaico Off Grid.....	155
12.2.1 Presupuesto del sistema fotovoltaico.....	155
12.2.2 Consumo eléctrico promedio anual de la iglesia evangélica	156
12.2.3 Costo de operación y mantenimiento anual.....	157
12.2.4 Ahorro bruto anual.....	157
12.2.5 Flujo neto anual	158
12.2.6 Flujo acumulado	158

12.2.7 Cálculo del Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	159
12.3 Análisis de resultados de la entrevista del sistema fotovoltaico	161
12.3.1 Análisis cuantitativo de las preguntas uno, seis y siete	164
13. CONCLUSIONES.....	166
14. RECOMENDACIONES	169
15. BIBLIOGRAFIA	171
16. ANEXOS	176
16.1 ANEXO A.....	176
16.2 ANEXO B.....	176
16.3 ANEXO C.....	177
16.4 ANEXO D	177
16.5 ANEXO E.....	178
16.6 ANEXO F	178
16.7 ANEXO G	179
16.8 ANEXO H	181

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corriente continua CC-DC [13].	15
Figura 2. Corriente alterna CA-AC [13].	16
Figura 3. Ley de OHM [14].	17
Figura 4. Energía solar fotovoltaica [17].	18
Figura 5. Radiación solar [19].	19
Figura 6. Tipos de radiación solar [19].	20
Figura 7. Hora solar pico [18].	21
Figura 8. Coordenadas geográficas [21].	23
Figura 9. Coordenadas geográficas latitud de un punto P [21].	24
Figura 10. Coordenadas geográficas latitud de un punto P [21].	25
Figura 11. Órbita elíptica de la tierra alrededor del sol [22].	26
Figura 12. Coordenadas polares del sol [22].	27
Figura 13. Sistema fotovoltaico de tipo Off Grid [24].	28
Figura 14. Sistema fotovoltaico de tipo On Grid [24].	29
Figura 15. Sistema fotovoltaico de autoconsumo [24].	30
Figura 16. Representación de un panel solar fotovoltaico [25].	30
Figura 17. Panel solar tipo silicio monocristalino [26].	31
Figura 18. Panel solar tipo silicio policristalino [26].	32
Figura 19. Panel solar de tipo silicio amorfo [26].	32
Figura 20. Estructura de paneles solares fotovoltaicos [27].	33
Figura 21. Inclinación de paneles solares fotovoltaicos [28].	33
Figura 22. Conexión en serie de paneles solares [29].	34
Figura 23. Conexión en paralelo de paneles solares [29].	35
Figura 24. Conexión de un regulador de carga solar [30].	35
Figura 25. Batería de plomo ácido abierto [31].	37
Figura 26. Batería malla de vidrio absorbente [31].	37

Figura 27. Batería de gel [31].	38
Figura 28. Batería estacionaria [31].	38
Figura 29. Batería de litio [31].	39
Figura 30. Representación gráfica de un inversor de onda cuadrada [32].	39
Figura 31. Representación gráfica de un inversor de onda modificada [32].	40
Figura 32. Representación gráfica de un inversor de onda sinusoidal pura [32].	40
Figura 33. Software de diseño y simulación PVsyst [34].	42
Figura 34. Ubicación del lugar para la implementación del sistema Off Grid.	50
Figura 35. Irradiación solar promedio por hora 2024.	52
Figura 36. Irradiación global en superficie horizontal.	52
Figura 37. Hosa solar pico periodo 2020-2025.	53
Figura 38. Irradiación solar Directa, Difusa y Global.	53
Figura 39. Histograma de radiación solar Directa, Difusa y Global.	54
Figura 40. Niveles de temperatura en grados C° 2024.	54
Figura 41. Histograma de variación de niveles de temperatura.	55
Figura 42. Valor de HSP obtenido mediante el software NASA POWER/DAV.	55
Figura 43. Inclinación de los módulos fotovoltaicos.	61
Figura 44. Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico Off Grid.	71
Figura 45. Panel solar VICTORIA LED 610 W [37].	73
Figura 46. Batería de gel ciclo profundo 12V/200Ah [38].	74
Figura 47. Dimensiones de la batería de almacenamiento.	75
Figura 48. Regulador de carga solar MPPT [39].	76
Figura 49. Inversor de onda pura sinusoidal de 4000 watts [40].	77
Figura 50. Temporizador digital -AHC15A [41].	78
Figura 51. Esquema eléctrico del tablero de transferencia.	79
Figura 52. Colocación de los elementos del gabinete de transferencia.	80
Figura 53. Diseño en 3D del gabinete de transferencia.	80

Figura 54. Diseño de la estructura para el soporte de los módulos FV.....	81
Figura 55. Vista en 3D de la posición de los módulos FV en la estructura.	81
Figura 56. Diseño arquitectónico en AutoCAD de la zona de la iglesia evangélica.	83
Figura 57. Plano eléctrico de la iglesia evangélica.....	84
Figura 58. Plano arquitectónico para la importación a DIALux.	85
Figura 59. Modelo arquitectónico 3D en DIALux.	85
Figura 60. Especificación de las áreas para la iluminación externa en DIALux.....	87
Figura 61. Lampara pendular.....	88
Figura 62. Ubicación de altura del plano útil del trabajo del área de iluminación.....	89
Figura 63. Iluminación del pasillo 1 en DIALux.....	90
Figura 64. Iluminación del pasillo 2 en DIALux.....	90
Figura 65. Rediseño de las instalaciones internas de la iglesia.	96
Figura 66. Colocación de manguera corrugada para la instalación eléctrica.	96
Figura 67. Resultado final del rediseño del sistema de iluminación interna.	97
Figura 68. Instalación de estructura y paneles solares.....	97
Figura 69. Instalación de soportes en la parte superior del techado.	98
Figura 70. Conexión en paralelo de los paneles solares.	98
Figura 71. Construcción del tablero de transferencia para el sistema fotovoltaico.....	99
Figura 72. Ubicación de los soportes para el tablero de control y transferencia.	100
Figura 73. Instalación del tablero de transferencia red/ solar.	101
Figura 74. Instalación de cajetines de paso para luminarias exteriores.....	101
Figura 75. Colocación de manguera corrugada para luminarias externas.	102
Figura 76. Instalación eléctrica de las luminarias externas.	102
Figura 77. Colocación de lámparas colgantes de 9 Watts.	103
Figura 78. Vista panorámica del área de instalación de instalación de luminarias externas ..	103
Figura 79. Empotramiento del tablero de distribución.	104
Figura 80. Tableros de distribución red eléctrica y sistema solar fotovoltaico Off Grif.	104

Figura 81. Instalación de la fotocelda al sistema de iluminación externa.	105
Figura 82. Medición para la colocación de electrodos tipo varilla.....	105
Figura 83. Colocación de las varillas para la prueba de resistividad del suelo.	106
Figura 84. Resistividad del suelo en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.....	106
Figura 85. Instalación de la puesta a tierra al tablero de transferencia Off Grid,.....	107
Figura 86. Rediseño del sistema de iluminación y fuerza de la iglesia.	108
Figura 87. Diagrama Unifilar del sistema fotovoltaico Off Grid.	109
Figura 88. Orientación e inclinación del módulo solar.....	110
Figura 89. Resumen energético.	110
Figura 90. Características de los paneles fotovoltaicos.....	111
Figura 91. Principales detalles del sistema de almacenamiento.....	112
Figura 92. Resumen de pérdidas eléctricas	112
Figura 93. Necesidades detalladas de la iglesia evangélica.....	113
Figura 94. Resultados principales del sistema FV.	113
Figura 95. Producción para cada kWp instalado.	114
Figura 96. Cobertura de la demanda.....	115
Figura 97. Balance energético mensual.	115
Figura 98. Diagrama de pérdidas energéticas.....	116
Figura 99. Características del panel fotovoltaico.	117
Figura 100. Necesidades detalladas de la iglesia evangélica.....	118
Figura 101. Resultado principal según el arreglo del sistema FV.	118
Figura 102. Cobertura de la demanda con PR corregido.....	119
Figura 103. Producción por cada kWp instalado con PR corregido.....	119
Figura 104. Diagrama de pérdidas del sistema FV tipo Sankey.....	120
Figura 105. Delimitación del área para la iluminación ornamental.	122
Figura 106. Luminaria Ledex.	123
Figura 107. Adaptación de lx de acuerdo a la norma americana.	124

Figura 108. Factor de utilización y degradación.	124
Figura 109. Simulación del sistema de iluminación ornamental.	125
Figura 110. Distribución de la iluminación en el patio general.	126
Figura 111. Angulo de inclinación de las luminarias Led.	126
Figura 112. Sumario de resultados del flujo luminoso para el patio general.	126
Figura 113. Nivel de tensión de la red eléctrica.	128
Figura 114. Nivel de tensión del sistema FV en AC.	129
Figura 115. Nivel de voltaje desde la batería hacia el controlador.	129
Figura 116. Nivel de voltaje desde la batería hacia el inversor.	130
Figura 117. Nivel de voltaje desde los paneles hacia el controlador.	130
Figura 118. Visualización de carga y voltaje del banco de baterías.	131
Figura 119. Corriente real de descarga de todo el sistema en operación.	132
Figura 120. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.	134
Figura 121. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.	135
Figura 122. Corriente real de descarga del sistema de iluminación interna y externa.	136
Figura 123. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.	138
Figura 124. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.	140
Figura 125. Instalación del temporizador digital.	140
Figura 126. Corriente real de descarga del sistema de iluminación externa.	141
Figura 127. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.	143
Figura 128. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.	145
Figura 129. Corriente real de descarga del sistema de iluminación interna.	146
Figura 130. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.	148
Figura 131. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.	149
Figura 132. Corriente real de descarga del sistema de fuerza.	150
Figura 133. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.	152
Figura 134. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.	154

Figura 135. Resultados de valoración económica y ambiental del sistema fotovoltaico.	164
Figura 136. Resultados del nivel de impacto del sistema fotovoltaico.	165
Figura 137. Resultados del nivel de satisfacción del sistema fotovoltaico.	165

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modalidad de Titulación.	1
Tabla 2. Área de conocimiento UNESCO.	2
Tabla 3. Sistema de tareas del proyecto.	7
Tabla 4. Análisis global sobre la energía solar fotovoltaica.	9
Tabla 5. Análisis en Sudamérica sobre la energía solar fotovoltaica.	11
Tabla 6. Análisis en Ecuador acerca de la energía solar fotovoltaica.	12
Tabla 7. Caída de tensión máxima permitida.	46
Tabla 8. Uso de la Norma NEC-11 Capitulo 14- Energías renovables desarrollo del proyecto.	48
Tabla 9. Ubicación de la iglesia evangélica Aliento de Vida.	50
Tabla 10. Datos de Irradiancia diaria promedio año 2024.	51
Tabla 11. Datos recopilados de irradiación Global Horizontal ($kWh/m^2 * dia$)	56
Tabla 12. Levantamiento de cargas de la iglesia evangélica.	57
Tabla 13. Características de voltajes que opera el sistema FV.	58
Tabla 14. Equipos para el sistema FV.	72
Tabla 15. Ficha técnica del panel Victoria Led 610 Watts.	73
Tabla 16. Ficha técnica batería de gel victoria Led.	74
Tabla 17. Ficha técnica de controlador MPPT	76
Tabla 18. Placa técnica de inversor de onda sinusoidal pura.	77
Tabla 19. Especificaciones técnicas del temporizador.	78
Tabla 20. Características técnicas del tablero de control y transferencia.	80
Tabla 21. Características de la estructura para los módulos FV.	82
Tabla 22. Configuración de áreas.	86
Tabla 23. Características de la lampara pendular.	87
Tabla 24. Configuración del plano útil del tablero en DIALux.	88
Tabla 25. Herramientas e Instrumentos utilizados para el proyecto fotovoltaico Off Grid.	91

Tabla 26. Materiales utilizados para el proyecto fotovoltaico Off Grid.	92
Tabla 27. Características de la luminaria Ledex.	123
Tabla 28. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	133
Tabla 29. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	135
Tabla 30. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	138
Tabla 31. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	139
Tabla 32. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	142
Tabla 33. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	144
Tabla 34. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	147
Tabla 35. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	149
Tabla 36. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	152
Tabla 37. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	153
Tabla 38. Resumen de resultados del análisis de carga y descarga del banco de baterías.....	154
Tabla 39. Costo total invertido del proyecto solar fotovoltaico.	155
Tabla 40. Costos de mantenimiento anual del sistema Off Grid.	156
Tabla 41. Consumo eléctrico de cada mes de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.....	156
Tabla 42. Resultados del periodo de recuperación de inversión del proyecto.....	160
Tabla 43. Matriz de categorización de la entrevista del sistema fotovoltaico Off Grid.	161

INDICE DE ANEXOS

Figura A. Tablero de transferencia del sistema fotovoltaico Off Grid.....	176
Figura B. Placa de reconocimiento institucional carrera de Ingeniería Eléctrica.....	176
Figura C. Sello de acreditación internacional de la carrera de Ingeniería Eléctrica.....	177
Figura D. Temporizador digital Victoria DHC20A.	177
Figura E. Tablero de distribución del sistema fotovoltaico Off Grid.	178
Figura F. Sistema de iluminación externa de la iglesia en funcionamiento.....	178
Figura G. 1 Formato de encuesta de la implementación del sistema fotovoltaico.....	179
Figura G. 2 Formato de encuesta de la implementación del sistema fotovoltaico.....	180
Figura H. Diseño de iluminación externa de la iglesia en DIALux.	181

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: “Implementación de un sistema fotovoltaico Off-Grid para el abastecimiento parcial de la iglesia evangélica en la comunidad San José de Alpalag del cantón Pujilí provincia de Cotopaxi”.

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. Chuquitarco Lagla Oscar Vinicio

Sr. Toapanta Rodríguez Jonathan Israel

Tutor:

Ing. Vásquez Teneda Franklin Hernán MSc.

Área de Cocimiento:

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

En los últimos años la necesidad de implementar nuevas tecnologías para la generación de energía eléctrica se ha ido incrementando considerablemente a nivel mundial, esto se debe a diferentes factores como el aumento considerable de gases de efecto invernadero, agotamiento de las reservas de petróleo, además del aumento de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial, esto ha llevado a implementar nuevas tecnologías de generación eléctrica sin requerir combustibles fósiles o la red principal para su funcionamiento, por lo cual la energía fotovoltaica se considera como una de las soluciones a los problemas que existen dentro del ámbito de generación energética ya que se considera, eficiente, segura, con costos considerablemente aceptables y lo más importante que cuenta con un nivel de contaminación casi nulo una vez entrada en funcionamiento. Ecuador cuenta con un significativo potencial de radiación solar principalmente en las regiones específicamente el Litoral, e Interandino son las dos regiones donde se produce mayores niveles de radiación solar, sin embargo, para un buen funcionamiento de un sistema fotovoltaico, la mejor opción es la región Interandina (Sierra), pese a los esfuerzos considerables de parte del Gobierno y el ministerio de energía eléctrica no se ha podido aprovechar al máximo este tipo de tecnología, esto se podría deber ah diferentes aspectos como el costo de instalación, falta de equipos y materiales para la puesta en marcha, así también como factores de inversión extranjera que apueste a nuevos proyecto mediante la implementación de la tecnología fotovoltaica.

Es así que el país en estos últimos años se ha encaminado de mejor manera al momento de implementar nuevas tecnologías de generación eléctrica a nivel nacional mediante el aprovechamiento de políticas de diversificación energética, que permitan la generación de energía eléctrica en comunidades, barrios, y edificaciones considerando las demandas de energía específicas, por ende al implementar un sistema fotovoltaico en cualquier lugar sea esta en un barrio, comunidad, entre otras infraestructuras, este tipo de sistema no solo es una tecnología que permite reducir el consumo de energía eléctrica al momento de pagar la planilla de luz, sino que además se está aportando al cuidado del medio ambiente y al desarrollo sostenible, ya que no se requiere de combustibles fósiles mucho menos de líquido vital (agua) para generar energía eléctrica para abastecer una demanda de energía eléctrica requerida. El creciente aumento de la contaminación del medio ambiente a niveles preocupantes a nivel mundial, ah llevo la necesidad de implementar fuentes de energías renovables como es el caso de la energía solar, ya que este tipo de energía renovable destaca por encima de las demás, en el Ecuador la implementación de este tipo de tecnología ah toma fuerza en diferentes lugares de la sierra, costa y oriente, esto ha llevado a la mejora de la calidad de vida, además de un suministro de energía eléctrica estable para cada una de las actividades diarias de comunidades, barrios y demás infraestructuras aledañas.

La presente tesis se centraliza en la implementación de un sistema fotovoltaico en la iglesia evangélica de la comunidad San José, en donde se encuentra ubicada en el cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, la comunidad de Alpamalag como muchas en el Ecuador mantienen algunas dificultades como es mantener un suministro de energía segura, eficiente y de calidad aun valor de consumo de energía eléctrica bajo, es por tal motivo que se trata de encontrar alternativas que ayuden a la abastecimiento de demanda de la iglesia evangélica, San José de Alpamalag figura como un lugar ideal para la implementación de un sistema fotovoltaico ya que dicha tecnología requiere de una radiación constante para su eficiente funcionamiento, la implementación de un sistema fotovoltaico no solo beneficiaría a la comunidad de San José si no que al realizar la implementación del sistema fotovoltaico servirá como un modelo a seguir para posteriores proyectos fotovoltaicos en comunidades cercanas, demostrando de esta forma que la energía solar fotovoltaica es una alternativa segura, versátil y eficiente para cubrir las necesidades energéticas de cualquier sector del país, a través de un análisis técnico, económico, estructural, social y de factibilidad dentro de la zona de estudio, promoviendo de esta forma el uso de energías renovables y el cuidado del medio ambiente.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La iglesia evangélica de la comunidad de San José de Alpamalag, ubicado específicamente en el cantón Pujilí, de la Provincia de Cotopaxi, es un lugar clave de diferentes actividades de índole tanto religioso como social, sin embargo, este lugar enfrenta ciertos desafíos en lo que respecta al suministro de energía eléctrica, una de las principales problemáticas radica en la falta de una red que brinde un suministro de electricidad eficiente, seguro y que alivie las necesidades de la comunidad, para realizar sin ningún problema cualquier tipo de actividad sea esta social o religiosa, además por otro lado la falta de una red eléctrica estable dificultad abastecer de energía eléctrica el sistema de iluminación tanto externa como interna de la iglesia.

Por otro lado, la iglesia evangélica al ser un punto clave que se llevan a cabo diferentes actividades dentro de la comunidad, al disponer de una sola fuente de suministro como es la red eléctrica principal de ELEPCO SA, esto ocasiona costos elevados en la planilla de luz, y cortes de luz imprevistos, llegando a utilizar en tiempos de estiaje o sequías, generadores a combustión por lo cual generan contaminación al medio ambiente y afectando a la salud de los moradores de la comunidad, por lo cual la falta de una alternativa sostenible, limita la eficiencia y calidad del consumo de electricidad representando un gasto a los habitantes de la comunidad de Alpamalag.

A pesar de los problemas existentes que existen dentro de la comunidad, la zona donde se encuentra ubicada la iglesia evangélica cuenta con un elevado potencial de energía solar las cuales favorecen a la generación de electricidad, la falta de apoyo económico y sobre todo la escases de ideas e iniciativas tecnológicas para el aprovechamiento de energías renovables como es la radiación solar, conlleva a la dependencia constante y permanente de una red pública de suministro de energía eléctrica estancando el avance y desarrollo religioso, social y económico de la comunidad de San José de Alpamalag.

Ante esta problemática, la implementación de un sistema fotovoltaico off grid, brota como una solución de índole viable para la comunidad, reducir el pago de consumo energético, y mantener un sistema mucho más confiable asegurando el funcionamiento y eficiencia del suministro eléctrico, permitiendo reducir el uso de red principal, además disminuyendo el costo de la planilla de luz, y mantener una iglesia con servicio eléctrico permanente, y sostenible, contribuyendo sustancialmente el desarrollo sostenible de la comunidad.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma la implementación de un sistema fotovoltaico off grid puede ayudar a mejorar el abastecimiento parcial de la iglesia evangélica en la comunidad San José de Alpamalag, reduciendo los costos de consumo de energía eléctrica y contribuyendo sustancialmente al desarrollo sostenible de 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

Los habitantes de la comunidad San José de Alpamalag del cantón Pujilí, quienes, con la implementación del sistema fotovoltaico, contarán con un suministro de energía eléctrica, seguro, eficiente y ecológico, para realizar cada una de las actividades cotidianas tanto en el aspecto social, religioso y cultural.

2.4.2 Indirectos

Comunidades aleñadas que requieran replicar el proyecto para reducir el costo de consumo de energía eléctrica y el cuidado del medio ambiente, mediante el uso de energía solar, de la misma forma este proyecto sirve como un modelo a seguir, para egresados y profesionales en el área de energías renovables para futuros proyectos de repotenciación.

2.5 JUSTIFICACIÓN

La puesta en marcha de un sistema fotovoltaico en la iglesia evangélica de la comunidad San José de Alpamalag viene siendo una alterna para el cuidado del medio ambiente y ahorro en costos de consumo de energía eléctrica dentro de la comunidad. Esta transición tecnológica fue llevada a cabo por la necesidad de contar con una red estable, segura, eficiente y que aporte a la reducción de la huella de carbono, ya que en los últimos años al depender de una sola red de suministro eléctrico se ha dificultado el desarrollo económico, y social dentro de las actividades

cotidianas de la iglesia evangélica. Con la implementación de un sistema fotovoltaico off grid, en la cual involucra principales elementos como paneles solares, así como una unidad de almacenamiento de energía, cada uno de estos equipos eléctricos permite a la comunidad contar con un sistema eficiente, seguro, y de calidad, para cada una de las actividades cotidianas que se requieren realizar diariamente, además de mantener un grado bajo de contaminación aportando de esta forma al cuidado del medio ambiente.

La autonomía energética extra que ofrecerá el sistema de paneles fotovoltaicos, permitirá a la iglesia operar de manera independiente, incluso en acontecimientos fortuitos, como por ejemplo las sequías, pues ya no dependerá de forma total de la red eléctrica convencional, este aspecto reforzará la resiliencia energética de la iglesia y también de la comunidad en general en futuros desafíos, este proyecto no solo beneficia a la iglesia evangélica de la comunidad de San José de Alpamalag, sino que también se convierte en un modelo de desarrollo energético sostenible y justo para todas y cada una de las comunidades aledañas de Alpamalag.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

- Implementar un sistema fotovoltaico Off Grid en la Iglesia Evangélica de la comunidad San José de Alpamalag, mediante el uso de energía renovable no convencional, para el abastecimiento eléctrico parcial, de las actividades sociales y religiosas de los miembros activos de la iglesia.

2.6.2 Específicos

- Evaluar las necesidades energéticas concernientes al sistema de iluminación y tomas de fuerza de la iglesia evangélica de la comunidad San José de Alpamalag.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico off-grid, para la generación de energía eléctrica, mediante un estudio técnico y económico.
- Implementar el sistema fotovoltaico aislado, en la iglesia evangélica de la comunidad San José de Alpamalag.
- Realizar pruebas de medición y control del sistema de almacenamiento y de los equipos fotovoltaicos, para validar el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 3. Sistema de tareas del proyecto.

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados esperados	Medios e Instrumentos
<p>Evaluar las necesidades energéticas concernientes al sistema de iluminación y tomas de fuerza de la iglesia evangélica de la comunidad San José de Alpamalag.</p>	<p>Realización de un cuadro de cargas del sistema de iluminación y tomas de fuerza para abastecer la demanda requerida.</p> <p>Simulación en Dialux del sistema de iluminación externa e interna de la iglesia.</p>	<p>Cuadro de resultados mediante el estudio preliminar de cargas para la determinación del número de equipos y elementos necesarios.</p> <p>Cantidad de luminarias y tomas necesarias para la parte externa e interna de la iglesia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Software de análisis de datos (Excel). - Laptop - Traslado a las instalaciones de la iglesia evangélica para estipular información correspondiente - Software de diseño de iluminación (DIALux)
<p>Dimensionar el sistema fotovoltaico off-grid, para la generación de energía eléctrica, mediante un estudio técnico y económico.</p>	<p>Simulación del sistema fotovoltaico tipo OFF GRID en el software de simulación PVsyst.</p> <p>Cálculo del número elementos como paneles, inversores, baterías, controladores para el abastecimiento de la demanda requerida.</p>	<p>Datos de validación del sistema fotovoltaico OFF GRID.</p> <p>Número exacto de elementos, dispositivos y materiales eléctricos para el sistema fotovoltaico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Software PVsyst - Software Excel - Laptop - Calculadora científica

<p>Implementar el sistema fotovoltaico aislado, en la iglesia evangélica de la comunidad San José de Alpamalag.</p>	<p>Determinar los parámetros y normativas técnicas para la instalación adecuada de los paneles fotovoltaicos y de demás elementos.</p> <p>Ubicación correspondiente de los paneles, inversor, controlador, baterías en principales puntos estratégicos.</p>	<p>Instalación correcta de cada uno de los elementos del sistema fotovoltaico y del tablero de control.</p> <p>Equipos y elementos bien ubicados en lugares estratégicos para su correcto funcionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 - Normas AENOR - Normas IEC - Equipos de almacenamiento de energía (Batería de Gel) - Inversor - Controlador MPPT - Panel (Victoria) 610 Watts
<p>Realizar pruebas de medición y control de los equipos y dispositivos para validar el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico.</p>	<p>Pruebas de carga y descarga de batería, pruebas de paneles solares, así como toma de medidas de parámetros eléctricos como corriente, tensión, potencia.</p> <p>Revisión del sistema de protección del tablero de distribución y transferencia.</p>	<p>Funcionamiento adecuado de los equipos y dispositivos que conforman el sistema.</p> <p>Sistema de protección seguro y confiable y sin fallas para la adecuada operación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - - Pinza Amperimétrica - Multímetro Digital - Manuales técnicos - Inspección visual y técnica de los equipos y dispositivos - Multímetro

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes

La implementación de nuevas tecnologías energéticas como la fotovoltaica en sectores rurales en los últimos años no han sido explotadas de mejor manera, esto debió a la falta de apoyo económico o la escasez de ideas tecnológicas que abran paso al desarrollo energético de la población que vive con la necesidad de una red estable, segura y eficiente para realizar cotidianamente sus actividades. El sol como fuente generación de energía limpia ha llevado al punto en que el ser humano en los últimos años aprovechado al máximo este tipo de fuente energética, esto gracias a la implementación de un sistema que permita la generación de electricidad en lugares aislados, dichos sistemas también son conocidos como sistemas OFF GRID.

Tabla 4. Análisis global sobre la energía solar fotovoltaica.

Ref	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
[1]	El liderazgo de China en energía solar fotovoltaica y su impacto en el comercio internacional de paneles solares	Universidad de Guadalajara	Este segmento expone el impacto en el mercado internacional de energía solar fotovoltaica siendo china una de los países a nivel mundial en producción de módulos fotovoltaicos y líder en la generación de electricidad. Dicho esto, este artículo describe la evolución de China en los avances tecnológicos de generación de energía solar fotovoltaica, en la cual se realizó una revisión de índole cualitativo tomando como referencia las estadísticas de generación eléctrica de tipo solar, así como las estadísticas de comercial internacional de módulos fotovoltaicos esto con la finalidad de determinar el liderazgo en el ámbito de energías renovables del país asiático, los resultados que se muestran en este artículo hacen mención en que China gracias a sus políticas comerciales así como sus políticas públicas han dado resultado en que el país se consolide y lidere a nivel mundial el sector energético mediante el uso de energías renovables no convencionales [1].

[2]	Perspectivas de la energía solar fotovoltaica en la edificación	Escuela Técnica superior de Ingenieros de minas y energía	Se enfoca principalmente en el estudio de la perspectiva a plazo futuro del uso de la energía solar fotovoltaica, enfocándose principalmente en el país de España, el cual se realiza un análisis exhaustivo del uso de sistemas fotovoltaicos, así como la evaluación de la industria solar fotovoltaica en España, con lo cual se determinará en qué situación de desarrollo se encuentra a nivel mundial., de la misma forma esta investigación se detalla además la evolución del mercado fotovoltaica a nivel mundial, siendo esto uno de los parámetros fundamentales para el análisis de las perspectivas de futuro de energía fotovoltaica en dicho país Europeo [2]. Además, en la presente investigación se realiza un análisis de la tecnología fotovoltaica aplicada en el país, así como también para determinar una perspectiva probable de futuro de energía solar fotovoltaica se consideró un estudio del coste de tecnología fotovoltaica que tiene España en la cuales engloba la instalación y generación de energía eléctrica mediante energía renovable no convencional, por otro lado la investigación hace referencia al estudio del marco regulatorio que cuenta el viejo continente, así como también el almacenamiento de energía eléctrica mediante banco de baterías, en el cual se describe su tipo de tecnológica, su mercado a nivel de Europa, de todos estos indicios mencionados anteriormente permite determinar de forma correcta la perspectiva del mercado fotovoltaico mundial así como del contiene Europeo para luego enfocarse en el país de España [2].
[3]	Diseño de instalación fotovoltaica de vivienda unifamiliar para autoconsumo conectada a la red en Yuncos	Universidad Politécnica de Madrid	La investigación se centraliza en el diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica de 5 kW, mediante la implementación de equipos solares como, módulos fotovoltaicos los cuales serán instalados en la parte superior de la vivienda unifamiliar, además se menciona en la investigación que el sistema será auto consumida, y que además para las respectivas instalaciones correspondientes se considera la normativa vigente en territorio español misma que se establece para instalaciones fotovoltaicas de hasta 10 kW sean estas de tipo Off Grid (almacenamiento de energía mediante baterías) u On Grid (conectados a la red) , por otro lado para diseñar la instalación del sistema fotovoltaico se consideraron algunos criterios fundamentales como el dimensionamiento de los paneles, inversor, controlador, así como la potencia nominal que sea menor a 10 kW,

además se menciona que dicho proyecto se aplica módulos fotovoltaicos con tecnología de silicio monocristalino de una potencia de 345 Wp, por otro lado el inversor utilizado es de 5 kW que cuenta con dos seguidores PPM respectivamente, los módulos fotovoltaicos que se aplicaran en el proyecto estarán situados en dirección al sur y estarán ubicadas de forma simétrica en la cubierta de la vivienda Unifamiliar y su ángulo de inclinación será de 20% con la finalidad que los módulos eviten cualquier tipo de sombra y puedan captar la mayor cantidad energía solar producida por los paneles fotovoltaicos [3].

Tabla 5. Análisis en Sudamérica sobre la energía solar fotovoltaica.

Ref	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
[4]	Análisis técnico socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia	Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías – ECBTI	Dicha investigación se refiere a la evaluación socio-económica para la instalación de 206 sistemas solares fotovoltaico, en la cual es una opción muy viable para la comunidad de Casanare ya que se encuentran en una localidad alejada de la red principal de suministro eléctrico siendo los más beneficiados en este proyecto tan importante , además en dicha investigación se detalla la realización de una simulación de la operación del SFV para que el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se encuentre adecuado para posteriormente su aplicación, además se aplicó la metodología descriptiva el cual permite determinar las características del lugar, los equipos que serán utilizados como paneles, inversor, controlador y demás elementos fotovoltaicos, así también como el registro fotográfico, finalmente los resultados obtenidos muestran una gran incidencia y aprobación en el aspecto económica, social y ambiental dando un paso importante para otras áreas del sector rural a nivel nacional[4].
[5]	Implementación y ejecución de un sistema de energía alternativa (fotovoltaica) para incrementar la calidad de vida de sus moradores en la	Universidad Nacional Abierta y a Distancia	Se enfoca principalmente en la problemática del tiempo reducido de prestación de servicio eléctrico, además de que los habitantes de la comunidad de palmeras cuentan con pocos recursos económicos para el desarrollo de obras de generación eléctrica mediante la implementación de recursos renovables [5]. En base a los problemas que azota a la comunidad de palmeras se propone desarrollar un proyecto de energía de tipo alternativa mediante el uso de energía solar esto con la finalidad principal de aliviar las necesidades energéticas que requiere la comunidad, para la

comunidad de palmeras		realización del proyecto se estipulo la radiación solar existente en la zona de estudio mediante datos obtenidos de la NASA, se llevó a cabo además el dimensionamiento correspondiente de los principales elementos y dispositivos necesarios para el sistema OFF GRID y pruebas necesarias para el correcto funcionamiento del sistema y analizar los efectos en el ámbito social, y tecnológico [5] .
-----------------------	--	--

[6]	Diseño de sistema fotovoltaico Off Grid, Red Secundaria y conexiones domiciliarias para el suministro eléctrico al caserío Tallapampa, distrito salas, provincia Lambayeque”	Universidad Señor de Sipán	La investigación se centraliza en diseñar un sistema fotovoltaico aislado para mitigar los problemas energéticos tales como la falta de energía eléctrica convencional, y la necesidad de contar una red estable de suministro eléctrico para el desarrollo de actividades cotidianas dentro de la zona rural del caserío Tallapampa distrito salas [6] . Por lo cual para la implementación del sistema fotovoltaico OFF GRID se consideraron factores relevantes tales como metodologías de investigación científica, así como aplicaciones técnicas y análisis de resultados esto para el desarrollo adecuado del proyecto, por otro lado, para el estudio de cargas se implementó la inspección de campo y obtención de información de los pobladores [6]. Para la obtención de la demanda y disponibilidad de energía eléctrica se aplicaron cálculos matemáticos, así como también el uso de software avanzado para la obtención de irradiación solar en la zona de estudio, el sistema fotovoltaico como tal del proyecto debe abastecer una demanda eléctrica de 127,94 kWh/día [6].
-----	--	----------------------------	--

Tabla 6. Análisis en Ecuador acerca de la energía solar fotovoltaica.

Ref	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
[7]	Análisis técnico-económico para la generación de energía solar fotovoltaica en el ecuador y su conexión a la red pública, basada en el artículo 63 de la	Universidad de Cuenca	Se refiere principalmente a un análisis de índole técnico y económico para la generación solar fotovoltaica en el país en base al artículo 63. Dicho documento menciona que los sistemas fotovoltaicos a más de ser implementados para sistemas Off Grid en zonas rurales del país, también se puede generar energía eléctrica por medio de paneles solares en corriente continua los cuales además se aplica un inversor para transformarlos en corriente alterna a media tensión, para posteriormente introducir a la red principal de servicio eléctrico, además en el presente documento especifica la situación energética que tiene Ecuador y el mundo mediante el uso de energía renovable no convencional

regulación	N°	<p>desde el año 2013, además por otro lado se detalla adecuadamente los principales requerimientos así como las regulaciones emitidas por CONELEC para la conexión a la red mediante el uso generación de sistemas fotovoltaicos, por otro lado el presente documento realiza un análisis de factibilidad de proyectos fotovoltaicos en cuales considera dos regiones una con alto recurso energético y la otra con bajo recurso energía dentro del territorio Ecuatoriano [7].</p>	
CONELEC-004/11			
[8]	<p>Implementación de un sistema solar fotovoltaico OFF GRID en el contexto domiciliario</p>	<p>Universidad Técnica de Cotopaxi</p>	<p>Se aborda la necesidad de contar con una fuente de energía, que sea eficiente, segura y principalmente confiable, para suministrar parcialmente electricidad a una vivienda en el sector rural, que se encuentra localizado en la parroquia Aláquez del cantón Latacunga. Dicho esto, el proyecto presenta una solución ecología y eficiente para el abastecimiento de energía eléctrica mediante la implementación de un sistema fotovoltaico aislado de la red, además de esta forma permitiendo reducir los costos de planilla de luz y disminuyendo considerablemente el uso de la red principal. De la misma forma se dimensiona el calibre de conductor para las conexiones tanto internas como externas de la vivienda. Los resultados de energía útil del sol y energía solar disponible fueron de 365, 90 kWh/año y 484, 91 kWh/año, es decir la producción especificada de energía 915 kWh/kWp/año arrojando resultados adecuados para un sistema OFF GRID dentro de la ubicación del proyecto de investigación, es así que el sistema fotovoltaico aislado cuenta con un valor proporción de rendimiento de 60, 64%, para el análisis de la factibilidad tanto técnica como económica se utiliza el software PVsyst [8].</p>
[9]	<p>Implementación de un sistema fotovoltaico off grid para abastecer de energía eléctrica a una vivienda, ubicada en un sector rural del cantón Isidro Ayora en la provincia del Guayas</p>	<p>Universidad Politécnica Salesiana</p>	<p>Su principal dilema es la problemática del acceso a una red eléctrica cercana por lo cual dificulta las actividades cotidianas de cada una de las viviendas de la comunidad ubicadas en la zona rural del cantón Isidro Ayora. En primeras instancias el proyecto partió de un análisis detallado con lo que respecta a la demanda de energía eléctrica que se cuenta actualmente la vivienda en dicha zona, en la cual para el dimensionamiento del sistema aislado se implementan dos softwares los cuales son PVsyst y Homer los cuales son muy utilizados y adecuados para dimensionar el número de paneles, baterías, reguladores y demás elementos, que conforman el sistema aislado de la red [9].</p>

3.2 Energías renovables

Las energías renovables son consideradas como fuentes de energía infinita e inagotable en el mundo en que vivimos, ya que este tipo de energía tiene la capacidad de regenerarse rápidamente sin ningún tipo de problema [10]. Esto gracias a sus propios medios naturales, por lo cual a diferencia de otras energías como las conocemos comúnmente como contaminantes estas últimas no se regeneran por medios naturales sino más bien dejan una mancha negativa al medio natural del planeta.

En los últimos años las energías renovables han cumplido un rol fundamental en la matriz energética de muchos países, en la cuales gracias a los avances tecnológicos, ha permitido la generación de energía limpia y verde, este tipo de energía se clasifican en dos grupos importantes, las energías renovables convencionales dentro de ellas se encuentran las centrales hidroeléctricas que gracias al flujo y presión de agua hace posible la generación de energía eléctrica, por otro lado se encuentran las energías renovables no convencionales, en ellas se encuentran centrales como las fotovoltaicas, eólicas, geotérmicas, biomasa, se las conoce así porque no son predominantes lo que tienen una menor participación en la matriz energética [10]. Las energías renovables se encuentran en cada una de nuestras actividades cotidianas desde el uso del sol para calentar nuestros hogares en épocas frías, así como también el uso agua para ducharnos con agua caliente, además para el riego de campos en la agricultura [10]. Por lo cual mediante el aprovechamiento de las energías renovables hacen posible cada una de nuestras actividades cotidianas, así como la generación de energía eléctrica limpia y sostenible aportando al cuidado del medio ambiente.

3.3 Electricidad

En la época en que el mundo estaba lleno de científicos relevantes como Franklin los hombres de aquellas épocas, mantenían un concepto muy interesante en él se afirmaban que la electricidad era un fluido que mantenía dos cargas de diferente polaridad, una negativa y otra positiva respectivamente, sin embargo, al pasar los siglos, la ciencia hoy en la actualidad afirma que la electricidad es producida mediante partículas llamadas electrones con polaridad negativa y protones con polaridad positiva, siendo este fenómeno físico muy difícil para la vista del ser humano [11].

La palabra electricidad que en la actualidad conocemos comúnmente, viene del término elektron-ámbar, este tipo de fenómeno físico se encuentra establecido en cargas eléctricas, así como también en equipos de almacenamiento, cocinas eléctricas entre otros dispositivos que

requieran de electricidad para su funcionamiento adecuado, de la misma forma el concepto de electricidad también se manifiesta en las tormentas eléctricas lo que ocasiona relámpagos [12]. Es así que este fenómeno físico es fundamental para el funcionamiento de un simple artefacto electrónico hasta los grandes equipos y maquinas eléctricas que existen en la actualidad. Hoy en la actualidad la humanidad depende mucho de la electricidad ya que industrias, hospitales centros educativos e incluso la económica de un país involucra el uso de energías eléctrica. Hoy en la actualidad la humanidad depende mucho de la electricidad ya que industrias', hospitales, centros educativos e incluso la económica de un país involucra el uso de energía eléctrica. La humanidad crece significativamente año atrás año lo que aumenta drásticamente el consumo de generación eléctrica, como tal este fenómeno físico viene de una fuente limpia, pero para su generación se requiere un porcentaje considerable de contaminación ambiental sea este mediante el uso de energías renovables o no renovables [12].

3.4 Tipos de corrientes eléctricas

3.4.1 Corriente Continua

Uno de los conceptos más relevantes dentro de la rama de la electricidad son los tipos de corriente que existen, los cuales se dividen en dos grupos importantes siendo, corriente continua y corriente alterna respectivamente, la CC o DC como comúnmente la conocemos a la corriente directa esta es producida por el flujo de carga que viaja a una misma dirección, por lo cual los electrones se direccionan en un mismo sentido en el circuito, un claro ejemplo práctico es una batería de almacenamiento de electricidad los bornes de cada extremo de este dispositivo tienen el mismo signo de carga eléctrica [13].

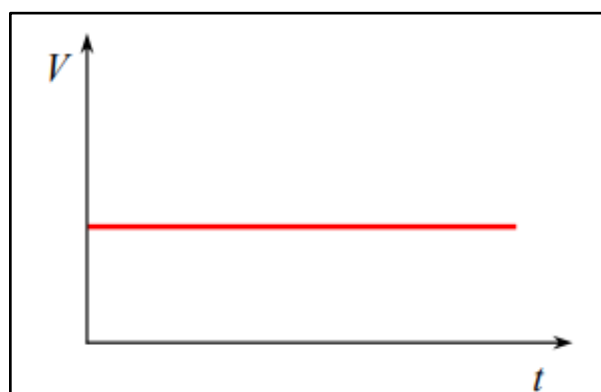


Figura 1. Corriente continua CC-DC [13].

3.4.2 Corriente Alterna

Por otro lado, la corriente CA o AC, como su nombre lo dice es un tipo de corriente eléctrica que se establece de una forma muy diferente a comparación de la corriente directa CC o DC ya que la cantidad de electrones que se establecen en un circuito eléctrico, varían periódicamente de una dirección a otra, al momento de variar la polaridad que tiene el generador, resultado por el cual se producen las corrientes alternas más valiosas, las conocidas comúnmente como corrientes alternas periódicas, estas pueden ser de tipo rectangular, triangular, dientes de sierra y de forma sinusoidal esta última se puede evidenciar de mejor manera en un inversor de onda pura mediante la implementación de un sistema de solar fotovoltaico sea este off grid u on grid [13]

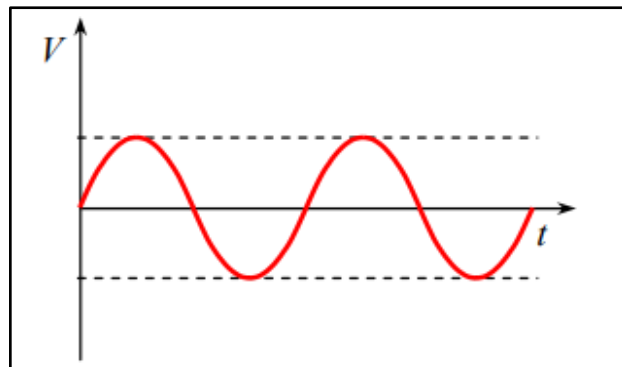


Figura 2. Corriente alterna CA-AC [13].

3.5 Ley de OHM

De la mano del Físico y Matemático Jorge Simón Ohm en 1827, descubrió la que hoy conocemos como una de las ecuaciones fundamentales de la rama de la electricidad, el descubrimiento de esta ley fue llevado a cabo por los avances matemáticos y científicos preliminares de la mano del Filósofo y Físico Luigi Galvani siendo este en su época un famoso investigador e inspirador para la batería eléctrica, sus principales experimentos se basaron en la facilidad o dificultad del paso de corriente eléctrica en diferentes materiales existentes en su época, es así que gracias a esos experimentos se descubrió una ley eléctrica en la cual afirma que la cantidad de corriente eléctrica que mantiene un material siempre mantendrán una resistencia de la misma. cuando se aplicada un valor establecido de caída de tensión mediante una fuente [14].

Por lo cual mediante esta ley eléctrica lo que permite es dimensionar instalaciones eléctricas sean estas industriales, comerciales o residenciales, además de precautelar los recursos y la

seguridad de la misma. La ley de Ohm es utilizada para cualquier tipo de circuito eléctrico sin requerimiento alguno, en la cual se establece, de la siguiente forma: “La resistencia eléctrica de un material es igual a la cantidad de voltaje que se establece en un cualquier circuito eléctrico, sobre la corriente que pasa por el mismo” [14].

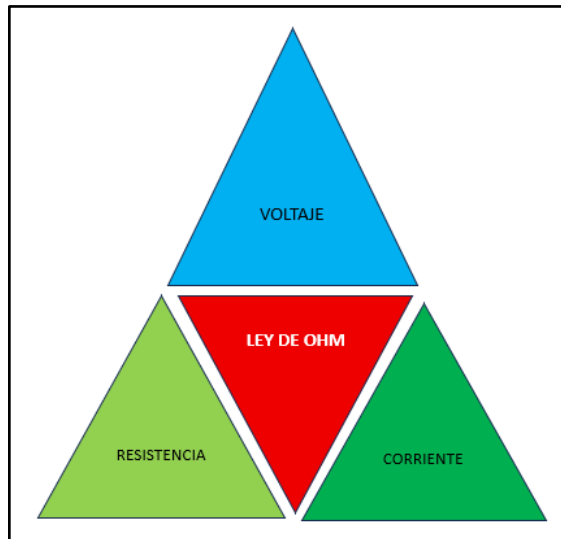


Figura 3. Ley de OHM [14].

Como se mencionó anteriormente la ley de Ohm es considerada como una ecuación fundamental dentro de la rama de la electricidad, por lo cual se establecen tres ecuaciones las cuales son:

Voltaje (V o E): En términos físicos, es aquel impulso que hace que la corriente pueda moverse o dirigirse a una dirección en cualquier tipo de material o circuito eléctrico.

$$V = \frac{I}{R} \quad (1)$$

Corriente (I): Hace referencia a la capacidad de flujo de carga eléctrica que circula por un conductor entre dos puntos diferentes.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Resistencia (R): En términos físicos este fenómeno se le denomina a la incapacidad de paso de corriente eléctrica a través de un material eléctrico o circuito como tal:

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

3.6 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica como la conocemos comúnmente, este tipo de energía se genera por medio del astro rey la cual pasa por un proceso para convertirse en energía eléctrica, pasando directamente de la superficie terrestre a cada uno de elementos fotovoltaicos para la generación de electricidad, dando paso a una de las energías más eficientes y óptimas para el cuidado del medio ambiente, por otro lado, para la producción de electricidad cada uno de los módulos fotovoltaicos deben encontrarse conectados unas a otras adecuadamente. Además, para una mayor captación de energía solar los módulos deben formar una superficie adecuada y despejada como tal, es así que estos factores, así como una correcta inclinación de ángulo de los módulos las cual ayuda eficientemente a una mayor conversión de energía eléctrica y el cuidado propio de la superficie [15].

Para lograr todos y cada uno de este requerimiento se debe tener claro algunos puntos básicos como es la orientación que mantiene el sol con la zona, el movimiento de traslación entre el sol y la tierra, ubicación y consideración de la cantidad de energía solar fotovoltaica en una superficie [15]. Sin embargo, a pesar de ser unas de las energías renovables que innovan en el mundo producen un cierto grado de contaminación visual, ya que para captar mayor cantidad de energía se requiere mayor espacio, lo cual provoca este efecto reversible. Por otro lado, una de las ventajas de la energía solar fotovoltaica, permite el ahorro de consumo de energía eléctrica, así también evita la generación de gases contaminantes al planeta como lluvia acida, reduciendo en un alto grado de gases de efecto invernadero, por lo cual a comparación de otras fuentes de generación que existen a nivel mundial la solar fotovoltaica se ha vuelto muy cotizada y recurrente [16].

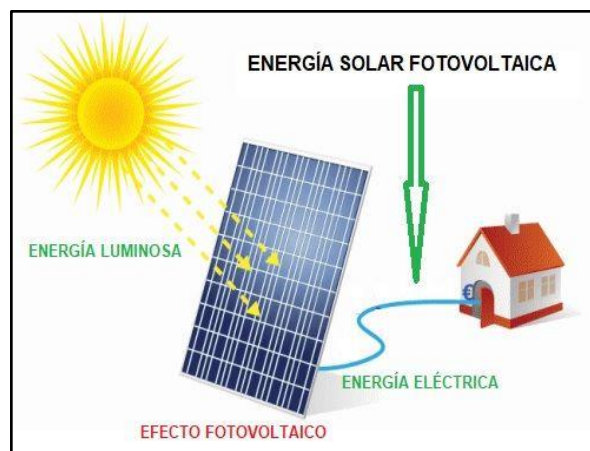


Figura 4. Energía solar fotovoltaica [17].

3.7 Radiación solar

El sol se ha considerado como una de las energías con mayor utilidad en la conversión de energía solar a energía eléctrica, la radiación que emite el sol alrededor de su superficie alcanza los 62600 kW/m^2 [18]. Como tal, alrededor del sol existen diferentes compuestos que se encuentran orbitando alrededor del mismo, que hace posible una escala exorbitante de fusión tipo nuclear, este tipo de fusión produce una gran cantidad de ondas electromagnéticas las cuales desde la tierra es imposible verlas a simple vista, estas ondas electromagnéticas están conformadas por rayos gamma, ultravioleta, rayos cósmicos, y se diferencian principalmente en tres puntos claves los cuales son por su longitud, frecuencia y energía y viajan a una velocidad de, $299,792 \text{ km/s}$ que va desde el espacio hacia el planeta tierra [18].

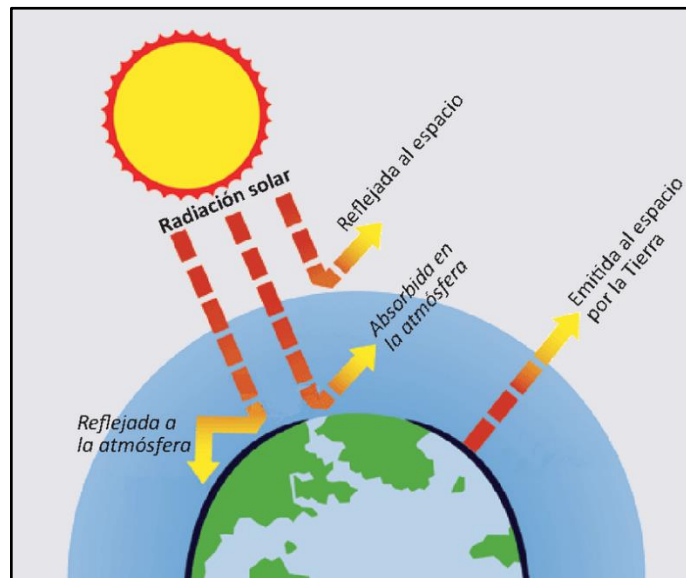


Figura 5. Radiación solar [19].

Es así que la radiación solar emitida por el astro rey llamado sol, del total generado en el espacio lleva una pequeña parte a la tierra, es así que la radiación al ingresar a la tierra se generan tres tipos de radiación solar las cuales son: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada al agrupar estas tres obtenemos una radiación global en la tierra esto considerando algunos aspectos geográficos [18].

3.7.1 Radiación directa

Como su nombre lo dice es un tipo de radiación solar que al ingresar a la tierra y entra en contacto directo sin ningún obstáculo a cualquier objeto sea este material, ser vivo o microorganismos.

3.7.2 Radiación difusa

Por otro lado, este tipo de radiación, es muy diferente a la directa la cual esta sufre algunos cambios en su trayecto, ya que, al ingresar a la tierra, es afecta por nubes o por la propia atmosfera del planeta tierra.

3.7.3 Radiación reflejada

Este tipo de radiación a diferencia de las otras dos, al llegar la radiación solar, toca al suelo de la tierra y refleja a cualquier tipo de objeto o material, además este tipo de radiación no es muy utilizada para la implementación de sistemas fotovoltaicos mediante paneles.

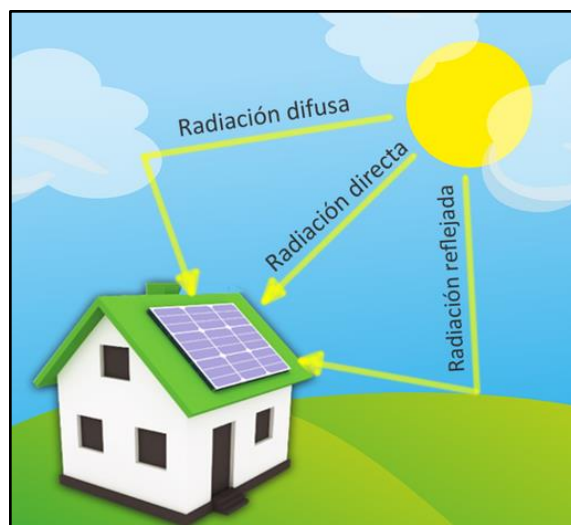


Figura 6. Tipos de radiación solar [19].

3.8 Hora solar pico

La hora solar pico, es una unidad en la cual mediante su implementación adecuada permite el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, sea es de tipo aislado o conectado a la red, de la misma forma este tipo de unidad nos ayuda a determinar una zona potencial de energía solar y aprovechar de gran manera dichos recursos naturales. Para el desarrollo de proyectos de energía solar se requiere el valor de la hora solar pico, ya sea para determinar la cantidad de recursos existentes en la zona, así como también la cantidad de elementos y equipos necesarios para el funcionamiento de un sistema fotovoltaico. La irradiación solar de cualquier superficie terrestre, para el estudio de un sistema fotovoltaico se considera la HSP, esta unidad como tal tiene un valor que no varía de 1000 W/m^2 respectivamente, por lo cual esto permite estimar cuanta cantidad de energía eléctrica pueda aportar en el transcurso del día un módulo solar [18]. Mediante la implementación de la HSP evalúa la cantidad de energía solar que existe en una

zona específica, considerando algunos factores de la zona como temperatura, humedad, coordenadas geográficas entre otras. En pocas palabras como un claro ejemplo podemos decir que, si en un lugar de cualquier parte del mundo se tiene un valor de 4 HSP, esto quiere decir que se tendrán como resultado 4 horas de sol, al momento de dar un valor hipotético de irradiación de 1000 W/m^2 , teniendo como resultado una cantidad total de 4000 Wh/m^2 es decir en pocas palabras un valor al día de 4 kWh/m^2 [18].

De forma resumida mediante el cálculo de una conversión matemática simple, se puede mencionar que una hora solar pico equivale a dos unidades diferentes, es decir que una HSP tendría un valor de $3,6 \text{ MJ/m}^2$ o aún valor de 1 kWh/m^2 respectivamente [18].

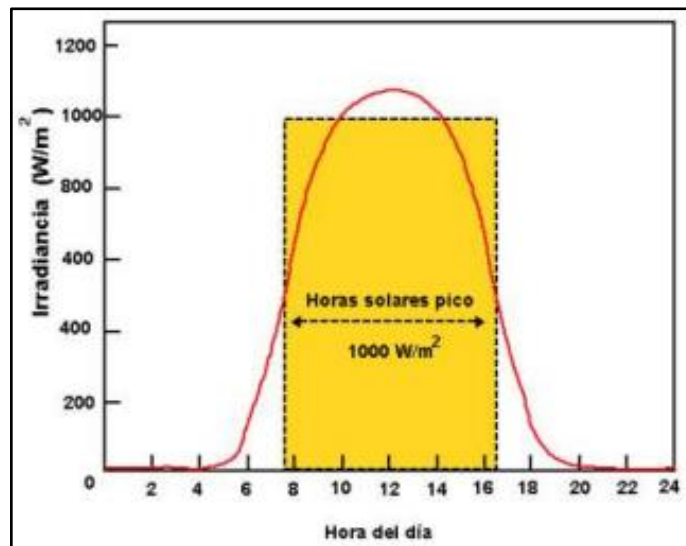


Figura 7. Hora solar pico [18].

3.8.1 Hora solar pico a una inclinación

Para una mayor cantidad de radiación solar que desea obtener mediante paneles solares fotovoltaicos se considera el ángulo de inclinación que este tiene, la cual está conformada por la zona plana del módulo solar, con respecto al ángulo de elevación en el eje horizontal, de esta forma da como resultado el ángulo de inclinación β , tal y como se expresa de la siguiente ecuación (4):

$$\text{HSP}_\beta = \frac{R_B}{I_{\beta_{\text{CEM}}}} = \frac{R_o \cdot k_\beta}{I_{\beta_{\text{CEM}}}} \quad (4)$$

Donde:

- β : Angulo de inclinación en unidad de grados.
- R_o : Valor medio mensual de radiación sobre la superficie horizontal ($\text{kWh/m}^2 \text{ dia}$)

- R_{β} : Valor medio mensual de radiación sobre el panel fotovoltaico con un ángulo de inclinación β (kWh/m² día).
- K_{β} : Coeficiente corrector en función de β .
- HSP : Hora solar pico con valor hipotético de 1000 W/m²
- $I_{\beta(CEM)}$: Potencia de radiación solar incidente en unidad (W/m²)

3.9 Irradiancia e Irradiación

Uno de los puntos a considerar para el dimensionamiento de la radiación solar, la cual es producida por el sol, viajando a largas distancias hacia la superficie de la tierra, se conoce como la irradiación esta magnitud como tal, corresponde específicamente a la unidad de la energía eléctrica, por otro lado, también se considera la irradiancia la cual corresponde a la unidad de la potencia eléctrica respectivamente, es así que estas dos magnitudes son de gran importancia para dimensionar correctamente la radiación solar, por lo cual a continuación se dará con más detalle lo menciona.

3.9.1 Irradiancia

La irradiancia como tal corresponde a una magnitud eléctrica, para su implementación se trabaja específicamente con la unidad de watts por metro cuadrado es decir (W/m²), este tipo de medida como tal permite determinar la cantidad de energía especificada en cualquier instante de una superficie terrestre, es así que esta magnitud permite evaluar en un módulo fotovoltaico de diferentes características cuanta electricidad puede ser producida [20].

3.9.2 Irradiación

Al hablar de irradiación este tipo de magnitud en si permite englobar o agrupar un conjunto de irradiancias a lo largo de un tiempo específico, este periodo de tiempo va desde horas, así como días de los doce meses del año, e incluso años completos, y su unidad de medida es julios por metro cuadrado donde se considerada un periodo de tiempo es decir (J/m²) [20].

3.10 Coordenadas geográficas

Para poder determinar específicamente un punto en cualquier parte de la superficie terrestre, se considera dos parámetros las cuales son la latitud y la longitud estas conforman las coordenadas geográficas [21]. En la rama de la ingeniería este tipo de referencia global es importante ya que permite ubicarnos adecuadamente un punto donde se realicen proyectos de alta importancia

como la ubicación específica para la construcción de puentes edificios y construcción civil, además de la elaboración de planos civiles y la puesta en marcha de proyectos eléctricos a nivel mundial, tal es el caso del diseño de sistemas fotovoltaicos para la captación de radiación solar, como es de conocimiento para la puesta en marcha de un proyecto fotovoltaico el primer paso que se realiza más allá del tipo de sistema, el estudio de cargas o los equipos que se implementaran en el proyecto, antes de concretar cada uno de estos puntos, primero se considera la toma de datos de la irradiación solar de la zona por ende para concretar el primer paso se requiere los datos de longitud y latitud. A continuación, se dará a conocer conceptos fundamentales de las coordenadas geográficas, en las cuales también se representarán algunas graficas para la identificación de las coordenadas de latitud, y altitud, por otro lado, también se identificará la simbología y la unidad de medida.

Nuestro planeta azul (la tierra), como tal gira alrededor de un eje de rotación, este tipo de eje se le conoce comúnmente como eje de la tierra, el polo norte y el polo sur son los puntos extremos de nuestro planeta, por lo cual el primer polo se encuentra ubicado en el Ártico mientras que el segundo polo se encuentra en la Antártida, por otro lado las dos divisiones que mantiene el planeta se las conoce como Hemisferio Norte y Hemisferio Sur, por otro lado, existen círculos menores paralelos en los cuales los más importantes resaltan Trópico de Capricornio y Trópico de Cáncer así con el Círculo Polar Ártico y Círculo Polar Antártico, de la misma forma en el planeta tierra los círculos imaginarios máximos que se encuentran ubicados se conocen como meridianos los cuales son dos respectivamente, el primero se le conoce con el nombre de meridiano de lugar el cual sirve de referencia para determinar la longitud que se encuentra ubicado un punto desde el oeste al este y el segundo se establece con el nombre de meridiano de Greenwich [21].

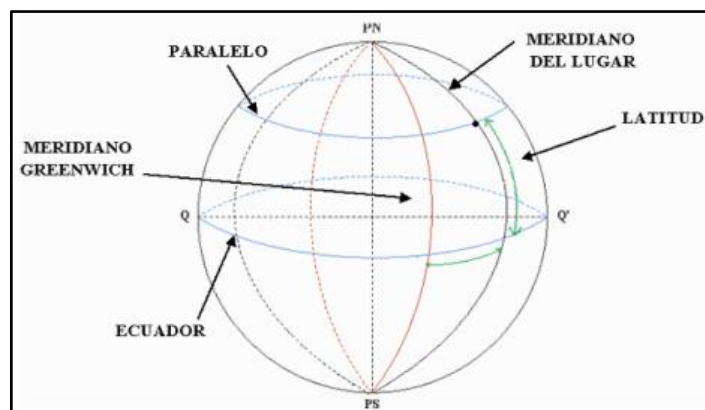


Figura 8. Coordenadas geográficas [21].

Las líneas imaginarias en las cuales conllevan tanto los meridianos de lugar como los meridianos de Greenwich y los paralelos permiten determinar de forma precisa un punto de cualquier superficie del planeta tierra, por lo cual para obtener dicho punto sin errores se debe de contar con el valor de longitud y altitud, a continuación, se dará a conocer de mejor manera dichas coordenadas geográficas.

3.10.1 Latitud

Cuando hablamos de latitud se refiere a la línea imaginaria en la cual forma la curvatura del planeta como la conocemos, la cual pasa por un punto específico y también por los polos norte y sur que conforman la tierra es decir en pocas palabras, la latitud considera el punto inicial de cero grados la cual se encuentra en Ecuador y pasa hasta donde se encuentra ubicado la zona o lugar especificada.

- Es representada con la letra I (f o ϕ)
- Se mide en grados sexagesimales de cero a noventa grados.
- Cualquier punto establecido en la misma paralela tiene la misma latitud.
- Ecuador le corresponde un valor de latitud de 0° .
- Polos Sur y Norte equivalente en 90° S y 90° N en latitud.

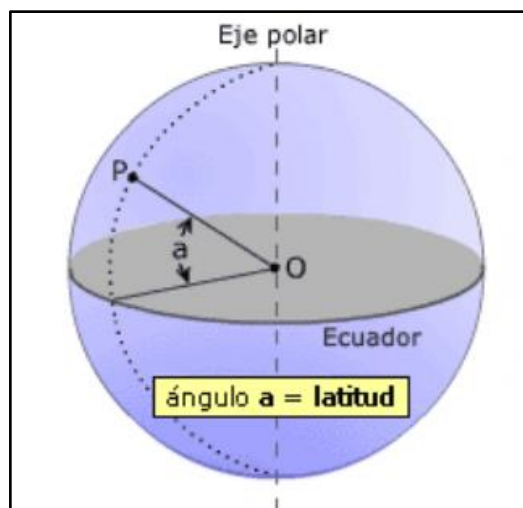


Figura 9. Coordenadas geográficas latitud de un punto P [21].

3.10.2 Longitud

Al referirnos de longitud en coordenadas polares, esta como tal determina la distancia de cualquier punto existente en la superficie terrestre, en la cual considera el meridiano de

Greenwich, para su medida se hace de forma horizontal que va desde el este al oeste de la línea imaginaria que rodea la tierra.

- Representada con la letra λ (o ϕ).
- Se mide en grados sexagesimales de cero y ciento ochenta grados.
- Cualquier punto establecido en el mismo meridiano tienen la misma longitud.
- El meridiano de Greenwich tiene una longitud de 0° .
- No tienen valor de longitud los Polos Norte y Sur.

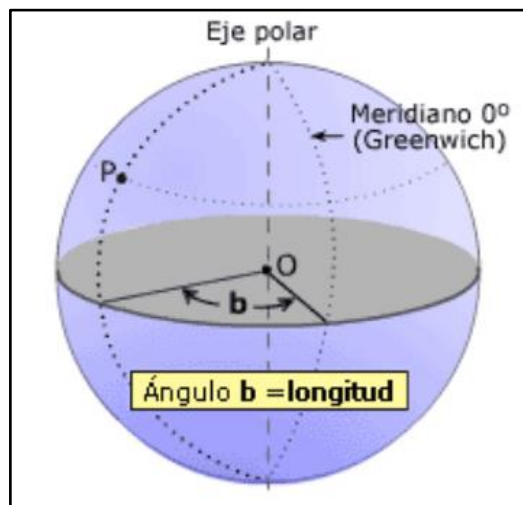


Figura 10. Coordenadas geográficas latitud de un punto P [21].

3.11 Geometría solar

El sol al encontrarse en el centro de nuestro sistema solar esta se caracteriza por su inmensa gravedad la cual permite que cada uno de los planetas que se encuentren a su alrededor y orbiten sin ningún problema, la distancia entre la estrella enana amarilla y la tierra es de aproximadamente 149,6 Mkm, siendo un valor constante al alrededor de todo el año, ya que a diferencia de la sol, la tierra por su dimensione menos proporcionada hace que orbite sin ningún cambio alguno alrededor de la enana amarilla [22].

Gracias a la gravedad que genera la tierra y el sol, se produce la trayectoria elíptica de la tierra esta permite de una u otra forma este tipo inusual de trayectoria, en la cual el sol se encuentra en el centro específicamente, por otro lado, la órbita que se genera mediante estos fenómenos se conoce como el plano de la Eclíptica donde se puede apreciar de mejor manera desde la tierra, el fenómeno producido entre el plano de la órbita terrestre y los hemisferios norte y sur del planeta se la denomina como Oblicuidad de la Eclíptica generando un ángulo de $23^\circ 27''$ [22].

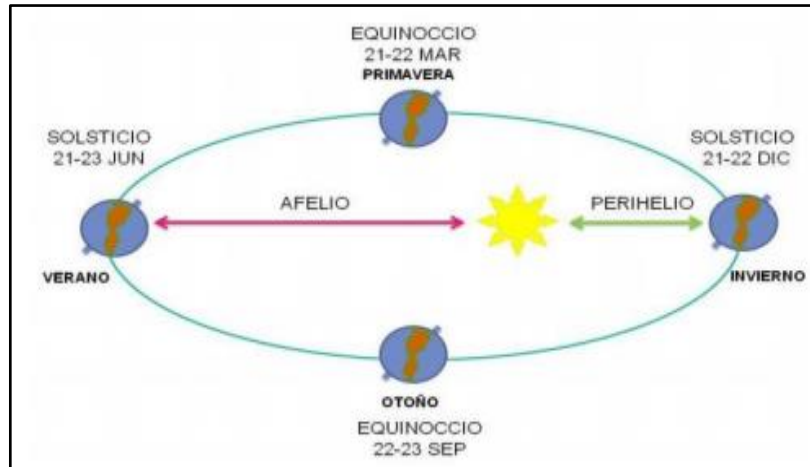


Figura 11. Órbita elíptica de la tierra alrededor del sol [22].

3.12 Coordenadas polares del sol

Dentro la implementación de sistemas fotovoltaicos, la determinación correctamente del ángulo de inclinación de los paneles solares es de gran importancia dentro del área de la ingeniería eléctrica permitiendo una ubicación y orientación de forma correcta de los módulos fotovoltaicos esto con la finalidad de captar la mayor energía solar posible, las coordenadas polares también se aplican en análisis de campos vectoriales. Las coordenadas polares del sol son fundamentales y de gran importancia, es así que dentro de este aspecto existen dos coordenadas las cuales son altura solar y azimut solar, permitiendo identificar la posición y ubicación del astro rey (sol) en cualquier momento determinado respecto a un punto que se encuentra situado en la superficie del planeta tierra [22].

Altura solar (α).- La elevación o también conocida como altura solar, es decir en pocas palabras, que tan alto está el sol en el cielo, esto depende de gran manera las estaciones del año como son: invierno, verano y otoño, por otro lado, la altura solar permite la creación de sombras en el transcurso del día, así como también la cantidad de irradiación captada por módulos fotovoltaicos, cuando la altura solar es grande alcanza los 90° , al horizonte a un ángulo de 10° o 20° y aun ángulo negativo sin sol.

Azimut solar (Ψ).- Esta coordenada geográfica nos permite determinar la orientación del sol, es decir en donde se encuentra ubicado el astro rey, sea este en el meridiano, norte, sur, este y oeste, es decir en pocas palabras nos indica en que dirección del horizonte aparece el sol en el planeta tierra.

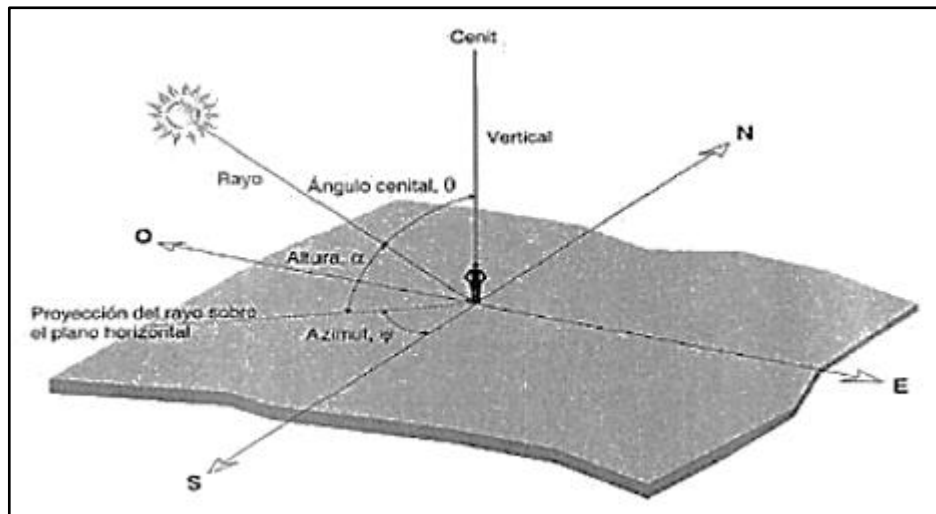


Figura 12. Coordenadas polares del sol [22].

3.13 Sistemas solares fotovoltaico

Varios elementos combinados entre si como como son, paneles solares, reguladores, inversores y elementos de almacenamiento como baterías, cada uno de estos dispositivos permiten la generación, control y la distribución de energía eléctrica convertida de CC a AC respectivamente, este tipo de sistema aprovecha la energía solar que produce el sol, la cual viaja a largas distancias hasta entrar a la atmosfera de nuestro planeta, este tipo de energía forma ondas de tipo electromagnéticas, y los paneles fotovoltaicos al tener un material especial, captan inmediatamente partículas de fotón al entrar en contacto directo y de esta forma da paso a la generación de electricidad, por otro lado los módulos fotovoltaicos deben fijarse y orientarse en una posición en donde capten la mayor energía solar posible esto con la finalidad de aprovechar al máximo el recurso solar, por otro lado el tipo de material que comúnmente se utiliza para la fabricación de paneles solares es el Silicio sea este de tipo monocristalino, amorfo o policristalino, ya que este material es versátil, duradero y se adapta a cualquier tipo de clima o geografía [23].

Como se mencionó anteriormente los sistemas fotovoltaicos producen energía eléctrica limpia y segura, tanto para sistemas de tipo On-Grid, u Off Grid este último se implementa en lugares muy remotos en los que hace falta una red principal de energía eléctrica, o en casos en donde sectores carecen de servicios básicos sea por la falta de apoyo del gobierno en turno o por los niveles de pobreza de los habitantes, de la misma forma este tipo de sistema se puede aplicar en áreas sociales como son, casas comunales e iglesias y demás áreas públicas, donde cuenten

con alguna necesidad energética, los sistemas fotovoltaicos a más de aportar de energía eléctrica sostenible, ayuda a mejorar la calidad de vida de barrios, comunidades, pueblos e incluso sectores de diferentes ciudades grandes en todo el mundo.

3.13.1 Clasificación de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos están conformados por tres grupos los cuales cada uno de ellos se clasifican según su requerimiento y necesidad energética, estos pueden ser implementados adecuadamente en lugares en los el sol mantenga niveles altos de radiación solar, a continuación, se hablarán con más detalle los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos existentes.

3.13.1.1 Sistema fotovoltaico aislado a la red (Off Grid)

Este tipo de sistema fotovoltaico hace posible la generación de electricidad por medio de un conjunto de elementos y dispositivos para brindar de energía eléctrica a viviendas o edificaciones que se encuentren aisladas de una red principal, este sistema está conformado por paneles solares los cuales mediante materiales especializados captan la radiación solar y la transforman en electricidad, además se encontraran conectados en un circuito en serie o paralelo, la energía que se produce en condiciones óptimas de radiación solar serán almacenadas en un conjunto de baterías, y finalmente almacenada la energía pasa a la respectiva distribución mediante un inversor que convierte CC a AC a cada uno de los circuitos sean estos de fuerza, iluminación e incluso tomas especiales como motores o bombas de agua [24].

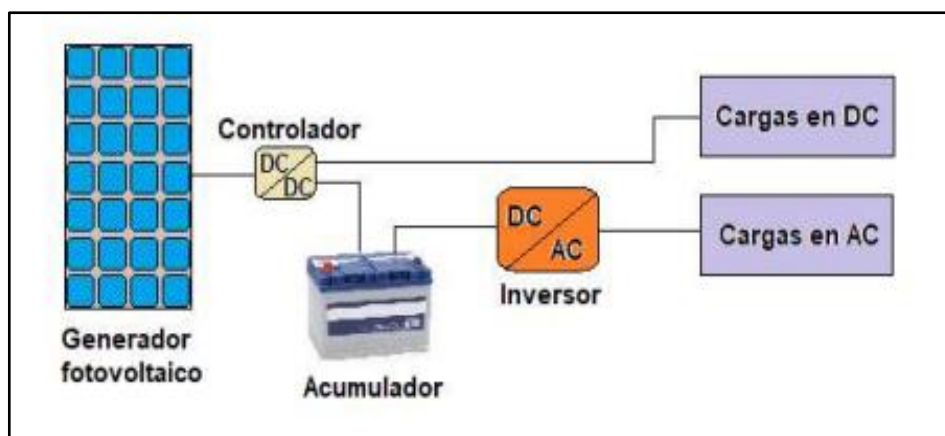


Figura 13. Sistema fotovoltaico de tipo Off Grid [24].

3.13.1.2 Sistema fotovoltaico con conexión a la red (On Grid)

Este tipo de sistema fotovoltaico, a comparación del On Grid, este como tal permite la generación eléctrica mediante un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos, con la diferencia de que el sistema estará conectado a la red eléctrica de media o baja tensión mediante el uso de un inversor, considerando cada caso para su implementación, por otro lado la energía que se produce mediante la utilización del recurso energético del sol, se traslada a la red principal mediante elementos de protección esto en caso de existir cortocircuitos o sobrecargas que afectan las conexiones, equipos y demás elementos, por otro lado este sistema cuenta con un medidor de luz el cual monitorea la cantidad de energía consumida en la vivienda o edificación [24]. Un sistema fotovoltaico conectado a la red, tiene sus ventajas y desventajas, una de ellas es el aspecto económico ya que este sistema fotovoltaico es mucho más barato a comparación del sistema off grid, requiere como tal un banco de baterías y al ser muy caras, eleva su costo de instalación e implementación, mientras que una desventaja de este sistema es que se requiere de una red para ser alimentada y no es posible su instalación en lugares desolados y lejos de la población.



Figura 14. Sistema fotovoltaico de tipo On Grid [24].

3.13.1.3 Sistema fotovoltaico de autoconsumo

Este tipo de sistema fotovoltaico a diferencia de los otros dos primeros, comúnmente este sistema se encuentra instalado en edificaciones de gran magnitud así también como en el área industrial para la producción de materia prima, en las industriales la energía obtenida es consumida y la energía sobrante es inyectada a la red eléctrica principal de la empresa eléctrica, de la misma forma si el sistema autónomo no abastece como tal la demanda requerida para la producción, de una industria, esta se toma de la red de distribución, este tipo de sistema se

utilizado medidores bidireccionales para determinar la cantidad de energía consumida y entregada que va desde el sistema de autoconsumo hacia la red principal, este tipo de sistema también se integran un banco de baterías, sin embargo se debe prever el tipo de cargas existentes y además que actividades de producción de materia prima tiene empresa [24].

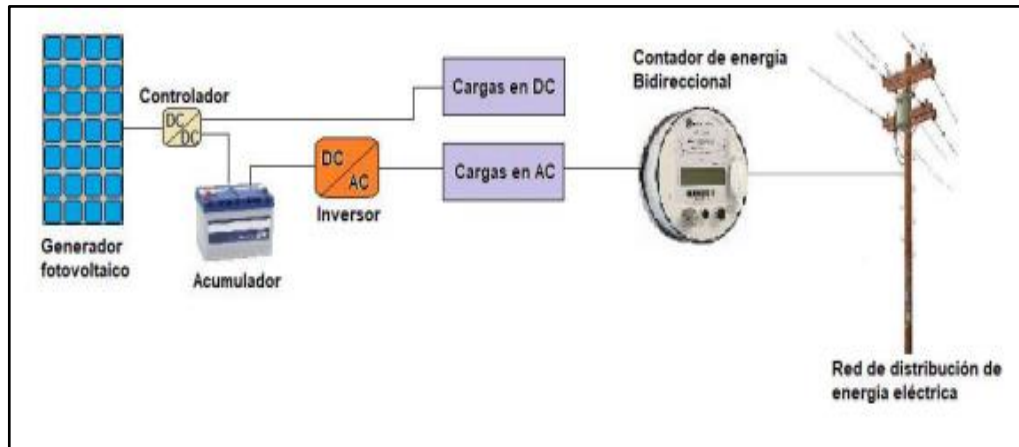


Figura 15. Sistema fotovoltaico de autoconsumo [24].

3.14 Componentes de un sistema fotovoltaico

3.14.1 Panel solar fotovoltaico

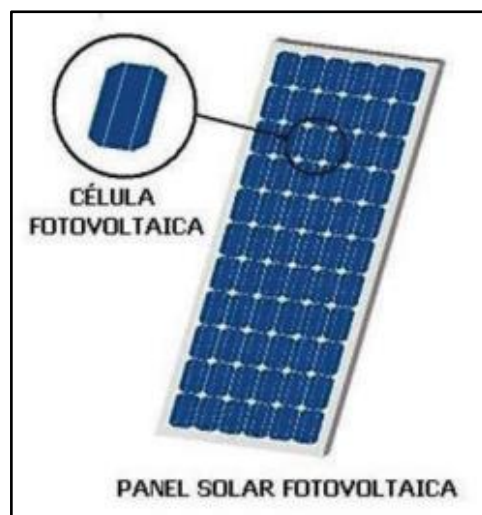


Figura 16. Representación de un panel solar fotovoltaico [25].

El panel solar como tal es un dispositivo el cual capta la energía eléctrica producida por el sol, está formada por celdas solares que se encuentran colocadas en forma ordena y simetría en una estructura resistente para cualquier tipo de estructura o base, para la fabricación de este dispositivo se utiliza un material llamado selenio, ya que cumple los requerimientos técnicos así también por su mayor uso en la industria y bajo costo [25]. A continuación, se dará a conocer

los diferentes tipos de paneles solares fotovoltaicos que se utilizan comúnmente, en donde se detallan sus principales características, como tipo de material como están fabricados y demás conceptos relevantes.

3.14.1.1 Silicio monocristalino

Este tipo de panel solar, es fabricado meticulosamente manteniendo un orden casi perfecto por el cual a simple vista se puede observar que tiene un color tipo azulado no tan claro dando una vista muy cristalina, al hablar de simetría este tipo de panel mantiene en forma ordena sus átomos que lo conforman, cada uno de estos átomos son sacos de una masa solida que tiene un solo material como es el silicio, además sus átomos cuentan con una dimensión técnica de $1/3$ o $1/2$, con una unidad en mm respectivamente, estos paneles tienen gran acogida y su vida útil es de aproximadamente de 25 años desde el primer día de funcionamiento [26].



Figura 17. Panel solar tipo silicio monocristalino [26].

3.14.1.2 Silicio policristalino

Este tipo de panel solar a diferencia del mono cristalino, el proceso para su fabricación es más barato ya que utilice aparte del Silicio fundido otros tipos de materiales que existen para el proceso de moldeado del panel solar fotovoltaico. Por otro lado, sus átomos no están de forma simétrica ya que su estructura está compuesta de varios materiales a parte del silicio como materia prima principal, es así que estos paneles solares no son tan eficientes debido a que no están compuestos de un material puro, siendo menos eficientes con un valor de 14% en módulos comerciales [26].



Figura 18. Panel solar tipo silicio policristalino [26].

3.14.1.3 Silicio amorfo

El panel solar de tipo silicio amorfo para su fabricación se utiliza como materia prima plásticos y así como cristales por lo cual a simple vista no son cristalinos, al estar compuestos por estos materiales su eficiencia es muy baja a comparación de paneles como los de silicio mono cristalino y silicio poli cristalino, por otro lado la eficiencia en módulos comerciales de este tipo, alcanzan un 13% , el costo de fabricación de estos tipos de paneles fotovoltaicos es el más bajo de los dos primeros antes mencionados [26].



Figura 19. Panel solar de tipo silicio amorfo [26].

3.14.2 Estructura solar fotovoltaica

La estructura que se utiliza para la fijación de los paneles solares se deben considerar diferentes factores como la posición, la orientación y dirección de los paneles, así también como la determinación del ángulo de inclinación para una mayor captación de energía solar, y que se encuentre libre de sombra natural, el material que son fabricados las estructuras originales para los sistemas fotovoltaicos son de aluminio extruido, pero otras opciones que pueden ser factibles y adecuadas es el acero inoxidable teniendo una alta resistencia a la corrosión.



Figura 20. Estructura de paneles solares fotovoltaicos [27].

3.14.3 Inclinación de paneles solares

La inclinación de los paneles solares de cualquier tipo de material sea de tipo mono cristalinos, poli cristalinos o de silicio amorfo, todos y cada uno de ellos deben estar adecuadamente establecidos con su ángulo de inclinación, esto con la finalidad de captar eficiente la energía solar y producir electricidad de mejor manera, además de elementos y dispositivos que se instalen en un sistema fotovoltaico, debe estar en óptimas condiciones.

Por otro lado, para optimizar de mejor manera la captación de energía solar de cualquier zona donde se encuentre instalado los paneles, se debe realizar la diferencia de un ángulo de 10° al valor de la latitud de la zona de estudio, es decir un claro ejemplo si en un punto determinado de cualquier parte del planeta se tiene su latitud establecida, dicho valor de latitud se debe restar los 10° , lo cual mediante esto me determina el ángulo recomendable [28].

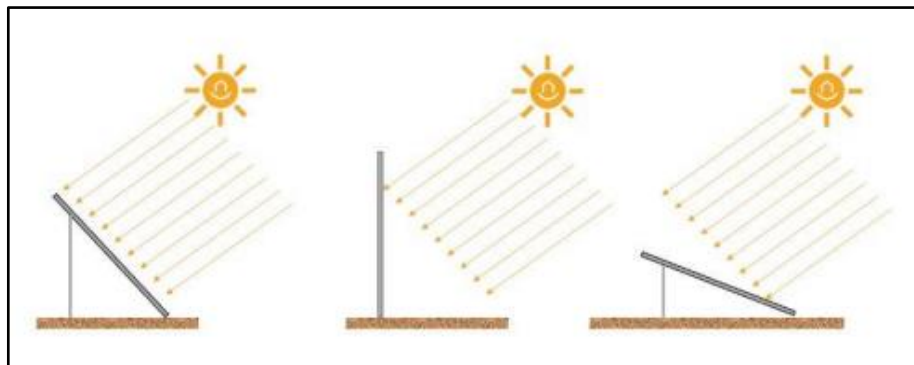


Figura 21. Inclinación de paneles solares fotovoltaicos [28].

3.14.4 Conexión de módulos solares

3.14.4.1 Conexión en serie

Para que los paneles fotovoltaicos tengan una correcta funcionalidad, deben contar con ciertas especificaciones como el mismo nivel de tensión, potencia y capacidad de generación eléctrica en horas de mayor radiación, así de esta forma precautelar los paneles, por otro lado los módulos fotovoltaicos tienen terminales de diferente polaridad (negativa y positiva), para una adecuada conexión en serie se debe conectar el terminal positivo con el terminal negativo formando un circuito de módulos en serie, por ende esta acción hace que los voltajes se sumen entre todas, y escalen considerablemente [29].

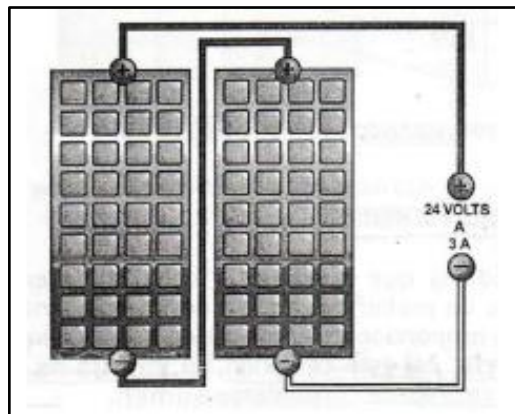


Figura 22. Conexión en serie de paneles solares [29].

3.14.4.2 Conexión en paralelo

Para la conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo se considera de la misma forma sus terminales sin embargo a diferencia de la conexión en serie, la conexión en paralelo se lo realiza considerando el mismo terminal, es decir el lado del terminal negativo de un panel con el otro terminal negativo del siguiente panel, de la misma forma se lo realiza para el terminal positivo, entonces al realizar estas conexiones hace que las corrientes se sumen y escale la corriente del sistema [29].

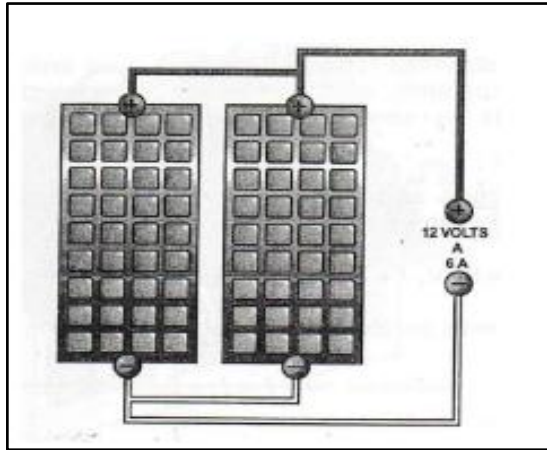


Figura 23. Conexión en paralelo de paneles solares [29].

3.15 Regulador de carga

Este equipo es indispensable para la implementación de sistemas fotovoltaicos, cuando la batería se carga por encima de su voltaje, o cuando existen casos en donde la carga se agota por debajo de sus límites de voltaje, por lo cual este equipo permite controlar del correcto funcionamiento de las baterías del sistema, por otro lado para la implementación de este dispositivo en un sistema fotovoltaico, se debe verificar primeramente los parámetros eléctricos como son tensión y corriente los cuales deben ser los mismos que la batería para sus respectivas conexiones, así también para la instalación del regulador de carga se debe tener en cuenta el valor de la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico y el valor de caída de tensión del sistema como tal, como se mencionó anteriormente este dispositivo se encarga de impedir las descargas y sobrecargas de las baterías, es así que este dispositivo es fundamental para sistemas fotovoltaicos al mantener un costo bajo a comparación de otros elementos, enfocándose más en la eficacia y seguridad tanto de la batería como del sistema [30].

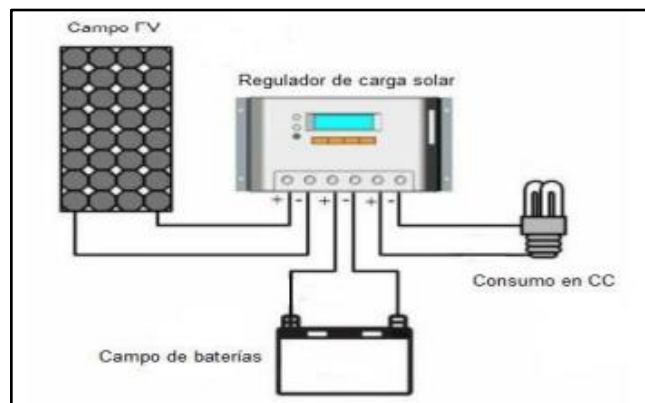


Figura 24. Conexión de un regulador de carga solar [30].

3.15.1 Regulador (PWM)

Este tipo de regulador de carga, utiliza una técnica digital, donde controla una señal analógica en la cual permite la variación respectiva del ancho de pulsos de una onda cuadrada, por lo cual tiene como objetivo de interrumpir el flujo de energía, para que los módulos y las baterías se encuentran instaladas trabajen en una caída de tensión equilibrada, por otro lado este tipo de regulador a más de tener un precio accesible, tiene una vida útil muy buena, y se puede ser implementado en sistemas de tipo Off Grid [30].

3.15.2 Regulador (MPPT)

El regulador MPPT trabaja con cualquier tipo de caída de tensión de paneles solares, así como de las baterías, ya que internamente en su sistema contiene un regulador DC/DC, y un diodo de protección, es así que mediante este regulador disminuye considerablemente las pérdidas y eleva la confiabilidad para la generación de energía eléctrica, otros aspectos de este dispositivo es su costo elevado y se puede adaptar a sistemas de tipo Off Grid como de tipo On Grid [30].

3.16 Baterías fotovoltaicas

Para un sistema fotovoltaico uno de los aspectos más importantes a considerar es el uso de las baterías, este dispositivo se encarga de almacenar la energía producida por módulos fotovoltaicos cuando estos captan la radiación solar, por otro lado, las baterías permiten que un sistema se mantenga, confiable y eficiente en la distribución de electricidad, además existen diferentes tipos de baterías, dependiendo de su material, tecnología, y uso.

3.16.1 Batería de plomo ácido abierto

Este tipo de batería está fabricada mediante una solución de ácido sulfúrico, se la nombra como plomo ácido abierto por que el compuesto químico de la batería está en contacto con el aire lo cual disminuye con el tiempo y para compensarlo se requiere necesariamente de agua destilada.



Figura 25. Batería de plomo ácido abierto [31].

3.16.2 Batería AGM

Esta batería contiene, una malla de fibra de vidrio lo que hace posible que los gases producidos se concentren en la parte interna de la misma batería evitando fugas, lo cual no requieren mantenimiento sin embargo su costo es elevado.



Figura 26. Batería malla de vidrio absorbente [31].

3.16.3 Batería de gel

Este tipo de batería tiene una característica muy peculiar ya que su electrolito tiene una textura muy gelatinosa, la cual no es necesario su mantenimiento y no produce gases contaminantes cuando están ubicadas en lugares de poca ventilación, sin embargo, son de carga lenta.



Figura 27. Batería de gel [31].

3.16.4 Batería recargable

Las baterías estacionarias son diseñadas para ubicarlas en lugar permanentes que no requieran moverse ya que su peso y tamaño son considerables, además estos tipos de baterías aparte de utilizarse en sistemas fotovoltaicos, se implementan en subestaciones eléctricas para mantener energía almacenada en caso de desabastecimiento de energía.



Figura 28. Batería estacionaria [31].

3.16.5 Batería de litio

Este tipo de batería tiene tecnología moderna la cual es más eficiente para el almacenamiento de energía, además este dispositivo está compuesto de Litio específicamente para su fabricación, por otro lado, existen diferentes tipos de baterías compuestas de Litio como son: Ion – Litio, Polímero de Litio y Fosfato de Hierro y Litio.



Figura 29. Batería de litio [31].

3.17 Inversor fotovoltaico

Este equipo se encarga de convertir el voltaje de entrada en estado continuo a un voltaje de salida en estado alterno, además la representación del comportamiento de la frecuencia de un inversor dependerá mucho de la modulación, además su aplicación es variada desde un simple sistema de baja potencia, así como instalaciones industriales, hasta instalaciones que están conectadas a la red principal o aquellas de están alejadas de la red [32]. A continuación de detallaran de mejor manera los diferentes tipos de inversores que son los más importantes en el área de la electricidad los cuales son:

3.17.1 Inversor de onda cuadrada

El inversor de onda cuadrada tiene como objetivo principal transformar la corriente DC, la cual es generada por la implementación de módulos fotovoltaicos a una corriente de tipo AC respectivamente, además su forma de onda característica es debido aún diseño de circuito más económico y sobre todo más simple, haciendo que sus valores tanto positivos como negativos formen esta característica especial de onda, este tipo de inversor se utiliza a menudo para el funcionamiento de un sistema de iluminación, así como equipos de baja potencia [32].

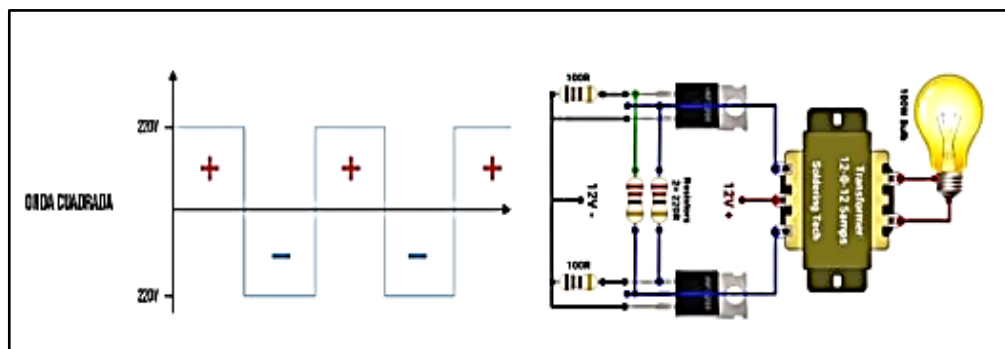


Figura 30. Representación gráfica de un inversor de onda cuadrada [32].

3.17.2 Inversor de onda modificada

Al igual que la onda cuadrada, la onda modificada se encarga de convertir una corriente CC en corriente AC, una de las características peculiares de este inversor es que inicialmente parte de una onda cuadrada, para luego alcanzar la forma característica de una onda senoidal modificada, esto se debe a diferentes alteraciones como la implementación de conmutadores, un aspecto importante a considerar es el costo siendo este mucho más costoso ya que a comparación de un inversor de onda cuadrada este es más avanzado [32].

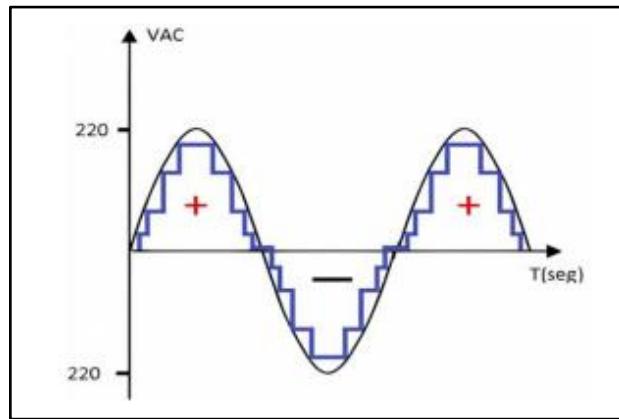


Figura 31. Representación gráfica de un inversor de onda modificada [32].

3.17.3 Inversor de onda sinusoidal pura

Como todo inversor este equipo se encarga de transformar la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), con la diferencia de que esta tiene un rango elevado de calidad, y la potencia y frecuencia de salida no contiene ninguna distorsión, por otro lado, este inversor contiene microprocesadores internamente integrados, la cual forma una onda senoidal perfecta siendo idéntica a la red principal de servicio eléctrico, por otra parte este inversor tiene diferentes aplicaciones desde equipos médicos en la rama de la salud, hasta la implementación e instalaciones eléctricas industriales [32].

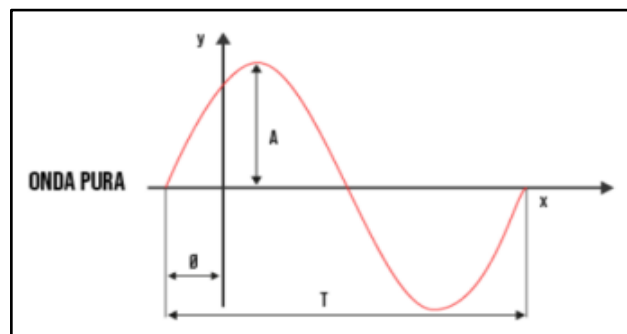


Figura 32. Representación gráfica de un inversor de onda sinusoidal pura [32].

3.18 Sistema de puesta a tierra

Uno de los aspectos más importantes dentro de una instalación eléctrica es la llamada puesta a tierra, esta como tal no es una simple conexión que rige en normativas, por el contrario, es un sistema de seguridad que permite el adecuado funcionamiento de una instalación en niveles de baja, media y alta tensión.

La puesta a tierra es aquella que se encuentra conectada adecuadamente a las carcasas de cada equipo eléctrico y electrónico con la finalidad de evitar problemas como cortocircuitos, sobrecargas, además de fenómenos naturales como son rayos eléctricos, en pocas palabras, la función principal de un sistema de puesta a tierra es brindar seguridad a las instalaciones y precautelar la integridad física de los equipos, así como la del personal que se encuentra en contacto directo con ellos [33].

Los principales objetivos de un sistema de puesta a tierra son los siguientes:

- Resguardar la integridad física tanto de los dispositivos eléctricos y electrónicos, así como de las instalaciones eléctricas existentes.
- Dar seguridad a los usuarios que se encuentran en contacto directo con sus dispositivos.
- Evitar que se acumulen niveles de tensión peligrosas entre las estructuras de los equipos y el suelo.
- Mejorar el servicio de energía eléctrica en edificios y viviendas.
- Proteger los equipos y elementos eléctricos en situaciones de descarga atmosférica

3.19 Norma NEC-11

La Norma NEC-11 sección 14.2, hace énfasis a las características y especificaciones técnicas que debe cumplir los sistemas fotovoltaicos sean estos de tipo Off Grid libre de la red, así como de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, de hasta una potencia nominal de 100 kW la cual se encuentra establecida por la potencia del inversor, dichos sistemas son implementados para la generación de electricidad por medio energía renovable no convencional dentro del territorio nacional ecuatoriano.

Además, este reglamento permite establecer la estandarización y sobre todo promover la fabricación, instalación, así como su funcionamiento adecuado de sistemas fotovoltaicos. La norma NEC-11 además hace un énfasis a la descripción y especificaciones que deben cumplir los elementos fotovoltaicos como inversor, controlar, paneles y banco de baterías, así como su estructura de soporte, por otro lado, la Norma NEC-11 establece las especificaciones de

seccionamiento y protección. De la misma forma este reglamento establece la adecuada y correcta instalación eléctrica interna sea el caso de tipo residencial o comercial, la Norma NEC-11 sección 14.2 también establece los criterios y consideraciones técnicas para el diseño de sistemas fotovoltaicos. Finalmente, esta normativa establece especificaciones técnicas para la ubicación adecuada de sistemas fotovoltaicos, así como también presenta el cálculo de la demanda energética de SFVA aislados

3.20 Software PVsyst

Este software es uno de los más completos para la puesta en marcha de proyectos fotovoltaicos, ya que gracias a su interfaz permite el diseño y simulación de sistemas de tipo Off Grid y On Grid respectivamente, además de contar con una extensa variedad de datos geográficos de cualquier zona de estudio a nivel mundial, este tipo de software a más de contar con una interfaz optima y precisa, permite la configuración de los parámetros de cada uno de los proyectos a desarrollarse como la configuración, de datos meteorológicos, ubicación de la zona, así como los componentes del sistema como son, módulos fotovoltaicos, baterías, inversores, y la variación de los ángulos de inclinación y orientación de los paneles solares [34].

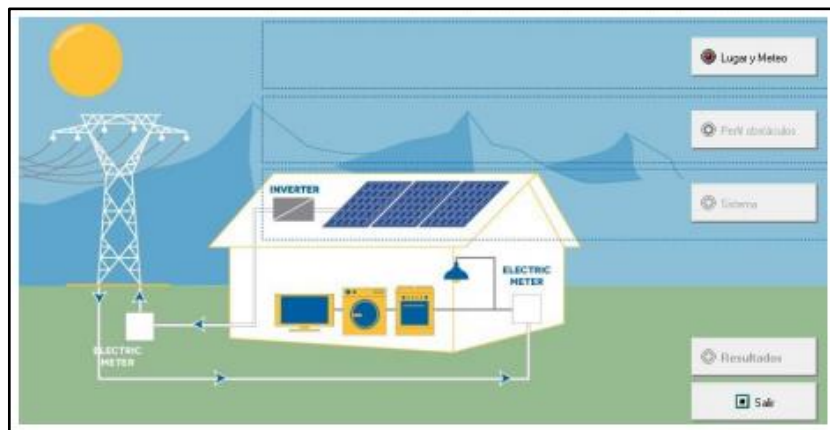


Figura 33. Software de diseño y simulación PVsyst [34].

3.21 Valor actual neto (VAN)

El Valor actual neto, es un indicador financiero en la cual determina si un proyecto sea este, pequeño, mediano o grande genere ganancias o pérdidas en un futuro cercano, este indicador establece dos parámetros los cuales son el tiempo y el dinero respectivamente, para el cálculo del VAN se suma todas las entradas y salidas de dinero que el proyecto pueda tener en los posteriores años futuros, dichas entradas y salidas serán actualizadas por medio de una tasa de actualización, si el valor del van es mayor a cero quiere decir que se acepta el proyecto ya que

tienen valores netos, por otro lado si es igual a cero se rechaza el proyecto ya que no tiene ni ganancias ni pérdidas, y finalmente si tiene resultados negativos existen pérdidas netas por lo cual se rechaza el proyecto [35]. A continuación, se representará adecuadamente la ecuación (5) para el cálculo del VAN:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} - K \quad (5)$$

3.22 Tasa interna de rentabilidad (TIR)

La tasa interna de rentabilidad (TIR) se enfoca principalmente en la comparación de esta tasa con la tasa de descuento o costo de oportunidad de capital, de esta forma se puede determinar adecuadamente si un proyecto es rentable o no, el cual si el valor de la TIR es mayor a la tasa de descuento se podría decir que el proyecto es aceptable, mientras que si el mismo es menor a dicha tasa quiere decir que no cumple las expectativas requeridas en aspectos de rentabilidad económica, por lo tanto no se acepta, por otro lado para poder tomar una decisión optima no es suficiente con determinar el TIR sino que además se debe determinar y realizar una comparación exhaustiva del VAN, la TIR y la TIRM, por lo cual cada uno de estos indicadores ofrecen una visión exacta y precisa del desempeño económico de un proyecto [36].

A continuación, se representará adecuadamente la ecuación (6) para el cálculo del TIR:

$$TIR \rightarrow \sum_{j=0}^N \left(\frac{D_j}{(1+\varphi)^j} \right) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{F_j}{(1+\varphi)^j} \right) \quad (6)$$

3.23 Relación beneficio inversión

Para el cálculo de la relación beneficio inversión primero se debe realizar una división del valor actual neto (VAN), entre el total de inversiones actualizadas que se han realizado en el transcurso de los años del proyecto, cuando la RBI es positiva quiere decir que el proyecto es viable lo cual produce beneficios netos, si un valor es igual a cero solo recupera lo que se ha invertido y un valor negativo significa que el proyecto no es factible [35].

A continuación, se representará adecuadamente la ecuación (7) para el cálculo del RBI:

$$RBI = \frac{VAN}{\left(\sum_{j=0}^N (D_j (1+i)^j) \right)} \quad (7)$$

3.24 FORMULAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Esta sección es de gran importancia para la adecuada operación del sistema fotovoltaico Off Grid, ya que permite determinar de forma correcta el número de elementos fotovoltaicos además permite dimensionar las características principales de los sistemas de proyección, así como las características adecuadas de los conductores, permitiendo de esta forma que el sistema trabaje en óptimas condiciones evitan el sobredimensionamiento o sub dimensionamiento del SF Off Grid.

3.24.1 Cálculo del consumo eléctrico

Para el cálculo del consumo eléctrico de la iglesia se considera la ecuación (1):

$$E = \frac{E_{m\acute{a}xima\ diaria}}{\eta_{inversor}} \quad (8)$$

Donde:

E = Energia efectiva

$E_{m\acute{a}xima\ diaria}$ = Consumo energético máximo

$\eta_{inversor}$ = Valor de la eficiencia del inversor

$$I_{m\acute{a}xima\ diaria} = \frac{E_{m\acute{a}xima\ diaria}}{V_{sistema}} \quad (9)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}xima\ diaria}$ = Intensidad pico diaria

$V_{sistema}$ = Nivel de tensión del SF

3.24.2 Cálculo de las baterías del sistema fotovoltaico

- **Numero de baterías en serie**

$$N_{BS} = \frac{V_{sistema}}{V_{bateria}} \quad (10)$$

Donde:

N_{BS} = Cantidad de baterías conectadas en serie

N_{BS} = Nivel de voltaje de la bateria

- **Numero de baterías en paralelo**

$$N_{BP} = \frac{I_{m\acute{a}xima\ diar\acute{a}} \cdot N}{DoD \cdot CB} \quad (11)$$

Donde:

N_{BP} = Cantidad de baterías conectadas en paralelo

N = Tiempo de autonomia

DoD = Limite de descarga

CB = Capacidad del sistema de almacenamiento

3.24.2.1 Cálculo de los módulos solares

- **Numero de paneles en paralelo**

$$N_{PP} = \frac{I_{m\acute{a}xima\ diar\acute{a}}}{HSP \cdot I_{nominal\ paneles}} \quad (12)$$

Donde:

N_{PP} = Cantidad de modulos conectadas en paralelo

HSP = Hora solar pico de la zona de estudio

$I_{nominal\ paneles}$ = Intensidad de corriente nominal del modulo

- **Numero de paneles en serie**

$$N_{PS} = \frac{V_{sistema}}{V_{panel}} \quad (13)$$

Donde:

N_{PS} = Cantidad de modulos conectadas en serie

V_{panel} = Nivel de tensión del modulo solar

3.24.2.2 Selección del controlador fotovoltaico

$$I_{m\acute{a}xima\ regulador} = N_{PP} \cdot I_{SC} \cdot FS \quad (14)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}xima\ regulador}$ = Intensidad de corriente máxima del controlador

I_{SC} = Corriente de cortocircuito del controlador

3.24.2.3 Selección del inversor fotovoltaico

$$P_{m\acute{a}xima\ inversor} = \frac{P_{m\acute{a}xima\ diaria} \cdot FS}{\eta_{inversor}} \quad (15)$$

Donde:

$P_{m\acute{a}xima\ inversor}$ = Potencia máxima requerida por el inversor

$P_{m\acute{a}xima\ diaria}$ = Potencia máxima diaria del sistema Off Grid

FS = Factor de seguridad par el inversor

3.24.2.4 Dimensionamiento de los conductores

Para determinar el dimensionamiento del conductor se consideran algunos requerimientos los cuales son la longitud de extremo a extremo, así como también la conductividad eléctrica del conductor y su caída de tensión correspondiente a la pérdida máxima permitida.

- Sección de conductor

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot \Delta U} (mm^2) \quad (16)$$

Donde:

S = Sección mínima de conductor

l = Longitud del conductor en metros

I = Corriente de diseño

k = Conductividad eléctrica del conductor

ΔU = Caída de tensión permitida

Para determinar la caída de tensión para las conexiones de cada una de los equipos fotovoltaicos, se considera la caída máxima permitida tal y como se observa en la tabla &3

Tabla 7. Caída de tensión máxima permitida.

Componentes y Elementos fotovoltaicos	% de caída de tensión permitida
Paneles solares- Controlador/Inversor	≤ 3%
Controlador - Baterías	≤ 2%

Inversor- Caja bypass	$\leq 3\%$
Caja bypass-Cargas	$\leq 3\%$
Caja bypass- Red Eléctrica	$\leq 3\%$

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Nivel de investigación del proyecto fotovoltaico

Investigación descriptiva

Esta investigación se adopta, ya que se describe la infraestructura eléctrica existente de la iglesia, las características y ubicación geográfica de la zona de estudio, así como las especificaciones técnicas de los componentes del sistema fotovoltaico.

Investigación Exploratorio

Se aplico un enfoque exploratorio para evaluar las diferentes tecnologías de los equipos fotovoltaicos como paneles, baterías, controladores, inversor, además por otro lado permite evaluar la factibilidad del proyecto en la zona de estudio, y los antecedentes históricos de proyectos fotovoltaicos idénticos en sectores rurales del Ecuador.

4.2 Tipos de investigación aplicadas al proyecto fotovoltaico

Investigación de Campo: Esta investigación fue aplicada, ya que se realizó visitas a la zona de estudio “iglesia evangélica”, una vez traslado al lugar se realizaron mediciones en las instalaciones de la iglesia, además se recopilaron datos como la potencia de cada elemento y el número cargas existentes

Investigación Documental: La investigación documental se fundamentó en el uso de normativas técnicas para la instalación del sistema fotovoltaico, así como las especificaciones técnicas de los equipos solares que serán considerados para el proyecto, y la revisión preliminar de artículos y documentos para el diseño del sistema.

Investigación Experimental: Se aplico un enfoque documental en la fase de dimensionamiento y puesta en marcha del proyecto, además en las pruebas de función del sistema fotovoltaico como son pruebas de carga y descarga de las baterías lo cual permite validar la autonomía del sistema fotovoltaico.

4.3 Aplicación de la normativa NEC (Capítulo 14) para el sistema fotovoltaico

Para el desarrollo del proyecto del sistema fotovoltaico en la iglesia Evangélica “Aliento de Vida” se consideró los criterios establecidos por la Norma NEC-11 Capítulo 14, tal y como se observa en la Tabla 8, con el objetivo de llevar adecuadamente los procesos y etapas del presente trabajo.

Tabla 8. Uso de la Norma NEC-11 Capítulo 14- Energías renovables desarrollo del proyecto.

Componente	Normativa	Aplicación de la normativa
Paneles fotovoltaicos	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para la selección de los paneles fotovoltaicos se tomaron los criterios establecidos en la Norma NEC-11 , Capítulo 14-Energías renovables, sección 14.2.4.1. y sus especificaciones en 14.2.4.1.1.
Baterías	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para la aplicación de las baterías del sistema fotovoltaico Off Grid, se tomó como referencia la Norma NEC-11 Capítulo 14, numeral 14.2.4.1.2. y sus especificaciones en 14.2.4.1.2.1.
Controlador	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	El controlador del sistema fotovoltaico fue seleccionado acorde a lo establecido en la Norma NEC-11 , Capítulo 14, sección 14.2.4.1.2. y sus especificaciones en 14.2.4.1.2.2.
Inversor	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	El inversor del sistema fotovoltaico fue determinado conforme a Normativa NEC-11 literal 1.4.2.4.2. cumpliendo acorde con las especificaciones técnicas de la sección 14.2.4.2.1.
Instalaciones internas	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para las instalaciones internas de la iglesia evangélica se tomó como referencia la Norma NEC-11 Capítulo 14, específicamente la sección 14.2.4.8.2.
Estructura de soporte	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para el diseño y fabricación de la estructura del sistema fotovoltaico se estableció, en base a la Norma NEC-11 Capítulo 14, sección 14.2.4.4. y la sección 14.2.4.4.2. para sus especificaciones correspondientes.
Elementos de protección y seccionamiento	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Las protección y seccionamiento del sistema fotovoltaico fue seleccionado conforme a la Normativa NEC-11 cumpliendo acorde con las especificaciones técnicas de la sección 14.2.4.5.2.

Tablero Eléctrico	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	El tablero del sistema fotovoltaico fue establecido en base a la Norma NEC-11 Capítulo 14- Energías renovables literal 14.2.4.6. sus especificaciones en la sección 14.2.4.6.2
Diagrama de conexión e identificación	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para el diagrama de conexión e identificación se tomó como referencia la Norma NEC-11 Capítulo 14 el cual establece las especificaciones técnicas en la sección 14.2.4.9. ítem (a) y (b).
Equipamiento (Cargas Eléctricas)	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	El equipamiento (Cargas Eléctricas) del sistema fotovoltaico se realizó en conformidad en cumplimiento a la Norma NEC-11 Capítulo 14 específicamente la sección 14.2.4.10.1. el cual establece los requerimientos técnicos y de fabricación para el sistema de iluminación en general.
Diseño del sistema fotovoltaico	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para lo que respecta el diseño del sistema fotovoltaico fue llevada a cabo conforme a la Norma NEC-11 Capítulo 14, en el cual establece los criterios, así como las consideraciones técnicas para el diseño de sistemas fotovoltaicos en la sección 14.2.6.2.
Ubicación del sistema fotovoltaico	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	Para la ubicación del sistema fotovoltaico de la iglesia evangélica, se tomaron como referencia las disposiciones emitidas por la Norma NEC-11 Capítulo 14, numeral 14.2.6.2.2.
Dimensionamiento	Norma NEC-11 (Capítulo 14)	El dimensionamiento del sistema fotovoltaico se realizó en cumplimiento conforme a la Norma NEC-11 , Capítulo 14, sección 14.2.7.1 y sección 14.2.7.1.1

4.4 Sistema de posicionamiento global (Google Earth)

Este proyecto de gran interés, empieza por los requerimientos energéticos en el aspecto de iluminación externa de la iglesia evangélica de la comunidad de Alpamagal, además de que la zona cuenta con una gran cantidad de recurso solar siendo factible la implementación de un sistema fotovoltaico aislado (Off Grid). En la Figura 34. se presenta de mejor manera la ubicación exacta en donde se llevará el presente proyecto, esto mediante el servicio de mapeo en línea “Google Maps”.



Figura 34. Ubicación del lugar para la implementación del sistema Off Grid.

La Tabla 9 muestra la dirección exacta de la iglesia evangélica Aliento de Vida, indicando su respectiva latitud y longitud de la zona de estudio donde se llevará a cabo la implementación del sistema fotovoltaico Off Grid, este sitio se localiza en un área con alto nivel de recurso solar, lo que contribuye positivamente la eficiencia del sistema, además la comunidad forma parte del cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.

Tabla 9. Ubicación de la iglesia evangélica Aliento de Vida.

Iglesia Evangélica Aliento de Vida	Ciudad	Pujilí
	Dirección	Rafael Villacis vía la Merced
	Latitud	-1.0484
	Longitud	-78.6673

4.5 Irradiancia diaria solar promedio

A continuación, la Tabla 10 se representa los resultados del promedio de la irradiancia solar global diaria, considerando cada uno de los meses del año 2024 los cuales se obtuvieron mediante el uso de la página NASA POWER DAV.

Tabla 10. Datos de Irradiancia diaria promedio año 2024.

Horas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	15,3	9,9	8,56	14,65	32,56	70,67	32,12	19,43	19,54	49,19	54,32	29,54
7	128,97	224,5	108,13	110,54	202,43	222,34	164,43	120,54	139,65	210,54	328,01	210,63
8	289,78	263,1	244,43	250,62	450,43	476,54	307,81	289,54	303,43	333,43	567,4	356,44
9	421,84	280,65	275,45	310,40	550,10	664,32	475,43	370,1	404,13	487,1	733,33	490,22
10	497,06	374,33	355,71	520,76	503,12	704,10	590,31	419,73	453,14	654,23	798,45	555,51
11	553,84	505,45	495,83	510,54	630,23	799,43	583,14	510,43	506,42	703,13	840,53	600,66
12	541,39	530,5	384,32	465,43	530,91	804,04	660,54	399,54	500,21	605,43	810,1	566,82
13	496,8	564,1	410,34	430,12	498,15	881,32	537,43	344,44	510,43	505,43	555,01	442,13
14	416,31	237,65	225,55	260,90	399,54	664,32	464,31	288,54	373,53	403,54	440,65	295,54
15	323,48	127,64	125,23	309,54	378,65	555,43	355,43	200,13	199,45	345,44	290,61	210,1
16	204,53	423,54	99,45	140,65	191,54	330,76	220,10	201,43	120,54	199,93	165,13	122,22
17	84,77	154,65	26,45	101,12	95,65	110,43	0,00	38,53	40,54	43,13	29,65	24,14
18	5,67	0,0	3,79	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

4.5.1 Parámetros ambientales de la zona de estudio

Los parámetros ambientales son fundamentales para identificar las condiciones climáticas de un lugar o zona de estudio, tal es el caso de la Iglesia Evangélica “Aliento de Vida”, los gráficos y tablas que a continuación se presentaran, sirven de guía para identificar de mejor manera los recursos ambientales disponibles que cuenta San José de Alpalag.

En la Figura 35. se puede observar los datos recopilados de radiación solar promedio de los 12 meses del año 2024, los cuales se encuentran en unidad de kWh/m².

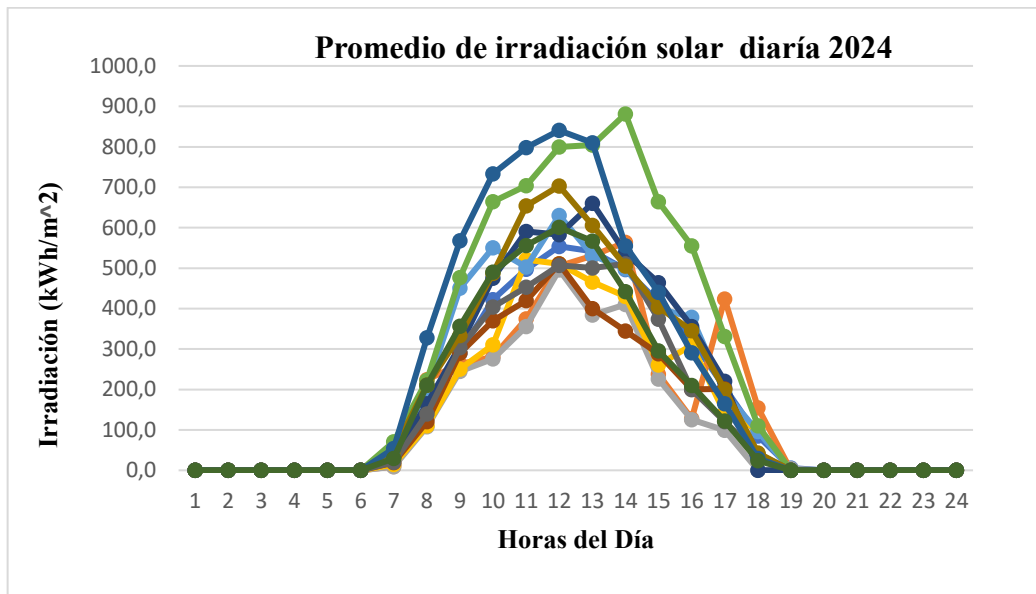


Figura 35. Irradiación solar promedio por hora 2024.

En la Figura 36. se muestra la variación de irradiación global en superficie horizontal, el cual mediante los datos obtenidos se puede evidenciar el punto crítico con la irradiación más baja, siendo, el mes de marzo del año 2024 con una irradiación de 110,57 kWh/m² respectivamente.

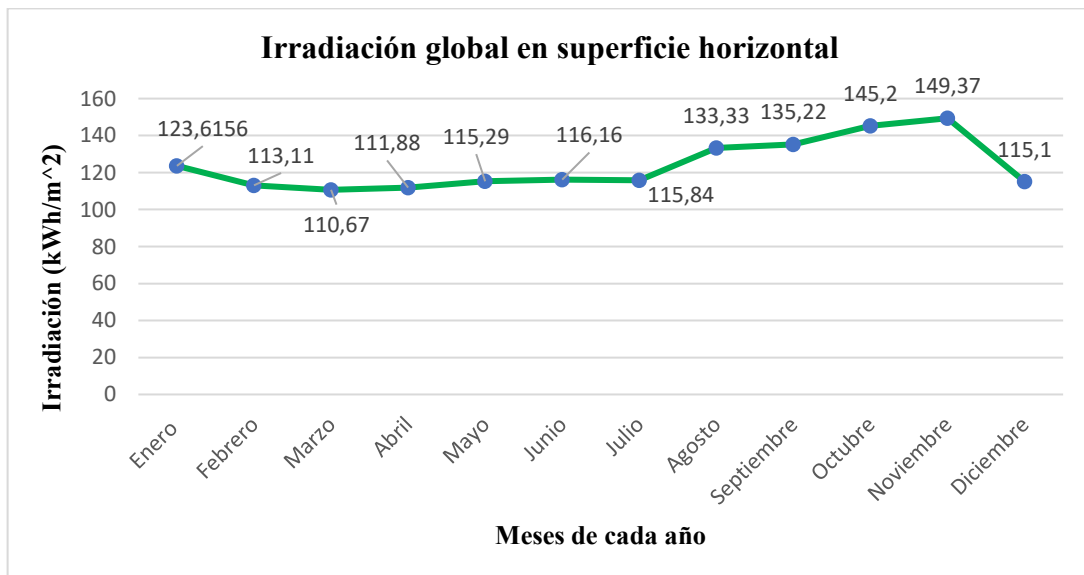


Figura 36. Irradiación global en superficie horizontal.

En la Figura 37. se aprecia la recopilación de datos históricos de hora solar pico (HSP) de los últimos cinco años, mismos que se encuentran en unidades de $kWh/(m^2 * día)$ para obtener la HSP se considera el punto más crítico de cada año en este caso del periodo 2020 a 2025.

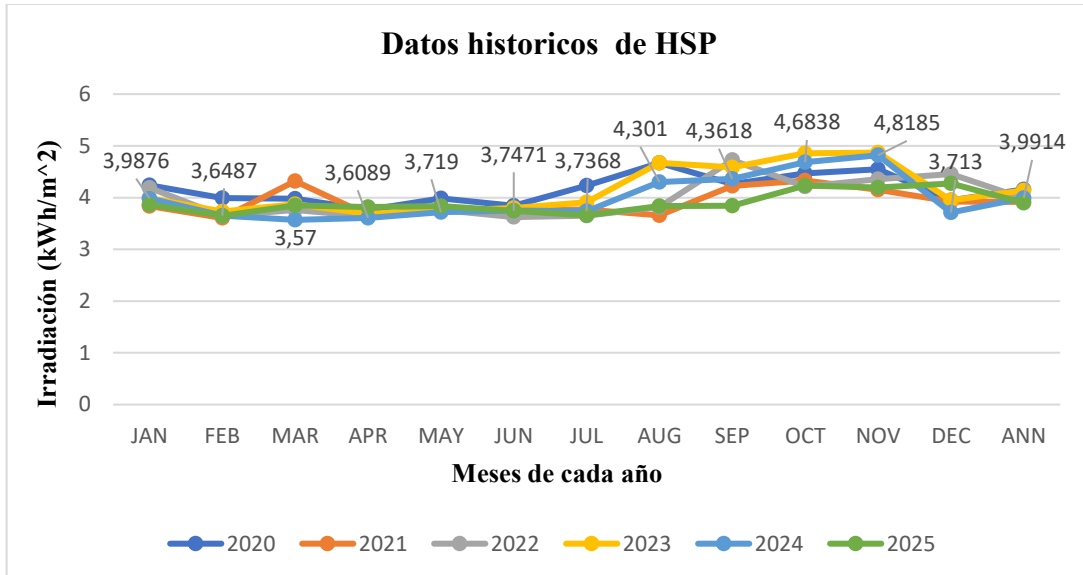


Figura 37. Hosa solar pico periodo 2020-2025.

Los tipos de irradiación solar sea el caso (directa, difusa o global), cada una cumple un rol fundamental ya que dichos datos permiten determinar, cuanta energía solar puede producir los módulos solares en un proyecto fotovoltaico, además al no considerar este dato podría afectar al dimensionamiento, ubicación y funcionabilidad del sistema en un futuro. En la Figura 38. se muestra los diferentes valores de irradiación solar, tanto directa, difusa y global existentes en la comunidad San José de Alpamalag del cantón Pujilí provincia de Cotopaxi.

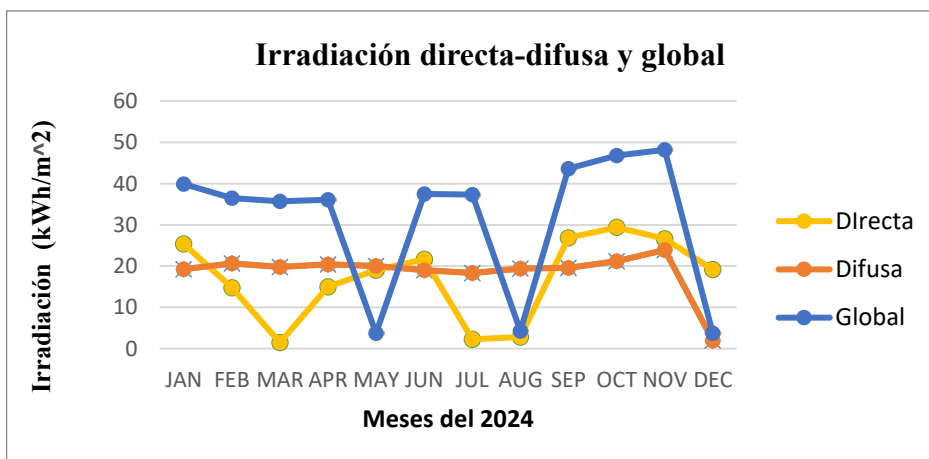


Figura 38. Irradiación solar Directa, Difusa y Global.

Posteriormente en la Figura 39. se observa un histograma en 3D, con los valores de irradiación solar, Global, Directa, y Difusa, los cuales se encuentran establecidos en unidad de (W/m^2).

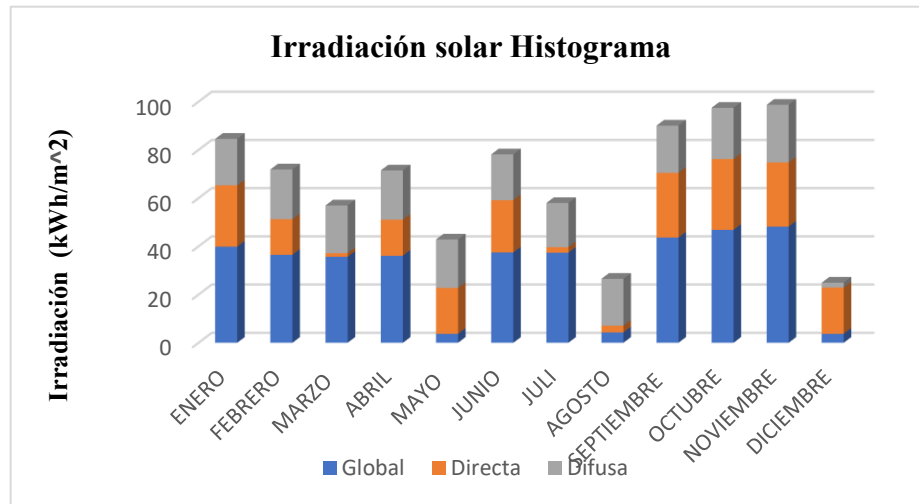


Figura 39. Histograma de radiación solar Directa, Difusa y Global.

En la Figura 40. se aprecia los valores de temperatura en grados celsius, situados en la comunidad San José de Alpamalag, en primera instancia se puede constatar que los meses de junio, julio, agosto, septiembre y noviembre, tienen un rango de temperatura menor a los 12 C°, por otro lado, los demás meses correspondientes al año de estudio, mantienen temperaturas iguales o mayores a los 12 C°, pero sin superar los 14 C°.

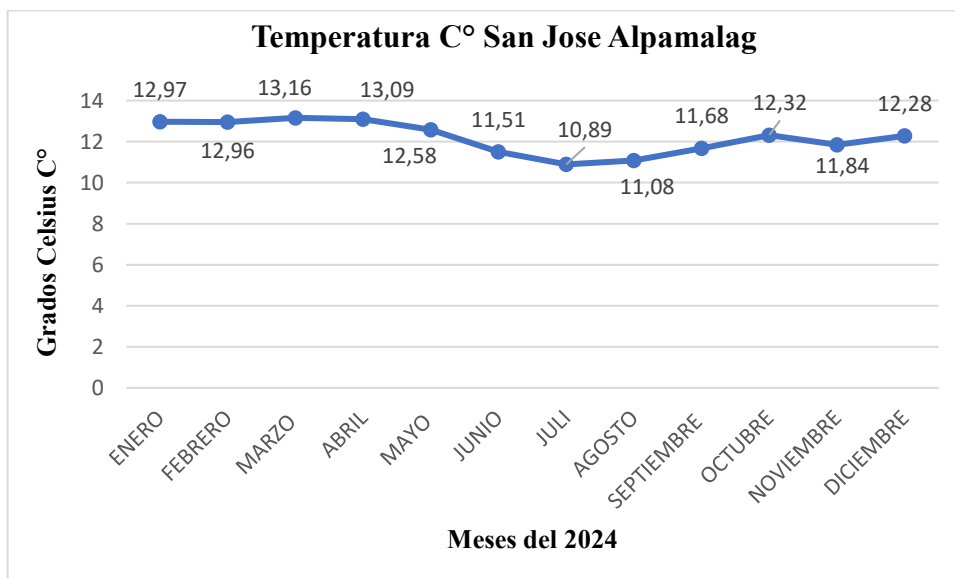


Figura 40. Niveles de temperatura en grados C° 2024.

En la Figura 41. se muestra un histograma diseñado en 3D de los valores de temperatura en grados C° que se encuentran situados en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

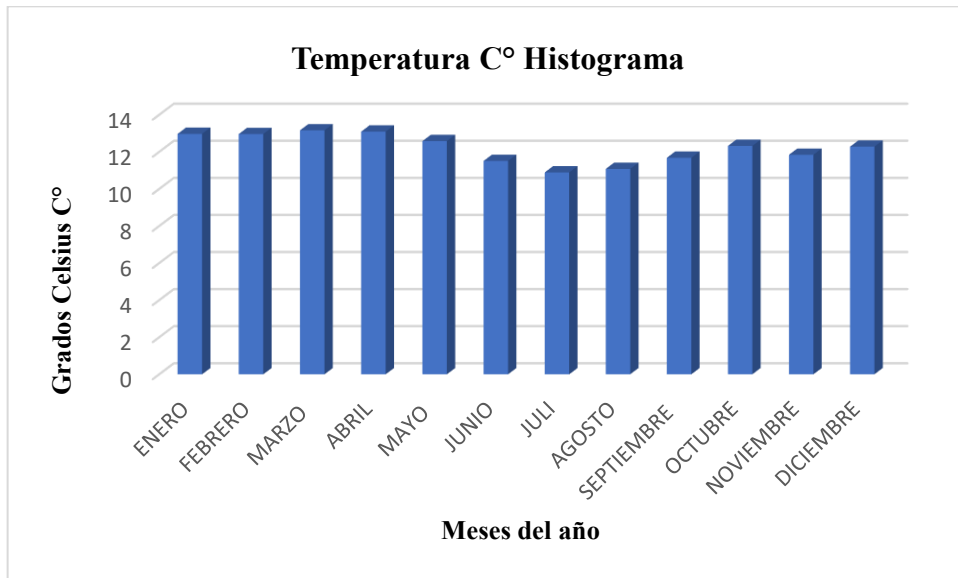


Figura 41. Histograma de variación de niveles de temperatura.

4.5.2 Hora solar pico en Alpamalag

En la Figura 42. se muestra el valor de HSP del año 2024, correspondiente al mes de marzo, dando un valor de 3,57 kWh/m²/day, para obtener este valor mediante cálculos matemáticos, se determina mediante la obtención de la irradiación global horizontal mensual $H_i(m)$, misma que se debe transformar de valores mensuales para luego convertirlos en valores promedios diarios, y así se obtendrá el valor de HSP, este parámetro es de gran importancia ya que permite dimensionar adecuadamente el sistema solar fotovoltaico Off Grid.

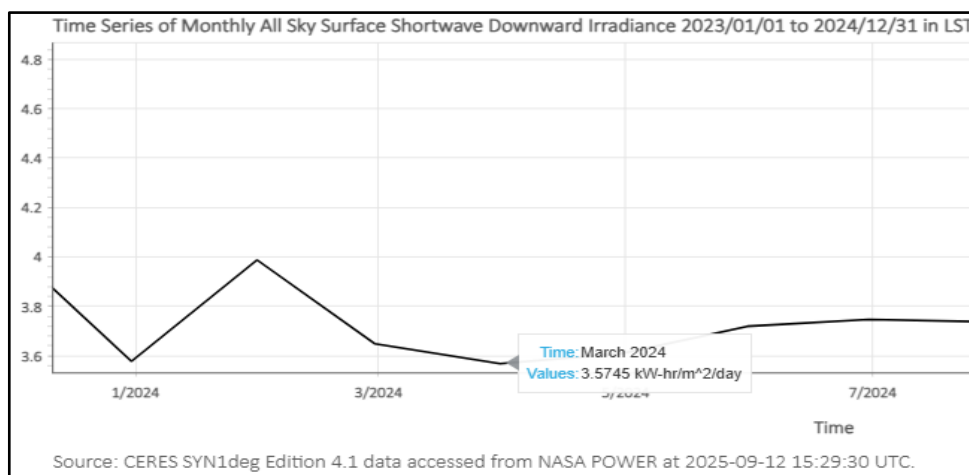


Figura 42. Valor de HSP obtenido mediante el software NASA POWER/DAV.

Tabla 11. Datos recopilados de irradiación Global Horizontal ($kWh/m^2 \cdot dia$).

Mes	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Enero	131,39	118,94	129,87	123,70	123,61	119,78
Febrero	123,70	111,76	113,06	115,73	113,11	113,07
Marzo	123,29	133,95	116,65	120,03	110,67	119,33
Abril	116,68	113,64	112,66	114,35	111,88	118,34
Mayo	123,50	117,08	116,70	116,08	115,29	118,93
Junio	119,05	116,68	112,31	117,81	116,16	116,03
Julio	131,22	116,76	113,26	121,19	115,84	113,28
Agosto	144,79	113,32	118,37	144,83	133,33	118,88
Septiembre	132,22	131,09	146,46	142,12	135,22	119,17
Octubre	138,49	134,22	130,68	150,63	145,20	131,20
Noviembre	141,06	128,76	135,12	150,93	149,37	130,02
Diciembre	122,30	121,69	138,11	122,37	115,10	132,46

Para el cálculo de la HSP se considera en primer lugar el valor de la irradiación global en superficie horizontal, la misma que se encuentra en unidades de $Kwh/m^2 \cdot dia$ respectivamente, cabe recalcar que se considera el mes con menor radiación solar generada en todo el periodo del año de estudio, por lo cual para el proyecto del sistema fotovoltaico Off Grid se considera un valor de $110,67 kWh/m^2 \cdot dia$. El primer paso que se realiza para el cálculo de la HSP es convertir en unidad de KWh/m^2 a Wh/m^2 , el valor obtenido de irradiación solar global.

$$Hi(m) = 110,67 kWh/m^2 \text{ a } Wh/m^2$$

$$\text{Marzo} = 31 \text{ Días } 110,67 kWh/m^2$$

$$Hi(m) = 110,67 \frac{kWh}{m^2} \cdot 1000 = 110670 Wh/m^2$$

Posteriormente el valor de $110670 wh/m^2$ lo divide para el numero total de los días del mes asignado, lo cual obtenemos de la siguiente manera:

$$Hi(d) = \frac{Hi(m)}{N_d} \quad (17)$$

$$Hi(d) = \frac{110670 Wh/m^2}{31} = 3570 \frac{Wh}{m^2} \cdot dia$$

El valor de la HSP será:

$$HSP = \frac{Hi(d)}{G_{ref}} = \frac{3570 Wh/m^2}{1000W/m^2} = 3,57 h$$

4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.7 Cálculo de la demanda eléctrica requerida

El diseño del sistema fotovoltaico se apoya en el estudio específico de la demanda energética que se necesita para la iluminación de la Iglesia Evangélica y el dimensionamiento idóneo de los equipos y sus componentes. Seguidamente se detalla los cálculos y las pautas ocupadas para determinar la eficiencia técnica apropiada para la generación, almacenamiento y conversión de energía.

4.7.1 Demanda total de la iglesia evangélica (consumo considerado en Wh/día)

Para calcular la demanda eléctrica que la iluminación interna y externa de la iglesia requiere, se llevó a cabo un levantamiento de carga, tomando en cuenta su potencia nominal (W), la cantidad y el número de horas diarias de funcionamiento, y adicionalmente se considera también un tomacorriente.

Para obtener el consumo de la energía diaria que se mide en Wh/día que indica el valor necesario para que el equipo funcione en una etapa completa, se lo realiza al multiplicar la carga nominal de cada equipo por el tiempo estimando que estará en funcionamiento durante el día, se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo Diario} = P(W) \cdot \text{horas} \quad (18)$$

En la siguiente Tabla 12 se muestra las cargas existentes de la iglesia evangélica:

Tabla 12. Levantamiento de cargas de la iglesia evangélica.

LEVANTAMIENTO DE CARGAS								
Circuito	voltaje de operación	Potencia	Cantidad	potencia total	horas de uso al día	Factor de utilización	Energía	
		W	u.	W	h	fu	Wh/día	
C1	Focos Led internas	127	27	9	243	3	729	
	Luces decorativas	127	4,5	4	18	3	54	
	Fluorescente (Tubos)	127	40	2	80	3	240	
C2	Focos Led externas	127	9	12	108	12	1296	
Sistema de fuerza								
C3	Tomacorriente	127	400	1	400	3	0,5	600
Total					849		2919	

Es de vital importancia considerar el factor de seguridad para los sistemas FV este permite compensar posibles pérdidas o aumento de carga para la operación real del sistema, sino se considera puede verse afectado la eficiencia del panel FV por temperatura, suciedad, envejecimiento, pérdidas en los conductores y en el inversor. Añadir este factor del 20% permite que el sistema cumpla con la demanda energética hasta en las condiciones menos favorables.

Aplicando el factor de seguridad del 20%, el consumo requerido de energía total diaria es de 3502,80 Wh/día. Con una carga instalada de 849 W para el dimensionamiento de los equipos y componente del sistema.

4.7.2 Voltajes de operación

Tabla 13. Características de voltajes que opera el sistema FV.

Nivel del sistema	Tipo de corriente	Voltaje nominal	Rango de operación	Función principal
Lado fotovoltaico / baterías	Corriente continua (DC)	12 V	11,5 V – 14,4 V	Generación, regulación y almacenamiento de energía
Salida del inversor	Corriente alterna (AC)	110 V	105 V – 120 V	Alimentación de equipos eléctricos y cargas finales

4.7.3 Cálculo de las baterías

Una vez determinado la demanda del sistema de iluminación interna y externa, así como el sistema de fuerza de la iglesia, se procede a dimensionar el banco de baterías del sistema fotovoltaico, ya que el principal objetivo de este proyecto es el almacenamiento de energía considerando los días de autonomía del sistema, de la misma forma el nivel de descarga de la batería de Gel será de un 50%, asegurando la vida útil de la batería y el adecuado funcionamiento.

La capacidad del banco de baterías se obtiene empleando la siguiente ecuación (19) :

$$capacidad\ requerida = \frac{demanda \cdot dia\ de\ autonomia}{voltaje\ del\ sistema \cdot \eta_{bateria}} \quad (19)$$

$$capacidad\ requerida = \frac{3502,80 \cdot 1}{12 \cdot 0,9} = 324,33\ Ah$$

Seguido del cálculo de la capacidad requerida, calculamos el número específico de baterías que necesita para el funcionamiento del sistema FV.

$$\# \text{ de batería} = \frac{\text{cap. requerida}}{\text{Ah de la batería elegida}} \quad (20)$$

$$\# \text{ de batería} = \frac{324,33 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} = 1,62$$

$$\text{numero de baterías} = 2 \text{ unidades}$$

Para satisfacer la demanda de energía requerida para la iluminación de la iglesia evangélica se utilizará 2 baterías de 12V a 200Ah con conexión en paralelo.

4.7.4 Cálculo de los módulos fotovoltaicos

Potencia fotovoltaica

Con la ecuación (21) indicada se determina la potencia solar fotovoltaica:

$$PSFV = \frac{E_{diaria}}{HSP} \cdot 1000 \quad (21)$$

Donde:

$PSFV$ = potencia fotovoltaica

HSP = hora solar pico

E_{diaria} = diaria consumo o demanda de la energía

$$PSFV = \frac{3502,8 \text{ Wh}}{3,57 \text{ h}} = 981,17 \text{ W}$$

Este valor de 981,17 W de potencia fotovoltaica hacer referencia la cuota de energía que debe producir un panel solar para cubrir la demanda energética requerida.

4.7.5 Cálculo de la cantidad de paneles solares

Para estipular el número específico de paneles solares se llevó a cabo el cálculo considerando el valor de la potencia fotovoltaica que ya se definió dividido por la potencia del panel de acuerdo a la ecuación (22) cuyo valor es necesaria para cubrir la demanda requerida de los 3529,35 Wh/día por la Iglesia Evangélica de San José de Alpamal.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{PSFV}{P_p} \quad (22)$$

Donde:

$PSFV$ = potencia fotovoltaica

P_p = potencia del panel

Antes del cálculo definimos la potencia nominal de 610 W del panel a utilizar. Entonces:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{981,17 \text{ W}}{610 \text{ W}} = 1,60 \text{ unidades}$$

$$N_{\text{paneles}} = 2 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, el número específico de paneles solares que se necesita para cubrir dicha demanda energética son 2 de 610 W considerando la HSP de 3,57 horas.

4.7.5.1 Cálculo del Angulo de inclinación

Para la instalación de los módulos fotovoltaicos es necesario considerar el cálculo del ángulo de inclinación al que se va ubicarlos para esto se consideró la ecuación (23). Este análisis tiene como propósito aprovechar al máximo la recolección de energía solar.

Este cálculo se fundamenta en los datos de irradiación solar de PVGIS considerando la latitud y longitud en donde se ubica la iglesia evangélica.

Latitud: -1.0483685210407916 **longitud:** -78.66767939568551

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\varnothing| \quad (23)$$

Donde:

β = ángulo de inclinación ideal

$|\varnothing|$ = latitud geográfica del lugar

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |1.0483685210407916|$$

$$\beta_{opt} = 4,42^\circ$$

Aunque en el análisis del ángulo de inclinación óptimo, basado en la ubicación geográfica de la iglesia evangélica arroja un valor de $4,42^\circ$ en el trabajo de campo se obtuvo una inclinación de 18° con base en criterios operativos, constructivos y de mantenimiento. Dicha inclinación del ángulo permite una mejor evacuación del agua lluvia y limpieza por acumulación de polvo tal y como se observa en la Figura 43.



Figura 43. Inclinación de los módulos fotovoltaicos.

4.7.6 Selección del controlador de carga

Determinar la capacidad del controlador de carga es parte importante pues este equipo actúa como una protección del sistema FV, verificando la energía que llega desde los módulos solares hacia las baterías.

Para el cálculo del regulador se emplea la siguiente ecuación (24) :

$$I_{controlador} = I_{SC} \cdot N_{Paneles} \cdot FS \quad (24)$$

Donde:

$I_{controlador}$ = corriente del controlador

I_{SC} = corriente de cortocircuito de los módulos FV

$N_{paneles}$ = numero de paneles solares

$$I_{controlador} = 16,05 \cdot 2 \cdot 1,2$$

$$I_{controlador} = 38,52 A \approx 40A$$

Del cálculo obtenido podemos evidenciar que la capacidad del regulador requerido, es de 38,52A, sin embargo, para el proyecto fotovoltaico se opta por poner de una capacidad de 40A, siguiendo las buenas prácticas de ingeniería y atendiendo a la disponibilidad comercial del equipo.

4.7.7 Selección del inversor

Determinar correctamente la capacidad del inversor es la base de todo el sistema FV porque este equipo es el encargado de transformar la energía almacenada en las baterías o la que se genera de los paneles solares para la operación de los aparatos eléctricos. La selección del inversor debe ser capaz de soportar la potencia nominal correspondiente a la demanda del sistema de iluminación de la iglesia evangélica, generalmente se elige un inversor con capacidad superior a la requerida para garantizar la operación eficiente.

$$P_{Inversor} = \frac{P_{instalada} \cdot FS}{\eta_{inversor}} \quad (25)$$

$$P_{Inversor} = \frac{849 \cdot 1,2}{0,95} = 1072,42 \approx 2000 \text{ W}$$

Por ello se ha determinado que, de acuerdo a la potencia de demanda para el sistema de iluminación de la iglesia, se opta por usar un inversor de la capacidad de 2000 W.

4.7.8 Cálculo del calibre de conductor

4.7.8.1 Dimensionamiento del calibre del conductor desde el módulo fotovoltaico hasta el controlador MPPT

Para los cálculos de dimensionamiento del conductor se considera el valor de I_{sc} total de del panel solar que es de 32,1 A respectivamente.

- Corriente de diseño

$$I_{diseño} = 125\% \cdot I_{sc \text{ total}} \quad (26)$$

$$I_{diseño} = 1,25 \cdot 32,1 \text{ A} = 40,12 \text{ A}$$

- Caída de tensión permitida del 3%

$$U = 39,77 \text{ V} \cdot 0,03$$

$$U = 1,19 \text{ V}$$

- Sección del conductor

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot U} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (27)$$

$$S = 2 \cdot \frac{4,5 \text{ m} \cdot 40,12 \text{ A}}{56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2 \cdot 1,19} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$S = 5,41 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Por ende, mediante los cálculos correspondientes se determinó un valor de sección del cable de $5,41 \text{ mm}^2$ lo cual equivale aún calibre de conductor 10 AWG que va desde el panel fotovoltaico al controlador MPPT.

4.7.8.2 Dimensionamiento del calibre del conductor desde el controlador MPPT hasta las baterías de Gel

El calibre del conductor para las conexiones que van desde el controlador MPPT hasta las baterías de 12V se considera una caída máxima de tensión del 2% además se toma en cuenta la resistividad del cobre de $0,0175 \Omega * \text{mm}^2/\text{m}$.

- Corriente de diseño

$$I_{\text{diseño}} = 125\% \cdot I_{\text{controlador}} \quad (28)$$

$$I_{\text{diseño}} = 1,25 \cdot 40 \text{ A} = 50 \text{ A}$$

- Caída de tensión permitida del 2%

$$U = 12 \text{ V} \cdot 0,02$$

$$U = 0,24 \text{ V}$$

- Sección del conductor

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot U} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (29)$$

$$S = 2 \cdot \frac{1 \text{ m} \cdot 50 \text{ A}}{56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2 * 0,24 \text{ V}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$S = 7,44 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Mediante los cálculos correspondientes se determinó un valor de sección del cable de 7,44 mm² lo cual equivale a un calibre de conductor 8 AWG, pero para mayor seguridad y protección de los equipos y del mismo personal se consideró calibre de conductor 6 AWG.

4.7.8.3 Dimensionamiento del calibre del conductor desde el inversor hasta caja bypass

El calibre del conductor para las conexiones que van desde el inversor hasta la caja bypass se considera una caída máxima de tensión del 3% respectivamente.

- Corriente nominal del inversor

$$I_{nominal} = \frac{P_{inversor}}{V_{salida\ inversor}} \quad (30)$$

$$I_{nominal} = \frac{2000\ W}{127\ V} = 15,74\ A$$

- Corriente de diseño

$$I_{diseño} = 125\% \cdot I_{nominal}$$

$$I_{diseño} = 1,25 \cdot 15,74\ A = 19,68\ A$$

- Caída de tensión permitida del 3%

$$U = 127\ V \cdot 0,03$$

$$U = 3,81\ V$$

- Sección del conductor

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot U} \quad (mm^2) \quad (31)$$

$$S = 2 * \frac{1\ m \cdot 19,68\ A}{56\ m/\Omega mm^2 \cdot 3,81\ V} \quad (mm^2)$$

$$S = 0,18 \quad (mm^2)$$

El valor de la sección del conductor de 0,18 (mm²) no condiciona el dimensionamiento del cable, para la selección del conductor se considera la corriente de diseño calculada de 19,68 A el cual establece un calibre 8 AWG, de esta forma permite cumplir los criterios de seguridad, además garantizando el funcionamiento adecuado del sistema.

4.7.8.4 Dimensionamiento del calibre del conductor desde la caja bypass hasta las cargas

El calibre del conductor para las conexiones que van desde la caja bypass hasta las cargas se considera una caída máxima de tensión del 3% respectivamente.

- Corriente nominal

$$I_{nominal} = \frac{P_{instalada}}{V_{AC}} \quad (32)$$

$$I_{nominal} = \frac{849 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 6,68 \text{ A}$$

- Corriente de diseño

$$I_{diseño} = 125\% \cdot I_{nominal}$$

$$I_{diseño} = 1,25 \cdot 6,68 \text{ A} = 8,35 \text{ A}$$

- Caída de tensión permitida del 3%

$$U = 127 \text{ V} \cdot 0,03$$

$$U = 3,81 \text{ V}$$

- Sección del conductor

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot U} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (33)$$

$$S = \frac{100 \text{ m} \cdot 6,68 \text{ A}}{56 \text{ m}/\Omega \text{mm}^2 \cdot 3,81 \text{ V}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$S = 3,13 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Mediante los cálculos correspondientes se determinó un valor de sección del cable de 3,13 mm² lo cual equivale a un calibre de conductor 12 AWG de tipo flexible, para las conexiones correspondientes de las cargas tanto de iluminación interna, externa y toma corriente del sistema.

4.7.8.5 Dimensionamiento del calibre del conductor desde la caja bypass hasta la red

El calibre del conductor para las conexiones que van desde la caja bypass hasta la red se considera una caída máxima de tensión del 3% respectivamente.

- Corriente nominal

$$I_{nominal} = \frac{P_{instalada}}{V_{AC}} \quad (34)$$

$$I_{nominal} = \frac{849 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 6,68 \text{ A}$$

- Corriente de diseño

$$I_{diseño} = 125\% \cdot I_{nominal}$$

$$I_{diseño} = 1,25 \cdot 6,68 \text{ A} = 8,35 \text{ A}$$

- Caída de tensión permitida del 3%

$$U = 127 \text{ V} \cdot 0,03$$

$$U = 3,81 \text{ V}$$

- Sección del conductor

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot U} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (35)$$

$$S = \frac{100 \text{ m} \cdot 6,68 \text{ A}}{56 \text{ m}/\Omega \text{mm}^2 \cdot 3,81 \text{ V}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$S = 3,13 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Aunque los cálculos obtenidos por caída de tensión nos dan una sección de 3,13 mm² equivalente a un conductor 12 AWG, para evitar menores caídas de tensión, además de prestar mayor nivel de seguridad tanto en los componentes como en la instalación del sistema fotovoltaico se ha optado por seleccionar un conductor de sección 5,41 mm² es decir 10 AWG.

4.7.9 Cálculo de las protecciones

4.7.9.1 Dimensionamiento de la protección para el módulo solar

Para el cálculo de la corriente total se considera el arreglo en paralelo de los paneles de 610 W cada uno, en donde el voltaje se mantiene, pero las corrientes se suman respectivamente.

$$I_{total} = I_{sc1} + I_{sc2} \quad (36)$$

$$I_{total} = 16,05 \text{ A} + 16,05 \text{ A}$$

$$I_{total} = 32,10 A$$

- Voltaje V_{oc} es de:

$$V_{oc} = 48,10 V$$

- Entonces la corriente de protección será de:

$$I_{protección} = I_{total} \cdot 1,25 \cdot 1,25$$

$$I_{protección} = 32,10 A \cdot 1,56$$

$$I_{protección} = 50,07 A \approx 63 A$$

- Protección individual de paneles

$$I_{protección\ ind} = 16,05 \cdot 1,56$$

$$I_{protección\ ind} = 25,4 \approx 30 A$$

Para la protección del módulo solar se considera un breaker general (DC) de 63 A, para la salida del arreglo en paralelo, además para la protección individual de cada panel se opta por considerar dos breakeres de 30 A.

4.7.9.2 Dimensionamiento de la protección del inversor a la batería

- Capacidad total de baterías

$$C_{total} = C_{bateria1\ Ah} + C_{bateria2\ Ah} \quad (37)$$

$$C_{total} = 200 Ah + 200 Ah = 400 Ah$$

- Energía total del banco de baterías

$$E_{total} = 12V \cdot 400 Ah = 4800 Wh$$

Para la batería de gel se considera un máximo del 50% de su uso, lo cual se tendrá una energía real utilizable de:

$$E_{real} = 4800 Wh \cdot 0,50 = 2400 Wh$$

- Corriente real del inversor con una eficiencia del 90%

$$P_{real} = \frac{2000 W}{0,9} = 2222 W$$

$$I_{máxima} = \frac{2222 W}{12 V} = 185,16 A$$

- Entonces la corriente de protección con un factor de seguridad de 1,25 es:

$$I_{protección} = 1,25 \cdot 185,16 A$$

$$I_{protección} = 231,45 A$$

Con lo que respecta a las baterías se considera un breaker de 250A, con el propósito de salvaguardar la integridad del sistema fotovoltaico ante posibles riesgos eléctricos como sobre corrientes o sobrecargas.

4.7.9.3 Dimensionamiento de la protección del inversor a la carga

Para el cálculo de la protección que va desde el inversor hacia las cargas se debe considerar el nivel de tensión de salida el cual es de 110/220V respectivamente, así como la potencia del equipo (inversor).

- Corriente de salida del inversor

$$I = \frac{P_{inversor}}{V_{salida,inversor}} = 8,02 A$$

$$I = \frac{2000 W}{110 V} = 18,18 A$$

- Aplicando factor de seguridad 1,25 se tiene:

$$I_p = 1,25 \cdot 18,18 A$$

$$I_p = 22,72 A$$

Para la protección que va desde el inversor hacia la carga se consideró un interruptor termomagnético de una capacidad de 25 A respectivamente, para precautelar la integridad del inversor ante posibles fallas eléctricas.

4.7.9.4 Dimensionamiento de la protección para las cargas

En este apartado se considera la protección de las cargas del sistema las cuales son iluminación interna, externa y toma corrientes, en el cual cada una contará con su respectiva protección.

Iluminación interna C1

$$P_{total,C1} = 243 \text{ watts} + 18 \text{ watts} + 80 \text{ watts}$$

$$P_{total,C1} = 341 W$$

- Corriente iluminación C1

$$I_{C1} = \frac{341 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 2,69 \text{ A}$$

- Protección para iluminación C1

$$I_{protección} = 1,25 \cdot 2,69 \text{ A}$$

$$I_{protección} = 3,36 \text{ A}$$

Iluminación externa C2

$$P_{total,C2} = 108 \text{ watts}$$

- Corriente iluminación C2

$$I_{C2} = \frac{108 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 0,85 \text{ A}$$

- Protección para iluminación C2

$$I_{protección} = 1,25 \cdot 0,85 \text{ A}$$

$$I_{protección} = 1,06 \text{ A}$$

Sistema de Fuerza C3

$$P_{total,C3} = 400 \text{ watts}$$

- Corriente S. Fuerza C3

$$I_{C3} = \frac{400 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 3,14 \text{ A}$$

- Protección para S. Fuerza C3

$$I_{protección} = 1,25 \cdot 3,14 \text{ A}$$

$$I_{protección} = 3,92 \text{ A}$$

Para el sistema de iluminación externa C1 el cual esta conformo por 12 focos led de luz cálida se consideró un breaker de 16 A, por otro lado, para la iluminación interna donde se encuentra

conforme por luces led, fluorescentes (tubos) y decorativas, se consideró un breaker de 16 A, finalmente para el sistema de fuerza de la iglesia se determinó un breaker de 20A.

4.7.10 Cálculo de la eficiencia de la instalación

Finalmente, para determinar la eficiencia de la instalación se lo realiza multiplicando las eficiencias de los equipos que contempla sistema FV.

$$\eta = \eta_r \cdot \eta_a \cdot \eta_i \quad (38)$$

Donde:

η = Eficiencia instalación

η_r = Eficiencia regulador

η = Eficiencia batería

η_i = Eficiencia inversor

Con este dato reflejamos lo utilizable que será la energía generada por el sistema FV en su operación.

$$\eta = 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.85$$

$$\eta = 72\%$$

Se asumió que el rendimiento global del sistema fotovoltaico era del 72%, teniendo en cuenta las pérdidas de temperatura de los módulos, la eficiencia del controlador MPPT, las pérdidas en los conductores de CC y la eficiencia de carga de la batería de gel. Este valor está dentro del rango recomendado por las normas IEC 61724-1 e IEC 62548 para sistemas solares aislados con almacenamiento y es un punto de referencia conservador según las condiciones reales de funcionamiento del sistema.

4.8 Diagrama de flujos del sistema fotovoltaico

El diagrama de flujos que se presenta a continuación permite visualizar y detallar de forma secuencial los pasos necesarios para el diseño, instalación, y el correcto funcionamiento de la implementación de un sistema fotovoltaico aislado a la red (Off Grid) en la iglesia evangélica de San José de Alpamalag.

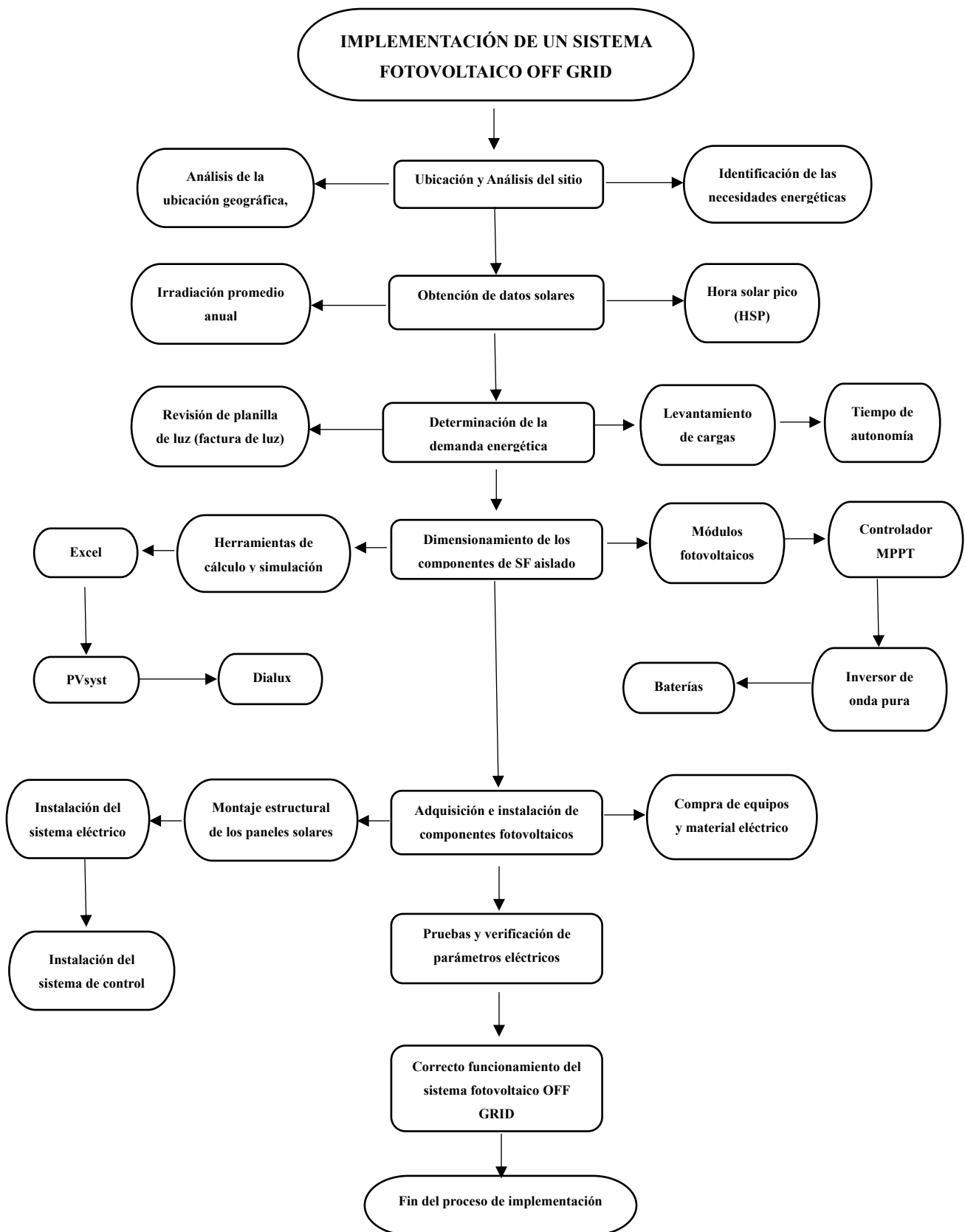


Figura 44. Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico Off Grid.

El diagrama de flujos consta de 7 etapas, siendo muy importantes cada una de ellas, por lo cual primer paso que se lleva a cabo es la ubicación y el análisis del sitio, posteriormente en la segunda etapa, se realiza la obtención de datos solares del lugar en específico, dichos datos pueden ser recopilados de la página oficial de la NASA, la tercera etapa tiene como punto principal la determinación de la demanda energética de la iglesia evangélica en este paso se considera las planillas de luz de la iglesia, así como los equipos existentes y su tiempo de autonomía. Por otro lado, la etapa cuatro corresponde al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, el cual determina el número de equipos como son paneles solares, inversor, baterías y regulador, así como el uso de herramientas de cálculo y simulación para el pre dimensionamiento. Seguido la etapa cinco se encuentra la adquisición e instalación de componentes fotovoltaicos es decir la compra de los equipos y material eléctrico y el armado de la estructura, así como la instalación del sistema eléctrico y de control. Para la penúltima etapa se encuentra las respectivas pruebas de rigor y puesta en marcha del sistema, y finalmente para la última etapa está el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico Off Grid

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES

En este apartado después de entender y definir la demanda de energía para el consumo, en esencia el objetivo es aprovechar de mejor manera el resplandor solar de una forma segura y eficiente. Todo esto con el fin de definir de forma precisa la capacidad energética de los paneles, el inversor, el controlador y las baterías con esto evitamos interrupciones o desperdicios del suministro eléctrico, asegurando que la inversión sea realmente útil. En la siguiente Tabla 14 detallamos los equipos y la cantidad.

Tabla 14. Equipos para el sistema FV.

Equipos del sistema	Cantidad
Paneles solares	2
Inversor	1
Controlador	1
Baterías de almacenamiento	2
Caja de distribución	1
Gabinete de transferencia	1

5.1 Paneles solares monocristalinos

Para el proyecto se consideró dos paneles solares de la marca Victoria Led, tipo Monocristalino, con una capacidad de 610 W, el cual permite la captación de radiación solar de la zona de estudio, para posteriormente transformarla en energía eléctrica DC.

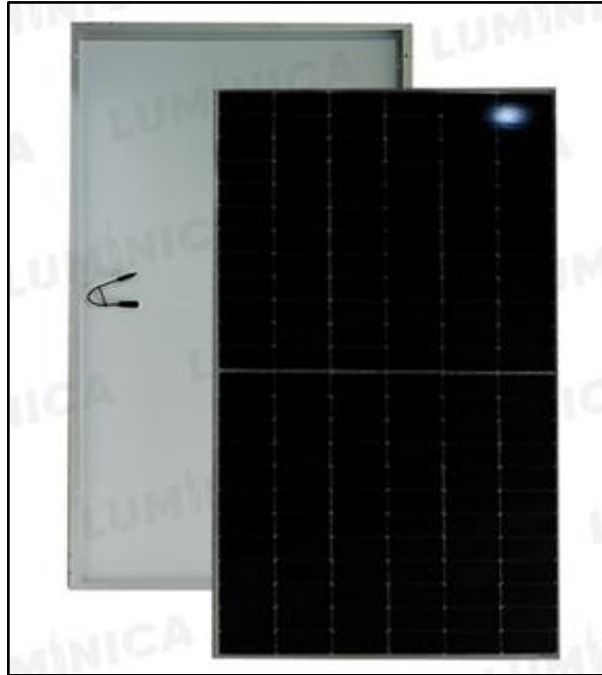


Figura 45. Panel solar VICTORIA LED 610 W [37].

Las especificaciones técnicas del panel solar se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Ficha técnica del panel Victoria Led 610 Watts.

PANEL SOLAR VICTORIA LED	
CODIGO: VLPSN-610 W	
Poder máximo (Pmax)	610 W \pm 3%
Abre el circuito de voltaje (Voc)	48,10V \pm 4%
Corriente de cortocircuito (Isc)	16,05A \pm 5%
Tensión de potencia máxima (Vmp)	39,77 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	15,34 A
Temp. Normal de funcionamiento de la celda (NMOT)	45°C

Tensión máxima del sistema	DC1500V
Fusible serie máxima	30 A
Peso	28,5 Kg
Dimensiones	2384x1134x30mm
Condición de prueba estándar	E=1000W/m ² TC= 25°C
Aplicación de modulo	
Clase: A	

5.2 Sistema de almacenamiento de energía

Para el sistema de almacenamiento de energía eléctrica, se empleó dos baterías, de la marca Victoria Led con un nivel de tensión de 12V y capacidad nominal de 200Ah, maximizando el autoconsumo de la energía producida por el sistema Off Grid.



Figura 46. Batería de gel ciclo profundo 12V/200Ah [38].

Las especificaciones técnicas de la batería de gel se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Ficha técnica batería de gel victoria Led.

BATERIA DE GEL VICTORIA LED	
CODIGO: 12V- 200 Ah ciclo profundo	
Capacidad	200Ah
Voltaje nominal	12 V
Tipo de batería	Gel de ciclo profundo

Marca	Victoria LED
Ancho	240±2mm (9.44 “)
longitud	522±2mm (20.55 “)
Altura	219±2mm (8.62 “)
Peso	59.0kg (130lbs)
Peso	28,5 Kg
Dimensiones	2384x1134x30mm
Vida útil	15 años
Auto- descarga	3 % de capacidad reducida por mes a 25°C
Clase: A	

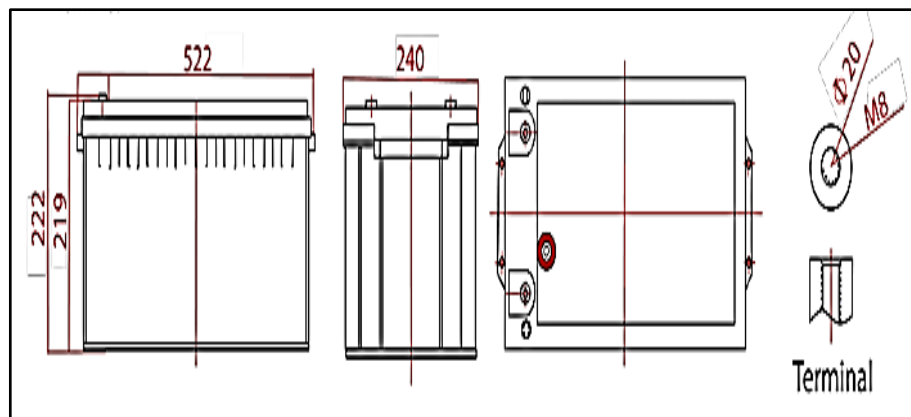


Figura 47. Dimensiones de la batería de almacenamiento.

5.3 Regulador de carga

Se utilizo un regulador de carga MPPT de 40 A, con un voltaje de 12/24V, a diferencia de los controladores PWM este dispositivo es más eficiente y no requiere de emparejamiento de voltaje entre el panel solar y la batería, siendo idóneo para el sistema fotovoltaico off grid de la iglesia evangélica.



Figura 48. Regulador de carga solar MPPT [39].

Las especificaciones técnicas del controlador MPPT se pueden observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Ficha técnica de controlador MPPT

REGULADOR DE CARGA SOLAR MPPT	
CODIGO: 12V- 40 A	
Material	Plástico con chasis de aluminio
Numero de Puertos USB	2
Pantalla	LCD
Voltaje	12/24 V
Cap. Corriente nominal	40 A
Marca	MPPT
Max voltaje	600V
Max input power	520W(12V) – 1040(24V)
Clase: A	

5.4 Inversor

Para el proyecto fotovoltaico se utilizó un inversor de onda pura, con una capacidad de 4000 W y un voltaje de salida de 110/220V, además incluye una protección inteligente en caso de existir sobrecargas, o cortocircuitos, en los cálculos para el dimensionamiento se obtuvo un inversor de 2000 W, sin embargo, para el proyecto se consideró un inversor de 4000 W, en miras al futuro de la expansión de la carga eléctrica del alumbrado ornamental del patio de la iglesia evangélica.



Figura 49. Inversor de onda pura sinusoidal de 4000 watts [40].

Las especificaciones técnicas del inversor se pueden observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Placa técnica de inversor de onda sinusoidal pura.

POWER INVERTER	
CODIGO: 4000W	
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 nomina	14.5 - 15.5 V
Salida USB	5 V -0.5 A
Frecuencia de salida	50-60 H
Peso	10 kg
Potencia	4000 W

Autodescarga	<3%
Vida útil	15 años
Descarga de batería sin carga de AC	<0,3A
Eficiencia	>95%

5.5 Temporizador digital

Para el funcionamiento de las 4 horas de las luminarias externas de la iglesia, se optó por el uso de un temporizador digital AHC15A, el mismo que cuenta con una interfaz para la programación del encendido y apagado automático de las luminarias, además su fácil instalación hace que sea adecuado para el proyecto fotovoltaico Off Grid en la iglesia evangélica, garantizando la eficiencia del sistema de iluminación externa para 6 horas.



Figura 50. Temporizador digital -AHC15A [41].

Tabla 19. Especificaciones técnicas del temporizador.

TEMPORIZADOR DIGITAL	
CODIGO: LETM4004	
Categoría	Temporizador digital LCD
Montaje	Din Rall
Nivel de tensión	100-240V – 50/60Hz
Umbral de tensión	±10%

Numero de programas	20 programas (10 ON y 10 OFF)
Capacidad de almacenamiento	>100h (Niquel-Metal-Hidruro)
Rango térmico permitido	0 a 40°C
Dimensiones físicas	87x65x36 mm

5.5.1 Especificaciones para el diseño del gabinete de transferencia

Para el dimensionamiento del gabinete de protecciones y conmutación dicho de otra manera de transferencia eléctrica donde se unen tanto la fuente de red convencional como la fuente voltaica, para ello se utilizó el software de diseño AUTOCAD, donde se especifica a continuación. Como primer paso se diseña la parte de protección y distribución que integra dos circuitos de alimentación la RED se refiere al sistema eléctrico convencional y la red SOLAR que se refiere al sistema FV este plano nos permite tener una representación precisa de los elementos y sus interconexiones específicas, como se evidencia en la Figura 51.

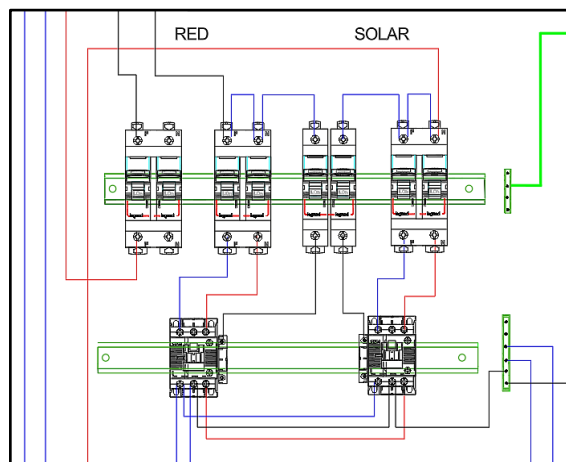


Figura 51. Esquema eléctrico del tablero de transferencia.

Como segundo paso ubicamos los componente y equipos eléctricos que contendrá el gabinete de transferencia se tomó en cuenta las dimensiones reales de cada equipo como es el regulador, inversor y las baterías de almacenamiento, en esta sección de detalla cómo se posicionara cada elemento en la ejecución real, como se observa en la Figura 52.

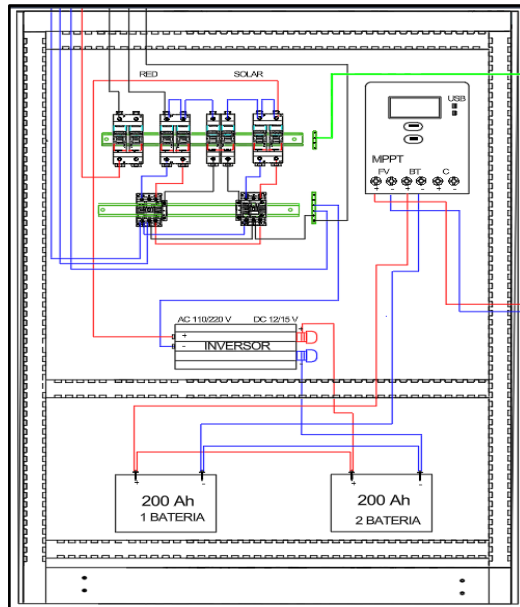


Figura 52. Colocación de los elementos del gabinete de transferencia.

Como tercer paso se elabora el diseño en el plano 3D y se ubican las dimensiones reales para su fabricación, como se observa en la Figura 53.

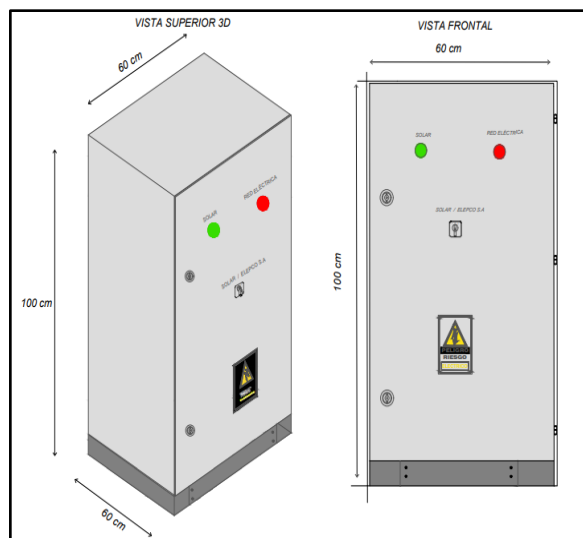


Figura 53. Diseño en 3D del gabinete de transferencia.

Las características técnicas del tablero de transferencia se pueden observar en la Tabla 20.

Tabla 20. Características técnicas del tablero de control y transferencia.

Descripción	Características	
TAMAÑO DEL GABINETE	Ancho	60 cm
	Largo	100 cm
	profundidad	60 cm

PROTECCIONES Y CONMUTACIONES	4 interruptores termomagnéticos	-
	2 contactores de potencia	-
	2 luces piloto	-
	1 interruptor de 3 posiciones	-

5.5.2 Especificaciones del diseño de la estructura para los módulos FV

Para este diseño de la estructura también se ocupó el software de diseño AUTOCAD, el cual es una solución técnica pues ayuda que no se desperdicien recursos, con el prototipo podemos garantizar que la estructura tenga un soporte mecánico, estabilidad y correcta disposición de los módulos fotovoltaicos, cabe mencionar que son 2 estructuras para los dos módulos, a continuación, se detallan las dimensiones y demás características de las estructuras.

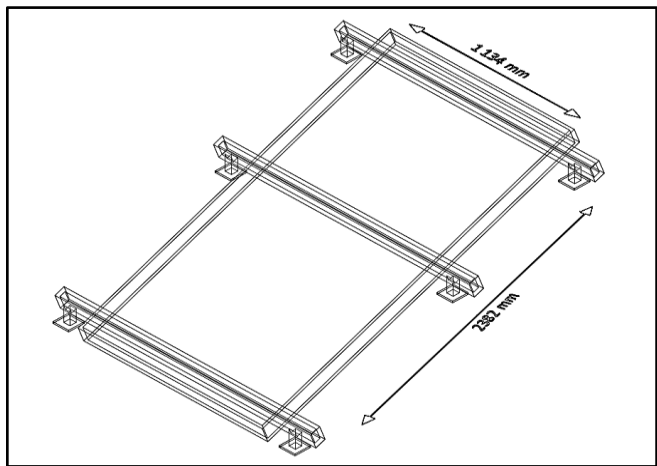


Figura 54. Diseño de la estructura para el soporte de los módulos FV.

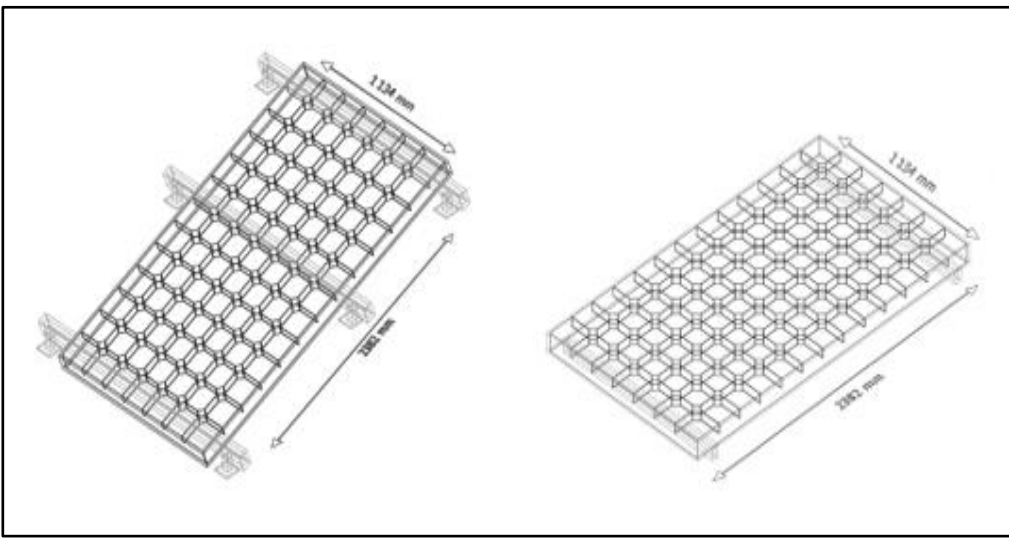


Figura 55. Vista en 3D de la posición de los módulos FV en la estructura.

Las características técnicas de la estructura para los paneles solares se pueden observar en la Tabla 21.

Tabla 21. Características de la estructura para los módulos FV.

ESTRUCTURA DE SOPORTE METÁLICA	
Ancho	1134 mm x 2
Largo	2382 mm x 2
Grosor	0,05 mm x 2
Peso	25 kg x 2
Material	Hierro x 2

6. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO

6.1 Condiciones energéticas previas

Antes de la implementación del sistema FV fue necesario diseñar el plano arquitectónico en AutoCAD, donde se delimito la zona específica de la Iglesia evangélica, el sistema Off Grid, se dimensionará para cubrir parcialmente la demanda eléctrica, la iglesia consta de diferentes áreas de construcción como son el escenario principal, pasillo 1, pasillo 2 y la zona de asientos.

Con este diseño nos aseguramos de tener la demanda energética específica de la iglesia, pues para la iluminación externa de los pasillos de la iglesia se simulará en el software de diseño luminotécnico DIALux, que es fundamental para priorizar los puntos de luz necesarios para obtener una iluminación eficiente.

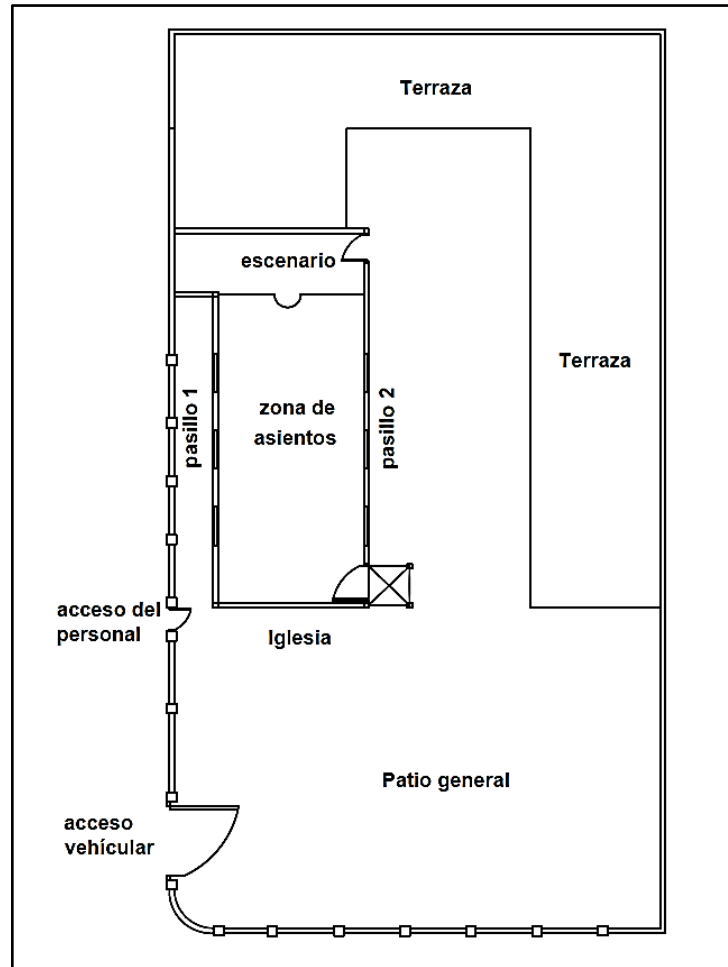


Figura 56. Diseño arquitectónico en AutoCAD de la zona de la iglesia evangélica.

La Figura 57. muestra el plano eléctrico de la iluminación interna y externa de la iglesia evangélica “Aliento de Vida” el cual fue elaborado en el software de diseño DIALux, para el diseño se consideraron algunos parámetros como el número de luminarias a ser instaladas, así como también la potencia en watts que cuenta cada una.

El sistema de iluminación externa permitirá una mejor calidad de iluminación para que los congregantes de la iglesia puedan realizar sus actividades religiosas de forma segura, así también para el uso de equipos eléctricos y electrónicos se consideró la instalación de un toma corriente en la parte inferior del tablero de distribución del sistema fotovoltaico Off Grid.

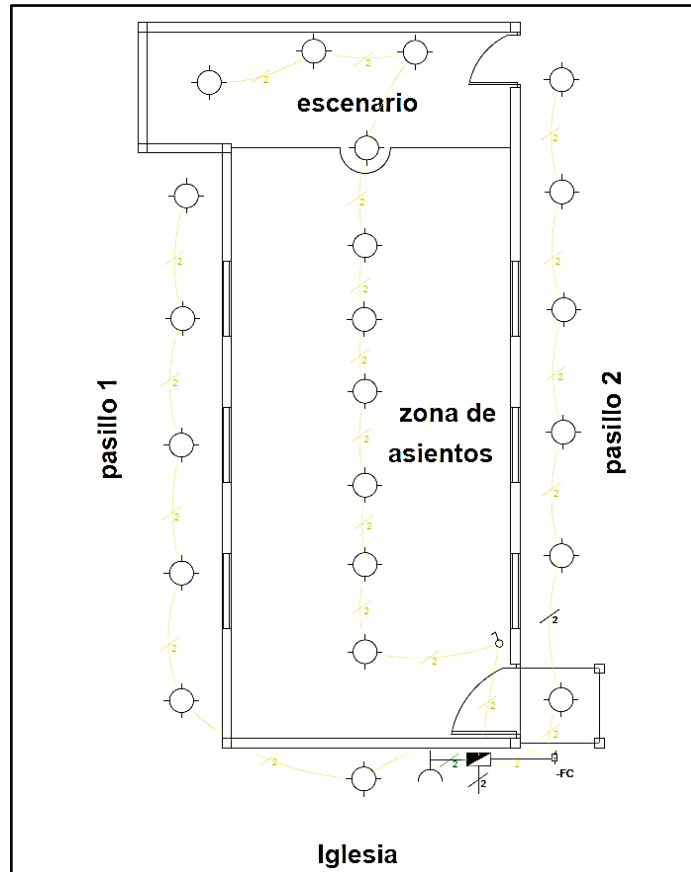


Figura 57. Plano eléctrico de la iglesia evangélica.

6.1.1 Diseño para implementación de la iluminación externa en DIALux

El diseño luminotécnico se empezó importando el plano arquitectónico de AutoCAD hacia el software de DIALux, con el objetivo de garantizar niveles de iluminación adecuados para los pasillos 1 y 2 específicamente de la zona exterior de la iglesia evangélica, el área total que rodea toda la iglesia es 1175 m^2 siendo 47m de largo por 25m de ancho, el área total solo de la iglesia es de 156 m^2 para donde se implementara el sistema FV y la iluminación externa respectivamente como se indica en la Figura 58.

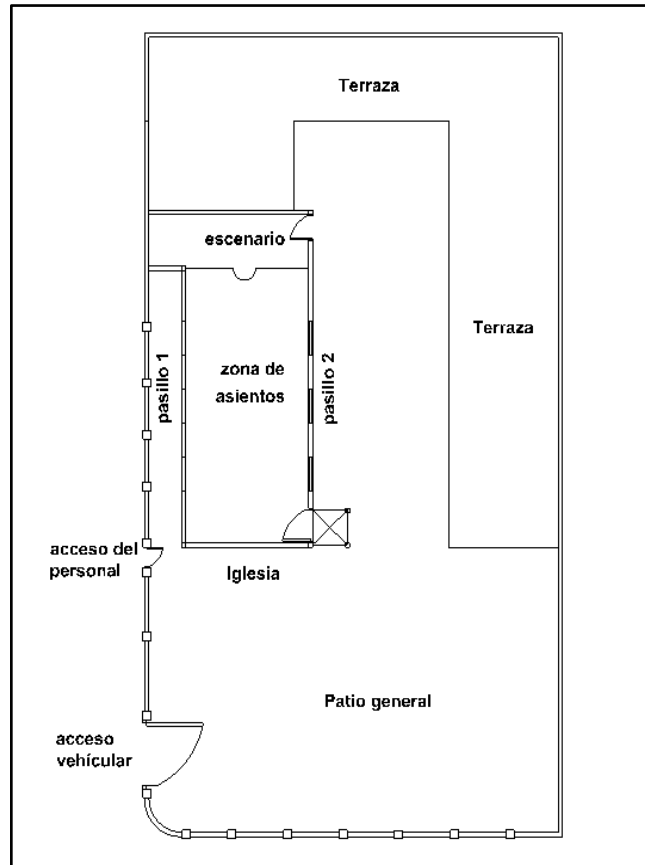


Figura 58. Plano arquitectónico para la importación a DIALux.

Luego de la importación, se procede con el modelado tridimensional de los ambientes definiendo los elementos arquitectónicos como la pared, piso, patio general, techo, puertas y ventanas con el fin de representar fielmente la geometría que conforma la iglesia evangélica, como se evidencia en la Figura 59.



Figura 59. Modelo arquitectónico 3D en DIALux.

Definir las áreas es parte primordial pues este paso sirve para segmentar los espacios de acuerdo a sus funciones y que nivel de luminosidad va requerir, para esto debemos configurar las áreas del pasillo 1 y 2 de acuerdo a la normativa predeterminada de USA para iluminación en exteriores para tránsito peatonal el cual señala el rango de 40.0 lx que debe cumplirse para iluminación del mismo, como se especifica en la Tabla 22.

Tabla 22. Configuración de áreas.

CONFIGURACIÓN DE LAS AREAS DE ILUMINACION PARA EL PASILLO 1 Y 2	
PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Perfil de uso	26 – LIGHTING FOR EXTERIORS
Configuración predeterminada	USA
Selección de plantillas	Parking Decks; Elevator Lobbies; Pedestrian Transaction Areas; Stairways
Perfil de usuario activo – Área	26 – LIGHTING FOR EXTERIORS
Tipo de uso	Iluminación exterior
Aplicación	Estacionamientos, vestíbulos de ascensores, áreas de tránsito peatonal y escaleras
Intensidad lumínica – Em	40.0 lx
Área de trabajo	Superficie de cálculo del área exterior
Valores de mantenimiento	Considerados (según perfil estándar USA)

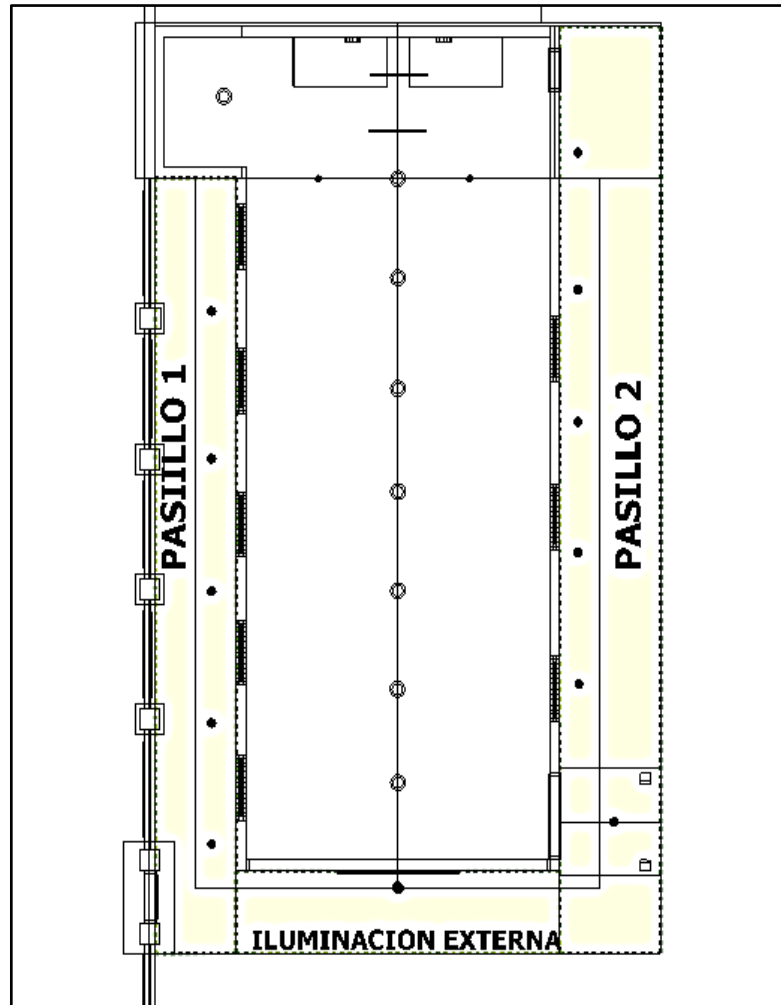


Figura 60. Especificación de las áreas para la iluminación externa en DIALux.

Seguido de la configuración de las áreas, procedemos con la elección de las luminarias desde el catálogo de fabricantes disponible en DIALux, considerando el rango de lx que tenemos que cumplir con los requerimientos normativos que especifica el programa.

En la Tabla 23 se especifica el tipo de luminaria y sus características que elegimos:

Tabla 23. Características de la lampara pendular.

Tipo de montaje	Potencia nominal	Flujo de lampara	Eficiencia luminosa	CCT	CRI
Pendular	9W	1300 lm	1280 lm/W	2723K	90

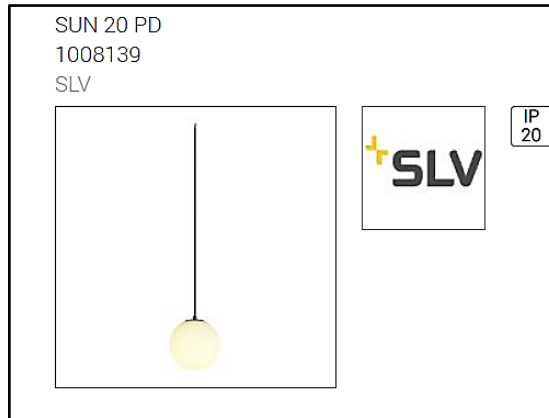


Figura 61. Lámpara pendular.

Cabe detallar que de acuerdo al área de 156 m^2 comprendida entre los 19,50 m de largo por 8m de ancho se optó por ubicar a cada 3 metros de distancias cada lámpara pendular, sumando un total de 12 lámparas para un flujo luminoso eficiente en los pasillos mencionados.

Como penúltimo paso se define las superficies y puntos de cálculo. Estos planos permitieron evaluar parámetros como iluminancia media, uniformidad y distribución lumínica, conforme a los estándares técnicos.

Tabla 24. Configuración del plano útil del tablero en DIALux

SUPERFICIES Y PUNTOS DE CÁLCULO	
Parámetro	características
Tipo de superficie de cálculo	Plano útil (plano de trabajo)
Nombre del plano	Plano útil (Pasillo 2)
Creación de plano de trabajo	Activada
Altura del plano de cálculo	0.750 m
Zona marginal	0.000 m
Método de mantenimiento	Global
Norma de mantenimiento	IESNA
Factor de mantenimiento (MF)	0.80
Tipo de cálculo	Iluminancia media sobre superficie
Posición del plano (X, Y, Z)	(18.999 m ; -38.083 m ; 0.040 m)

Dimensiones del plano	2.501 m × 21.397 m
Espesor del plano	0.010 m

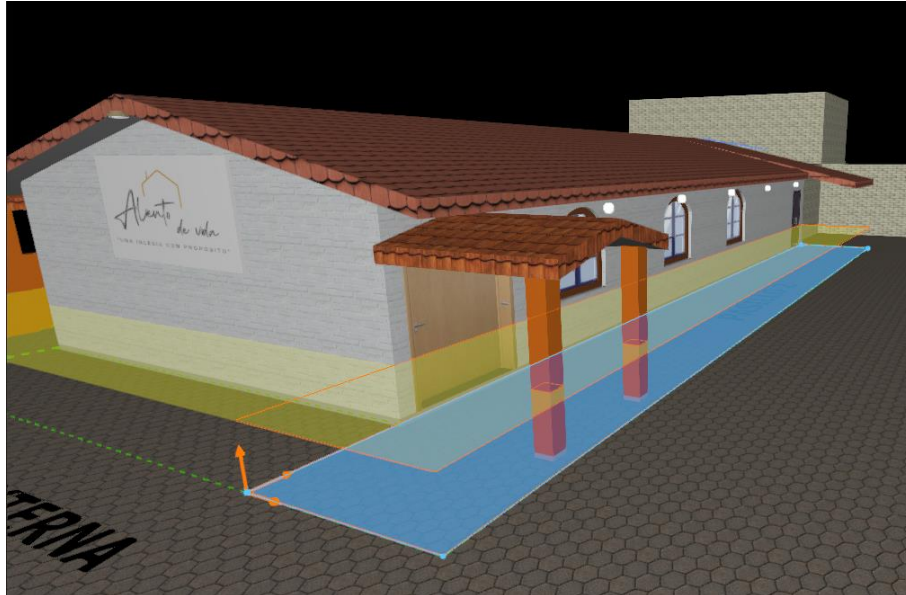


Figura 62. Ubicación de altura del plano útil del trabajo del área de iluminación.

En la Figura 62. se evidencia la altura del plano útil de trabajo del área de iluminación que se lo configuro a 0,75m desde el suelo, se consideró dicha altura porque es donde se realizan actividades visuales y es sobre esta área donde el programa calcula los niveles de iluminación y uniformidad para que la luz sea la adecuada para la tarea.

Finalmente se procede a la renderización de la simulación y la ejecución del cálculo luminotécnico, el software procesó la información y generó resultados cuantitativos y gráficos, incluyendo mapas de falsos colores, valores de iluminancia y análisis de cumplimiento normativo, que se detallara en la parte de análisis de resultados.



Figura 63. Iluminación del pasillo 1 en DIALux.



Figura 64. Iluminación del pasillo 2 en DIALux

6.2 HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Para que un proyecto fotovoltaico alcance los objetivos planteados y se lleve a cabo de la mejor manera, se requiere de materiales, herramientas y dispositivos que permitan realizar fácilmente cada una de las tareas y actividades planteadas en el desarrollo del sistema fotovoltaico Off Grid, es por tal motivo que a continuación en la Tabla 25 se detallara de mejor manera las herramientas e instrumentos utilizadas.

Tabla 25. Herramientas e Instrumentos utilizados para el proyecto fotovoltaico Off Grid.

Herramientas Instrumentos	Descripción Técnica	Registro Fotográfico
Amoladora	Esta herramienta permite realizar el corte, pulido, lijado de diferentes tipos de materiales existentes por medio de discos especiales para diferente área de trabajo.	
Pinzas	Este tipo de herramienta cumple la funcionalidad de cortar, ajustar y sujetar cualquier tipo de material sea este, metal, acero, plástico entre otros.	
Multímetro	Herramienta encargada de medir magnitudes eléctricas como voltaje, corriente, potencia así también como continuidad de circuitos eléctricos.	
Pinza Amperimétrica	Se encarga de medir magnitudes eléctricas en AC y DC así también sirve para detectar fallas en circuitos eléctricos sin necesidad de abrir circuitos.	

Destornillador	Utilizado para ajustar y desajustar tornillos de cualquier tipo de material, este tipo de herramienta es fabricado en punta planta y estrella sea la situación de uso.	
Flexómetro	Instrumento que permite medir, cualquier tipo de longitud en unidades de mm, cm y metros, además ayuda a realizar cortes exactos.	
Taladro percutor	Permite la perforación de bases sólidas, como cemento, madera, acero, hierro, además gracias a su punta de acero permite acoplarse a diferentes tamaños y tipos de brocas.	

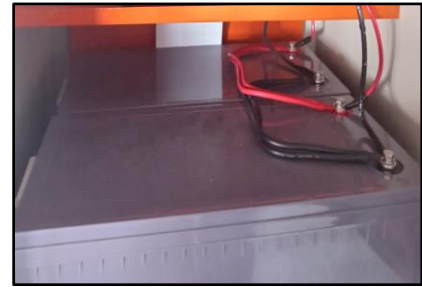
En la Tabla 26 se puede evidenciar los materiales implementados en el presente proyecto, dando a conocer una breve descripción técnica de los materiales, además de contar con un registro fotográfico de cada material, cada uno de estos materiales son fundamentales para la realización del sistema fotovoltaico Off Grid en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, cada uno de estos materiales, permiten realizar adecuadamente cada una de las etapas en la implementación del sistema, además de ser eficientes también son idóneas para dicho proyecto.

Tabla 26. Materiales utilizados para el proyecto fotovoltaico Off Grid.

Materiales	Descripción Técnica	Registro Fotográfico
------------	---------------------	----------------------

Batería

Se encargan de almacenar energía eléctrica, las baterías son recargadas mediante paneles solares, para posteriormente abastecer cada una de las cargas existentes en un sistema fotovoltaico Off Grid.



Luces Piloto

Se encargan principalmente de alertar al usuario visualmente cuando un sistema esta funcional o desactivado, para un sistema Off Grid sirven para identificar en qué estado se encuentra red o solar.



**Breaker
Monopolar**

Su función principal es la protección de los equipos, así como de los elementos que forman parte de una instalación eléctrica, además cuentan con borneras internas para la conexión de fase y neutro.



**Interruptor
Termo
magnético**

Es un dispositivo que comúnmente se encuentra instalado en tableros eléctricos, el cual cumple la función de deshabilitar la corriente eléctrica en caso de existir un cortocircuito, sobrecarga o calentamiento de los conductores.



Tablero de Transferencia

El tablero de transferencia se encarga de albergar cada uno de los elementos que conforma el sistema fotovoltaico Off Grid, como son el inversor, controlado, baterías, así como contactores e interruptores termomagnéticos.



Tablero eléctrico de 4 circuitos

Se encarga de proteger de la intemperie los circuitos de iluminación interna, externas y tomas que conforma el sistema fotovoltaico, internamente se encuentran instalados los breakeres independientes de cada circuito.



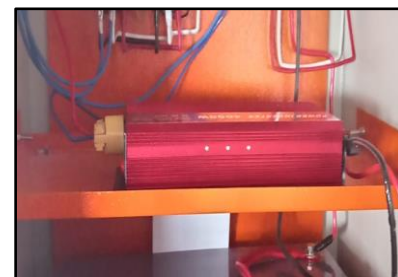
Paneles Solares

Permite la generación de energía eléctrica en DC, mediante células fotovoltaicas conectadas internamente, son fabricadas de diferente material como silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo.



Inversor de 4000 Watts

Como su nombre lo dice es un dispositivo que se encarga de convertir corriente DC a corriente AC la cual es producido por los paneles solares, para su implementación se debe realizar primero un dimensionamiento para evitar que se sobrecarga.



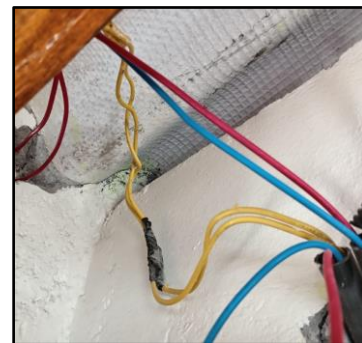
**Controlador
MPPT**

Este dispositivo se encarga de identificar las corrientes y caídas de tensión más altas que son generadas por los paneles solares, de esta forma poder optimizar tanto las baterías como del sistema completo del sistema Off Grid.



Conductor

Los conductores o cables eléctricos como común mente lo conocemos se encargan de llevar energía eléctrica a pequeñas y largas distancias gracias al material que son fabricados como aluminio, cobre, acero.



Telurómetro

Este dispositivo permite el cálculo de la resistencia del suelo mediante la inyección de corriente alterna además para la determinación de la resistividad del suelo se aplica métodos como Wenner o el método de Schlumberger.



6.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En este apartado se dará a conocer cada una de las actividades desarrolladas para la puesta en marcha del proyecto del sistema fotovoltaico Off Grid en la Iglesia Evangélica “Aliento de Vida”, las actividades serán realizadas mediante el uso de equipos de seguridad como botas de acero, mandil institucional, guantes, además de la misma forma se dará uso de normativas como la Norma Ecuatoriana de Construcción (código NEC-SB-IE), y Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10 (Capítulo 15, así como la IEEE Std 80 e IEEE Std 81 para la puesta tierra del sistema fotovoltaico.

6.3.1 Verificación y mejoramiento de las instalaciones eléctricas de la iglesia

Como se puede observar en la Figura 65. se procede a verificar el estado actual de las instalaciones internas de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, por lo cual se procede a realizar un rediseño de las instalaciones del sistema de iluminación y tomas de fuerza.



Figura 65. Rediseño de las instalaciones internas de la iglesia.

En la siguiente Figura 66. se observa la colocación de manguera de tipo corrugada para evitar que los conductores eléctricos del sistema de iluminación se encuentren a la intemperie dentro de la iglesia evangelica mejorando esteticamnte la instalación eléctrica.



Figura 66. Colocación de manguera corrugada para la instalación eléctrica.

La Figura 67. muestra el rediseño final de las instalaciones eléctricas correspondientes al sistema de iluminación internas de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, mismas que fueron instaladas mediante cable flexible #12 para las conexiones y empalmes, así como también manguera negra, y para mejorar estéticamente se colocaron tapas plásticas circulares blancas para los cajetines.



Figura 67. Resultado final del rediseño del sistema de iluminación interna.

6.3.2 Colocación de estructura con los paneles fotovoltaicos

Posteriormente se procede a la instalación de la estructura junto con los paneles solares de 610 watts marca VICTORIA, ambos componentes se ubicaron encima del techo de la iglesia evangélica, con la finalidad de captar la mayor cantidad de radiación solar emitida por la zona de estudio, y de evitar la manipulación o contacto directo de los paneles y estructura.



Figura 68. Instalación de estructura y paneles solares.

La Figura 69. muestra la colocación de soportes para ambos módulos fotovoltaicos, con el propósito de evitar que se deslicen por medio del techado de la iglesia evangélica, manteniendo fijo tanto la estructura y módulos.



Figura 69. Instalación de soportes en la parte superior del techado.

La Figura 70. se observa la conexión en paralelo de los dos paneles solares de 610 Watts, el cual se realizó conectando ambos terminales positivos entre sí, y de la misma forma conectando todos los terminales negativos entre sí, lo cual hace que el voltaje se mantenga en un estado constante y las corrientes se sumen respectivamente.

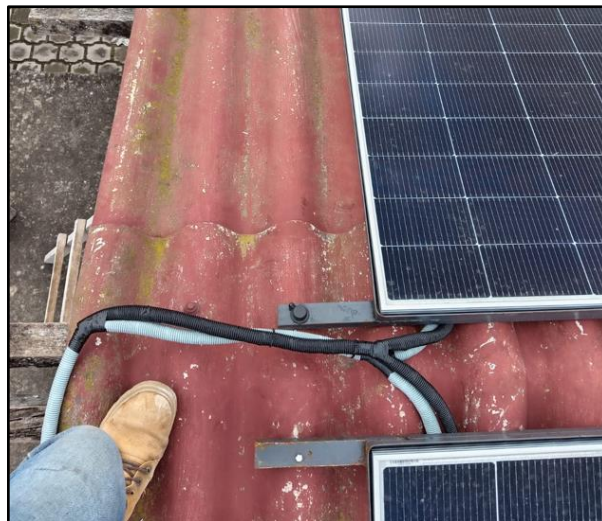


Figura 70. Conexión en paralelo de los paneles solares.

6.3.3 Instalación del tablero de transferencia

Posteriormente en este apartado se llevará a cabo la construcción física, del tablero de transferencia, así como también las respectivas conexiones con los demás dispositivos fotovoltaicos, y la ubicación e instalación completa del tablero de transferencia.

A continuación, la Figura 71. se puede evidenciar la construcción del tablero de transferencia, una vez realizado el diseño en AutoCAD, las características del mismo fueron consideradas mediante los Data Sheet de los componentes fotovoltaicos para determinar el tamaño exacto del módulo de esta forma evitar sobre dimensionamiento del mismo.



Figura 71. Construcción del tablero de transferencia para el sistema fotovoltaico.

En la Figura 72. se observa la colocación de soportes tipo ángulo en ambos lados para mejorar la estabilidad del tablero de transferencia, para realizar las perforaciones tanto en el ángulo como en la pared de cemento, se consideró herramientas como taladro eléctrico, además de llaves de vaso para mejor facilidad.



Figura 72. Ubicación de los soportes para el tablero de control y transferencia.

Una vez identificado el sitio donde se empotrará el tablero de transferencia, y la colocación de los ángulos se procede a la instalación del tablero de transferencia para abastecer parcialmente una demanda eléctrica es de 3529,35 Watts/hora, cada uno de los componentes mantiene un orden y ubicación adecuado para las respectivas conexiones eléctricas. Preliminarmente se instalan los dos interruptores termomagnéticos a la red eléctrica ELEPCO, del cual ingresan neutro para el primer interruptor y fase para el segundo, para las cargas del sistema de iluminación y fuerza se puentean en el contactor de la red, por otro lado, con lo que respecta al sistema solar se instalan dos interruptores termomagnéticos del cual se considera un punto común entre ambas, la entrada del segundo interruptor del sistema Off Grid llega a la salida del terminal positivo del inversor de 4000 Watts y de la misma forma la salida del neutro del mismo sale a la barra de neutro del tablero de transferencia.

Para el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico se considera los dos conductores de los paneles solares de 610 Watts los cuales serán conectados a las entradas del controlador MPPT de 40 Amp, posteriormente los conductores del circuito de las dos baterías 200 Ah, serán conectados a los terminales de entrada del controlador MPPT, verificando su polaridad evitando accidentes eléctricos, luego la conexión que se encuentra en paralelo de las dos baterías de 200 Ah serán conectadas al inversor de 4000 Watts.

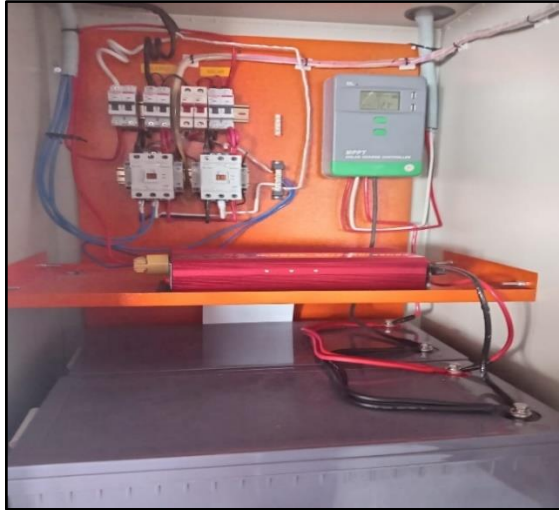


Figura 73. Instalación del tablero de transferencia red/ solar.

6.3.4 Instalación de las luminarias externas

La iglesia evangélica “Aliento de Vida” al no contar con un sistema de iluminación externa ha generado ciertos inconvenientes como la seguridad, ocasionando riesgos de accidentes y caídas, al no observar con claridad las instalaciones externas de la iglesia, además de no visualizar de forma clara los rasgos arquitectónicos que cuenta la iglesia, generando una sensación de tristeza y desanimo por parte de los fieles peligrosos. Por lo cual se llevó a cabo la instalación de luminarias externas, para mejorar la calidad de iluminación alrededor de las instalaciones de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

En la Figura 74. se puede evidenciar la colocación de los cajetines plásticos circulares tanto en la parte derecha como izquierda de la iglesia evangélica, estas servirán posteriormente para realizar el cableado de las conexiones eléctricas que contara cada una de las lámparas.



Figura 74. Instalación de cajetines de paso para luminarias exteriores.

Como se observa en la Figura 75. se está realizando las perforaciones para cada uno de los soportes que permitan la fijación de la manguera corruga el cual transporta los conductores de neutro y retorno de cada una de las luminarias externas de la iglesia.



Figura 75. Colocación de manguera corrugada para luminarias externas.

En la Figura 76. se observa las conexiones eléctricas realizadas para cada una de las luminarias, para dicha actividad se consideró cable flexible #12 THHN, color rojo para la identificación del retorno y cable azul para el neutro, cabe recalcar que el alimentador de fase será conectado directamente a un dispositivo de encendido y apagado automático.



Figura 76. Instalación eléctrica de las luminarias externas.

A continuación, la Figura 77. se muestra la colocación de las doce luminarias colgantes externas con una capacidad de 9 watts cada una, para precautelar el cuidado medio ambiente se implementó como base botellas plásticas, esto con la final de realizar un proyecto innovador, único y sobre todo que sea eficiente, seguro y que aporte al cuidado del medio ambiente de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.



Figura 77. Colocación de lámparas colgantes de 9 Watts.

Una vez realizado la colocación de los cajetines plásticos, así como el cableado eléctrico, conexiones y empalmes requeridos para cada una de las lámparas, se observa a continuación en la Figura 78. la vista panorámica de la iglesia junto con las luminarias externas ya instaladas, tanto la parte izquierda como derecha de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.



Figura 78. Vista panorámica del área de instalación de luminarias externas

6.3.5 Colocación del tablero de distribución de cargas

En la Figura 79. se muestra la colocación del tablero de distribución el cual albergara los circuitos de iluminación externa, interna y una toma de fuerza, el cual se realiza primeramente una perforación a la parte frontal de la iglesia con la finalidad de empotrar el tablero eléctrico, para luego conectar la manguera negra corrugada de 3/4 que va desde del tablero de toma corrientes hacia el tablero del control y transferencia del sistema fotovoltaico Off Grid.



Figura 79. Empotramiento del tablero de distribución.

En la siguiente Figura 80. se puede observar la instalación completa del tablero de distribución, para el control y protección de las cargas eléctricas del sistema de iluminación interna y externa, así como el sistema de fuerza.



Figura 80. Tableros de distribución red eléctrica y sistema solar fotovoltaico Off Grid.

6.3.6 Colocación del dispositivo de encendido y apagado automático.

Para que el sistema de iluminación externa de la iglesia evangélica se active automáticamente en horas de la tarde y noche sin la necesidad de alguna maniobra manual, se procede a la instalación de una fotocelda de 10 KA a un voltaje de 105/205 V marca MAVIJU, la salida de los neutros y retornos de todas las luminarias deberá contar con un punto común y llegar a los terminales de la fotocelda, mientras que el terminal de la fase saldrá del breaker del circuito de iluminación externa.



Figura 81. Instalación de la fotocelda al sistema de iluminación externa.

6.3.7 Colocación de la puesta a tierra al tablero de transferencia.

En la Figura 82. se muestra el procedimiento para determinar la resistividad eléctrica del suelo el cual se basó en la norma IEEE Srtld 80 y la IEEE Std 81, esta normativa hace mención al método de Wenner el cual consiste en colocar 4 electrodos tipo varilla a una distancia “a”, de forma simétrica cada una.



Figura 82. Medición para la colocación de electrodos tipo varilla.

La Figura 83. se observa la colocación de los electrodos de tipo varilla a una distancia de 4 metros cada una, para posteriormente colocar los cables de alimentación del Telurómetro y realizar el estudio de resistividad eléctrica del suelo.



Figura 83. Colocación de las varillas para la prueba de resistividad del suelo.

En la siguiente Figura 84. se muestra el nivel de resistividad del suelo que tiene la iglesia evangélica “Aliento de Vida “, por lo cual al inyectar corriente en ambas barras externas y calcular la caída de tensión en las otras dos barras internas nos arroja una resistividad de 171 ohms/m respectivamente.



Figura 84. Resistividad del suelo en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

La Figura 85. se observa la instalación de la puesta a tierra para el tablero de transferencia, la misma que será ubicada en un lugar seguro y libre de contacto directo de terceras personas, lo cual permite el cuidado de equipos, elementos y dispositivos que conforman parte el sistema solar fotovoltaico en caso de una sobrecarga o cortocircuito generado por alguna maniobra.



Figura 85. Instalación de la puesta a tierra al tablero de transferencia Off Grid,

7. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 Rediseño de la instalación eléctrica de la iglesia

Para el rediseño de la instalación interna de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, se tomó en consideración los requerimientos estipulados por la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 “Energía renovables” el cual especifica el tipo de conductor a utilizar, además de la ubicación de los puntos de iluminación y fuerza en lugares comunitarios, y las especificaciones para la realización de empalmes y derivaciones correspondientes.

Una vez identificó el estado actual de la instalación del sistema de iluminación y fuerza, hace necesario un rediseño, lo cual mediante esas acciones permitirá contar una instalación adecuada, ordena y sobre todo segura para el servicio de los miembros de la iglesia, de esta forma cumpliendo la normativa establecida anteriormente.

Para el sistema de iluminación interna se consideró un calibre de conductor 14 AWG tipo flexible, además para la canalización del cable se consideró manguera corrugada de un diámetro de 3/4 así como canaleta de 20 x 12 mm, por otro lado, el calibre establecido para el sistema de fuerza será de 12 AWG, las derivaciones y los empalmes se realizaron en cajas plásticas color

blanco con su respectiva tapa, de forma que se encuentre estéticamente adecuado, finalmente la manguera corrugada de 3/4 que viene desde el tablero de distribución hacia la parte interna de la iglesia, se fijaron adecuadamente mediante abrazaderas omega de 3/4.



Figura 86. Rediseño del sistema de iluminación y fuerza de la iglesia.

En la Figura 86. se muestra el antes y después del rediseño del sistema de iluminación y fuerza de la iglesia, esto permitirá contar un sistema eficiente, seguro y con una funcionalidad óptima.

7.2 Diagrama Unifilar

En la Figura 87. se presenta el diseño del diagrama unifilar del sistema fotovoltaico Off Grid de la iglesia evangélica “Aliento de Vida” Para lo cual se consideró dos paneles solares de 610 W, los mismos que permiten la generación de corriente continua DC, la cual, mediante un inversor de 4000 W, la transforma en corriente AC, con el funcionamiento continuo de un controlador MPPT de 40 A, para que el sistema permita el almacenamiento de energía eléctrica se establecen dos baterías de 220 Ah.

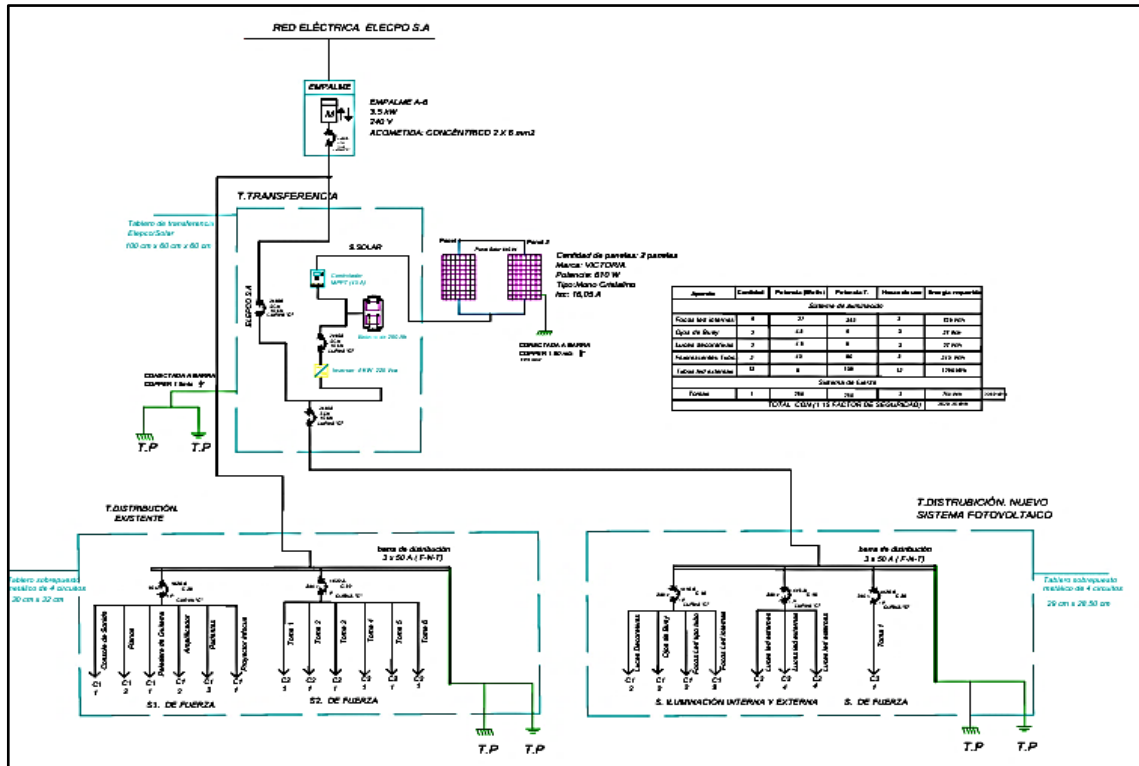


Figura 87. Diagrama Unifilar del sistema fotovoltaico Off Grid.

7.3 ESTUDIO EN PVSYST SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PRIMER CASO: “PR” BAJO DEL 44,17%

Para el análisis del comportamiento del sistema fotovoltaico de implementación se procede con la simulación en el software PVsyst, esta herramienta tecnológica nos permite evaluar la producción de energía y el rendimiento técnico, además estudia el comportamiento del sistema al largo del año teniendo en cuenta las escenas meteorológicas que se pueden producir en la zona específica con las coordenadas geográficas.

Cabe mencionar que el bajo valor de la proporción de rendimiento (PR) obtenido en la simulación no debe interpretarse como una deficiencia del sistema, sino como el resultado directo de las condiciones de operación y de las restricciones técnicas propias de un sistema fotovoltaico aislado con almacenamiento, que más adelante lo detallamos.

7.3.1 Configuración y orientación de los módulos FV

La disposición de inclinación y orientación del campo solar fotovoltaico, un factor esencial para optimizar la absorción de luz solar y mejorar la producción energética del sistema. El generador se configuro como un plano fijo inclinado a 18° y con un azimut de 0°, lo que significa que los paneles están dirigidos hacia el norte geográfico, una configuración ideal para zonas del

ECUADOR. El sistema incluye dos paneles fotovoltaicos, la inclinación elegida está próxima al valor óptimo, sobre todo al centrarse en el desempeño durante el invierno, donde se registra una mínima pérdida del $-0,7\%$ en comparación con el óptimo, lo que valida una buena selección geométrica. El factor de transposición ($FT = 1,08$) demuestra que el plano inclinado capta más radiación que un plano horizontal en el período evaluado, logrando una irradiación total en el plano del colector de 1034 kWh/m^2 durante el invierno. Los gráficos indican que la irradiación varía según la inclinación y el ángulo de orientación, subrayando que ligeras modificaciones alrededor del valor seleccionado no provocan pérdidas significativas.

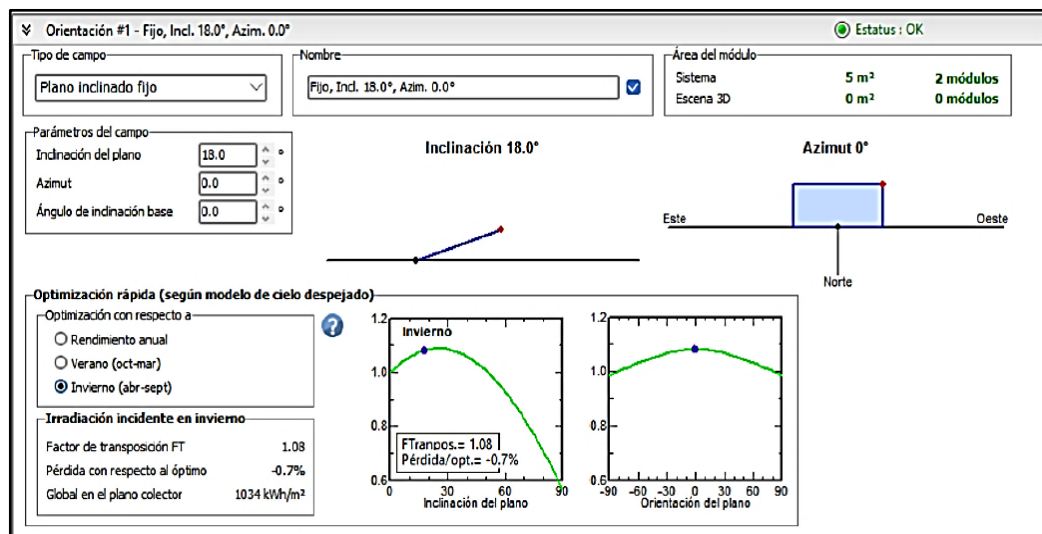


Figura 88. Orientación e inclinación del módulo solar.

7.3.2 Evaluación del rendimiento energético anual del sistema FV

Energía solar utilizable	1065.4 kWh/año	Producción específica	873 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	44.17 %
Energía faltante	0.0 kWh/año	Energía solar disponible	2091.4 kWh/año	Fracción solar (SF)	100.00 %
Exceso (sin usar)	877.2 kWh/año				

Figura 89. Resumen energético.

En la Figura 89. se evidencia que la fracción solar es del 100 % este valor indica un alto nivel de cobertura energética abasteciendo significativamente la demanda de energía de la iglesia evangélica. La energía solar disponibles es de $2091,4 \text{ kWh/año}$ del cual el sistema utiliza 1065.4 kWh/año , presenta una energía faltante bajo de 0 kWh/año con este dato determinamos que el sistema siempre cubre la demanda, y el $44,17\%$ de pérdidas que se evidencia es porque más de la mitad de la energía disponible no se está aprovechando, debido a la generación de energía por parte de los dos paneles de 610W cada uno que posee el sistema.

7.3.3 Características de los módulos FV

Para el diseño los generadores fotovoltaicos se optaron por considerar modelos con características parecidas a los que se utilizó, con los que cuenta el software PVsyst.

Módulo PV		Controlador	
Fabricante	Generic	Controlador universal	
Modelo	JKM-610N-78HL4-BDV	Tecnología	Convertidor MPPT
(Base de datos PVsyst original)		Coef. temp.	-5.0 mV/°C/Elem.
Unidad Nom. Potencia	610 Wp	Convertidor	
Número de módulos FV	2 unidades	Eficiencias máxi y EURO	97.0 / 95.0 %
Nominal (STC)	1220 Wp	Control de gestión de la batería	
Módulos	2 cadena x 1 En serie	Comandos de umbral como	Cálculo SOC
En cond. de funcionam. (50°C)		Cargando	SOC = 0.92 / 0.75
Pmpp	1129 Wp	aprox.	13.1 / 12.4 V
U mpp	42 V	Descarga	SOC = 0.20 / 0.45
I mpp	27 A	aprox.	11.6 / 12.1 V
		Comando grupo electrógeno	SOC = 0.25/0.45
		aprox.	11.8 / 33.4 V
Potencia FV total			
Nominal (STC)	1.22 kWp		
Total	2 módulos		
Área del módulo	5.6 m²		
Área celular	5.2 m²		

Figura 90. Características de los paneles fotovoltaicos.

El sistema de generación eléctrica por medio de paneles solares está conformado por dos módulos FV JKM-610-78HL4-BDV, de 610Wp c/u, la potencia nominal total de 1220 Wp en condiciones ideales.

También el sistema cuenta con un controlador MPPT, este optimiza la recolección de energía solar cuando hay variaciones de irradiación solar y de temperatura.

7.3.4 Detalles del almacenamiento de la batería

En la simulación del sistema fotovoltaico se consideró un banco de baterías genéricas modelo MPG 12V 200, de tecnología plomo-ácido sellado tipo gel, seleccionado por su adecuado desempeño en aplicaciones de sistemas aislados. El arreglo está conformado por dos baterías en paralelo, manteniendo un nivel de tensión de 12 V y alcanzando una capacidad nominal total de 400 Ah, para cumplir la demanda de 324,33Ah para la operación del sistema eléctrico.

La simulación se realizó a una temperatura fija de 20 °C, garantizando condiciones de referencia estables para el análisis energético.

Batería	
Fabricante	Generic
Modelo	MPG 12V 200
Tecnología	Plomo-ácido, sellado, Gel
Núm. de unidades	2 en paralelo
Descarga mín. SOC	20.0 %
Energía almacenada	4.0 kWh
Características del paquete de baterías	
Voltaje	12 V
Capacidad nominal	400 Ah (C10)
Temperatura	Fijo 20 °C

Figura 91. Principales detalles del sistema de almacenamiento.

7.3.5 Perdidas eléctricas en la operativas del sistema

Factor de pérdida térmica		Pérdidas de cableado CC		Pérdida diodos serie	
Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	0.000 mΩ	Caída de tensión	0.7 V
Uc (const)	20.0 W/m²K	Frac. de pérdida	0.00 % en STC	Frac. de pérdida	1.5 % en STC
Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s				
Pérdida de calidad módulo		Pérdidas de desajuste de módulo		Pérdidas de desajuste de cadenas	
Frac. de pérdida	-0.75 %	Frac. de pérdida	0.00 % en MPP	Frac. de pérdida	0.05 %

Figura 92. Resumen de perdidas eléctricas

En la Figura 92. se evidencia la dispersión de energía que sufre el sistema, esto influye mucho en el rendimiento del sistema en comparación con su potencia nominal.

El factor de pérdida por temperatura es de 20.0 W/m²K lo que indica una muy buena disipación de calor por parte de los módulos bien ventilados y montados al aire libre, ya que el aumento de temperatura en los paneles reduce el voltaje y en consecuencia la potencia de entrega. en cuanto a las pérdidas ocasionadas por el cableado en la parte de DC es del 1,50% en condiciones ideales de prueba, este valor es aceptable y 0,7V de caída de voltaje.

Las pérdidas mediante el (IAM) modificador del ángulo de incidencia, para un panel de vidrio frontal con un índice de refracción de 1,526 este valor es característico en paneles comerciales.

7.3.6 Detalles de la demanda de energía

Para la demanda de energía de la iglesia evangélica, se estilo el uso de 9 lámparas de tipo led y 2 lámparas fluorescentes para la iluminación interna, 4 luces decorativas para el escenario, 12 lámparas tipo led para la iluminación externa de los pasillos, finalmente un tomacorriente considerado para el funcionamiento de aparatos electrónicos con una potencia de 200W. Todo esto dando un total de la demanda de energía de 2,9kWh/día como se indica en la Figura 93.

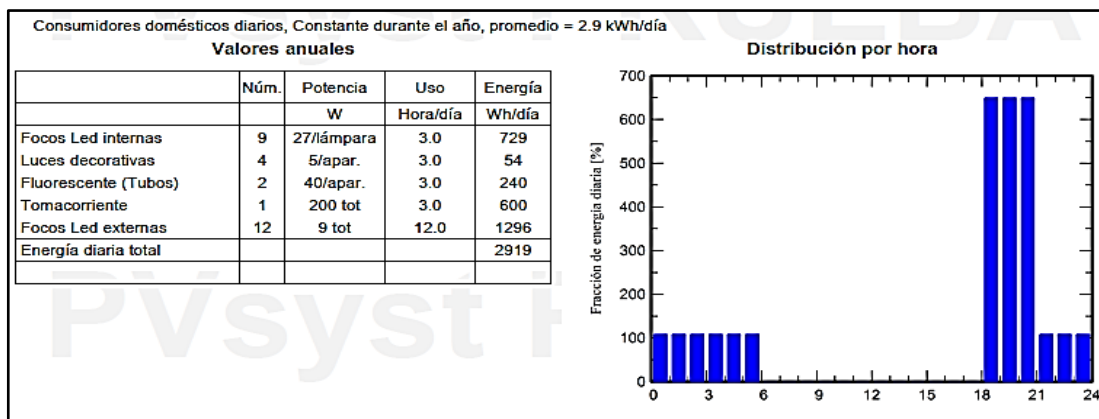


Figura 93. Necesidades detalladas de la iglesia evangélica.

La repartición horaria del consumo muestra dos etapas claramente distintas. El primero se ubica en las primeras horas del día, cerca de las 00:00 a las 06:00, donde se observa un consumo moderado vinculado principalmente a la iluminación básica y cargas permanentes de escasa potencia. El segundo, y más relevante, se enfoca en la jornada nocturna, entre las 18:00 y las 21:00, periodo donde ocurre el mayor porcentaje de la energía diaria requerida. Este incremento se debe a la utilización intensiva de iluminación tanto interior como exterior, además de tomacorrientes, en consonancia con la falta de producción fotovoltaica. En el transcurso de las horas diurnas, el consumo es casi inexistente, puesto que la energía requerida debe ser absorbida en su mayoría por el banco de baterías, lo que impacta directamente en el nivel de descarga y en el porcentaje de su rendimiento.

7.3.7 Resultados del dimensionamiento del sistema FV en PVsyst

Producción del sistema			
Energía solar utilizable	1065.4 kWh/año	Proporción rend. PR	44.17 %
Energía solar disponible	2091.4 kWh/año	Fracción solar (SF)	100.00 %
Exceso (sin usar)	877.2 kWh/año		
Energía de respaldo del generador			
Energía de respaldo	0.0 kWh/año	Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)	
Consumo de combustible	0 litro/año	Ciclos SOW	99.0 %
		SOW estático	90.0 %

Figura 94. Resultados principales del sistema FV.

Lo más importante que se detalla en esta parte es en lo que respecta al almacenamiento, el deterioro de la batería indica un desgaste del 99,0 %, con un SOW estático del 90%, lo que permite determinar que la vida útil de las baterías corre el riesgo, para esto sería importante llevar una adecuada gestión de carga y descarga para mantener el sistema.

7.3.8 Producción de energía por cada kWp instalado

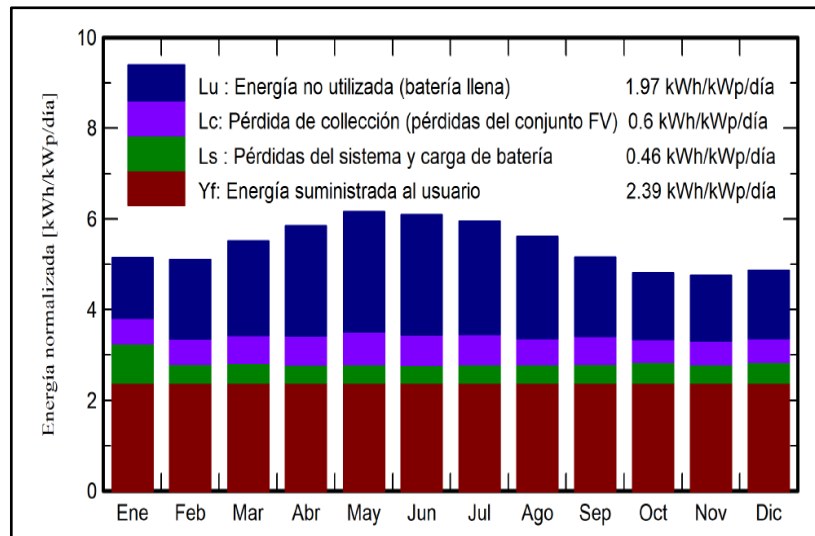


Figura 95. Producción para cada kWp instalado.

El diagrama que muestra en la Figura 95. indica la producción normalizada por cada kWp instalado, lo que permite analizar el desempeño mensual del sistema fotovoltaico sin depender de su potencia total. Cada barra indica la energía diaria promedio generada en cada mes.

La parte principal es Yf, que representa la energía entregada al usuario, con un promedio anual de 2,39 kWh/kWp·día, lo que muestra un buen aprovechamiento de la energía generada. Las pérdidas del sistema y de carga de batería (Ls) son de 0,46 kWh/kWp·día y se deben sobre todo a conversiones, almacenamiento y gestión de la energía.

Las pérdidas de colección del generador fotovoltaico (Lc) son bajas, con 0,6 kWh/kWp·día, lo que indica un buen rendimiento del campo solar ante factores térmicos, eléctricos y de irradiancia. También se observa una fracción de energía no utilizada (Lu) de 1,97 kWh/kWp·día, que ocurre cuando la batería está completamente cargada y la generación supera el consumo.

En los meses centrales del año, la producción es mayor, mientras que en los meses con menos irradiancia la energía útil disminuye, aunque la entrega al usuario se mantiene estable, pero sin embargo se evidencia periodos en los que las baterías se encuentran completamente cargadas y la energía generada no puede ser aprovechada, sugiriendo un sobredimensionamiento del generador FV o una limitada capacidad de almacenamiento.

7.3.9 Evolución mensual de la proporción del rendimiento

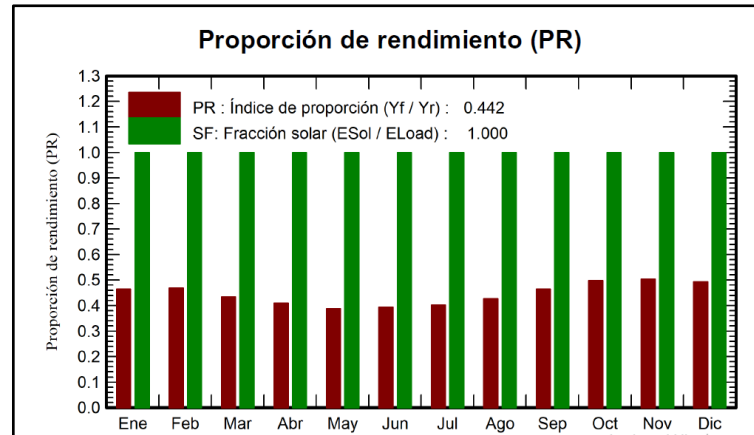


Figura 96. Cobertura de la demanda.

La Figura 96. muestra el nivel de rendimiento (PR) estimado mensual del sistema fotovoltaico junto con la fracción solar (FS). Se observa que la fracción solar se mantiene constante e igual a 1,0 durante todo el año, lo que indica que el sistema solar es capaz de satisfacer el 100% de las necesidades energéticas del usuario sin requerir apoyo de fuentes externas. Sin embargo, el PR promedio es 0,442, que es un valor bajo, lo que indica que una parte importante del recurso solar disponible no se convierte en energía útil para el consumo. Esta reducción en PR se debe principalmente a pérdidas del sistema como limitaciones de almacenamiento, pérdidas durante la carga y descarga de las baterías y períodos en los que el generador produce energía que no se puede utilizar porque las baterías están completamente cargadas. A nivel mensual, PR muestra valores menores en los meses centrales del año y una ligera recuperación hacia el último trimestre, reflejando cambios en el uso eficiente de la irradiancia y la energía producida, aunque el sistema satisface plenamente la demanda, su eficiencia general se puede optimizar.

7.3.10 Balance y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_BkUp kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	188.3	153.3	168.1	50.1	0.00	90.5	90.5	1.000
Febrero	157.1	138.1	151.5	59.4	0.00	81.7	81.7	1.000
Marzo	177.5	166.3	180.8	78.3	0.00	90.5	90.5	1.000
Abril	170.4	171.4	185.8	88.1	0.00	87.6	87.6	1.000
Mayo	174.8	187.3	200.9	99.5	0.00	90.5	90.5	1.000
Junio	163.2	179.2	194.3	96.6	0.00	87.6	87.6	1.000
Julio	167.2	180.6	195.3	93.7	0.00	90.5	90.5	1.000
Agosto	164.7	170.1	186.3	84.6	0.00	90.5	90.5	1.000
Septiembre	157.3	150.8	161.3	63.2	0.00	87.6	87.6	1.000
Octubre	160.4	144.6	157.7	54.9	0.00	90.5	90.5	1.000
Noviembre	166.1	137.6	150.4	52.6	0.00	87.6	87.6	1.000
Diciembre	180.3	144.6	159.1	56.2	0.00	90.5	90.5	1.000
Año	2027.4	1923.9	2091.4	877.2	0.00	1065.4	1065.4	1.000

Figura 97. Balance energético mensual.

La Figura 97. muestra una tabla de resumen el balance energético anual de la planta solar simulada. Se observa una radiación horizontal global anual de 2027,4 kWh/m², correspondiente a 1923,9 kWh/m² efectivos por generador, lo que refleja pérdidas ópticas y térmicas. La energía disponible (E_Avail) alcanza los 2.091,4 kWh/año, mientras que la energía suministrada al usuario (E_User) coincide con la demanda (E_Load) de 1.065,4 kWh/año, confirmando la fracción solar igual a 1,0 en todos los meses. Sin embargo, se registra una cantidad significativa de energía no utilizada (877,2 kWh/año), lo que indica una sobreproducción debido a las limitaciones de demanda y uso que contribuyen a la disminución de la RP global.

7.3.11 Pérdidas energéticas del sistema FV

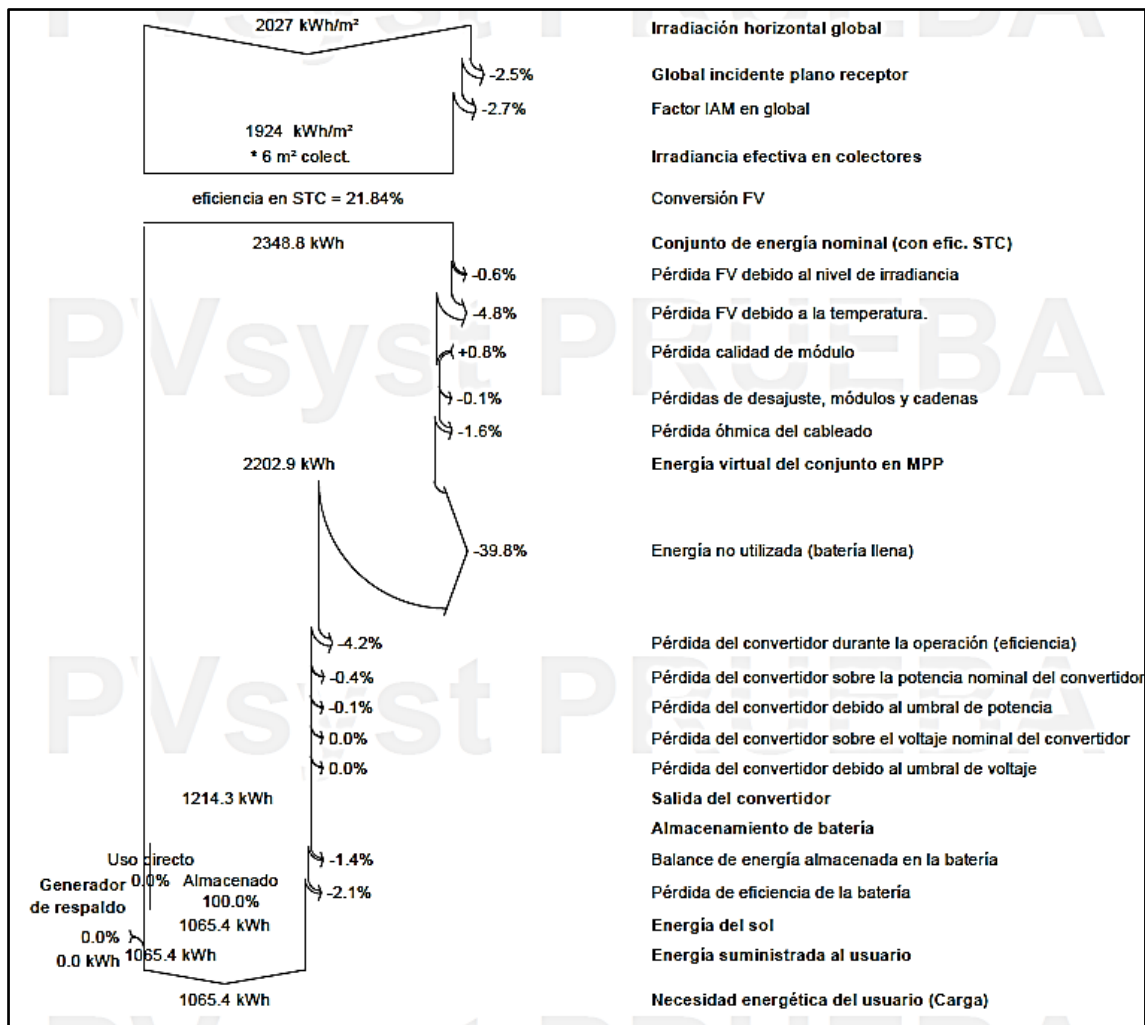


Figura 98. Diagrama de pérdidas energéticas.

El diagrama de pérdidas muestra que, aunque el recurso de energía solar es suficiente (2027 kWh/m² por año) y la eficiencia del módulo en condiciones STC es alta (21,84%), el rendimiento general del sistema está significativamente limitado por las pérdidas operativas

relacionadas principalmente con el almacenamiento. Teniendo en cuenta las pérdidas ópticas y IAM, la radiación efectiva en los colectores solares cae a 1924 kWh/m², lo que da como resultado aproximadamente 2348,8 kWh por panel fotovoltaico. Las pérdidas debidas a temperatura, calidad del módulo, desajustes y cableado son relativamente moderadas y técnicamente aceptables. Sin embargo, el punto crítico del sistema es la energía no utilizada debido a que la carga de la batería se encuentra llena, que se acerca al 39,8%, lo que explica el bajo PR y revela un claro desequilibrio entre la producción fotovoltaica y la capacidad de almacenamiento/consumo. Finalmente, después de las pérdidas en el inversor y la batería, en realidad sólo se entregan al usuario 1.065,4 kWh/año, lo que coincide con la demanda anual. Debido a esto la recomendación es optimizar la relación entre capacidad instalada y almacenamiento, ya sea aumentando la capacidad de la batería, cambiando la carga al día o reduciendo la capacidad fotovoltaica instalada.

7.4 SEGUNDO CASO: “PR” ALTO DEL 80,81%

Para este caso con la misma configuración y orientación del módulo, se procede a realizar el siguiente análisis, para esta simulación se usó 1 solo panel de 610W como se evidencia en la Figura 99.

Módulo PV		Controlador	
Fabricante	Generic	Controlador universal	
Modelo	JKM-650N-78HL4-BDV	Tecnología	Convertidor MPPT
(Base de datos PVSyst original)		Coef. temp.	-5.0 mV/°C/Elem.
Unidad Nom. Potencia	610 Wp	Convertidor	
Número de módulos FV	1 unidad	Eficiencias máxi y EURO	97.0 / 95.0 %
Nominal (STC)	610 Wp	Control de gestión de la batería	
Módulos	1 cadenas x 1 En serie	Comandos de umbral como	Cálculo SOC
En cond. de funcionam. (50°C)		Cargando	SOC = 0.92 / 0.75
Pmpp	603 Wp	aprox.	13.0 / 12.4 V
U mpp	44 V	Descarga	SOC = 0.20 / 0.45
I mpp	14 A	aprox.	11.6 / 12.1 V
		Comando grupo electrógeno	SOC = 0.25/0.45
		aprox.	11.8 / 33.4 V
Potencia FV total			
Nominal (STC)	0.610 kWp		
Total	1 módulos		
Área del módulo	2.8 m ²		
Área celular	2.6 m ²		

Figura 99. Características del panel fotovoltaico.

También el sistema cuenta con un controlador MPPT, este optimiza la recolección de energía solar cuando hay variaciones de irradiación solar y de temperatura.

Para el almacenamiento se utilizó la misma cantidad de baterías para cumplir la demanda de 324,33 Ah para la operación del sistema eléctrico. Para la repartición horaria del consumo del usuario fue el mismo como se evidencia en la Figura 100.

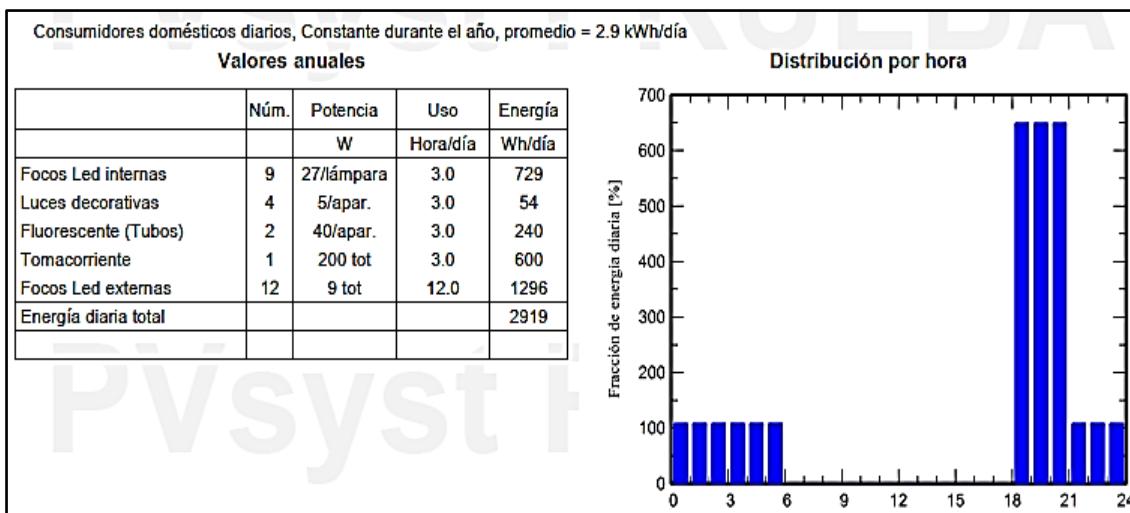


Figura 100. Necesidades detalladas de la iglesia evangélica.

7.4.1 Análisis del PR de acuerdo con el arreglo del sistema FV

Producción del sistema			
Energía solar utilizable	1065.4 kWh/año	Proporción rend. PR	80.81 %
Energía solar disponible	1142.3 kWh/año	Fracción solar (SF)	100.00 %
Exceso (sin usar)	0.0 kWh/año	Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)	
Energía de respaldo del generador		Ciclos SOW	98.9 %
Energía de respaldo	0.0 kWh/año	SOW estático	90.0 %
Consumo de combustible	0 litro/año		

Figura 101. Resultado principal según el arreglo del sistema FV.

Como se evidencia en la Figura 101. la corrección de la proporción de rendimiento (PR) se abordó mediante un redimensionamiento integral de la instalación solar, centrándose en afinar el perfil de generación, almacenamiento y consumo real del usuario. Inicialmente, la baja PR mostró pérdidas significativas relacionadas con el sobredimensionamiento del generador fotovoltaico, lo que resultó en una gran proporción de energía no utilizada debido a la saturación temprana de la batería y la capacidad limitada de absorción de la carga. Como medida correctora, se redujo la capacidad instalada del campo fotovoltaico a un módulo de 610 W, manteniendo inalterada la configuración de stock con dos baterías de 12 V 200 Ah ya homologadas para cubrir la demanda nocturna. Esta decisión permitió reducir las pérdidas de energía no utilizadas, mejorar la conexión entre producción y consumo y optimizar el uso eficiente de la energía producida.

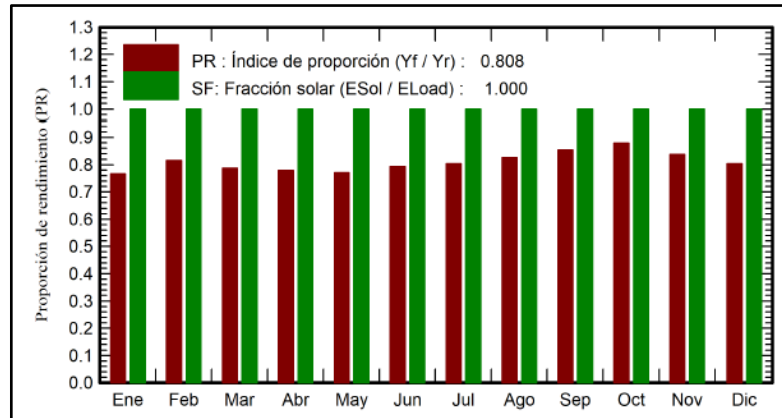


Figura 102. Cobertura de la demanda con PR corregido.

Los resultados de la nueva simulación muestran una mejora significativa en el rendimiento global del sistema el PR aumenta hasta valores cercanos al 80%, la fracción solar se mantiene en el 100% y no se registra consumo de energía de reserva ni producción excesiva de residuos. Además, el funcionamiento del banco de baterías muestra un modo de funcionamiento más estable como se detalla en la Figura 103. con menor carga electroquímica y una condición de desgaste controlada, lo que garantiza una mayor vida útil, puesto que la energía no utilizada (Lu) es nula. Un generador adaptado a la demanda real reduce las pérdidas internas, optimiza la inversión inicial y evita componentes innecesarios. la corrección implementada muestra que un diseño equilibrado no sólo aumenta la eficiencia energética, sino que también garantiza un funcionamiento más sostenible y fiable del sistema solar para la iglesia evangélica.

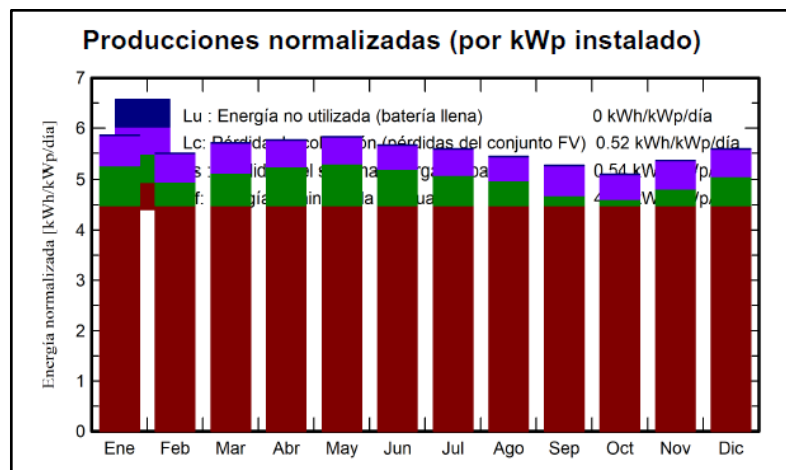


Figura 103. Producción por cada kWp instalado con PR corregido.

7.4.2 Diagrama de pérdidas con PR corregido

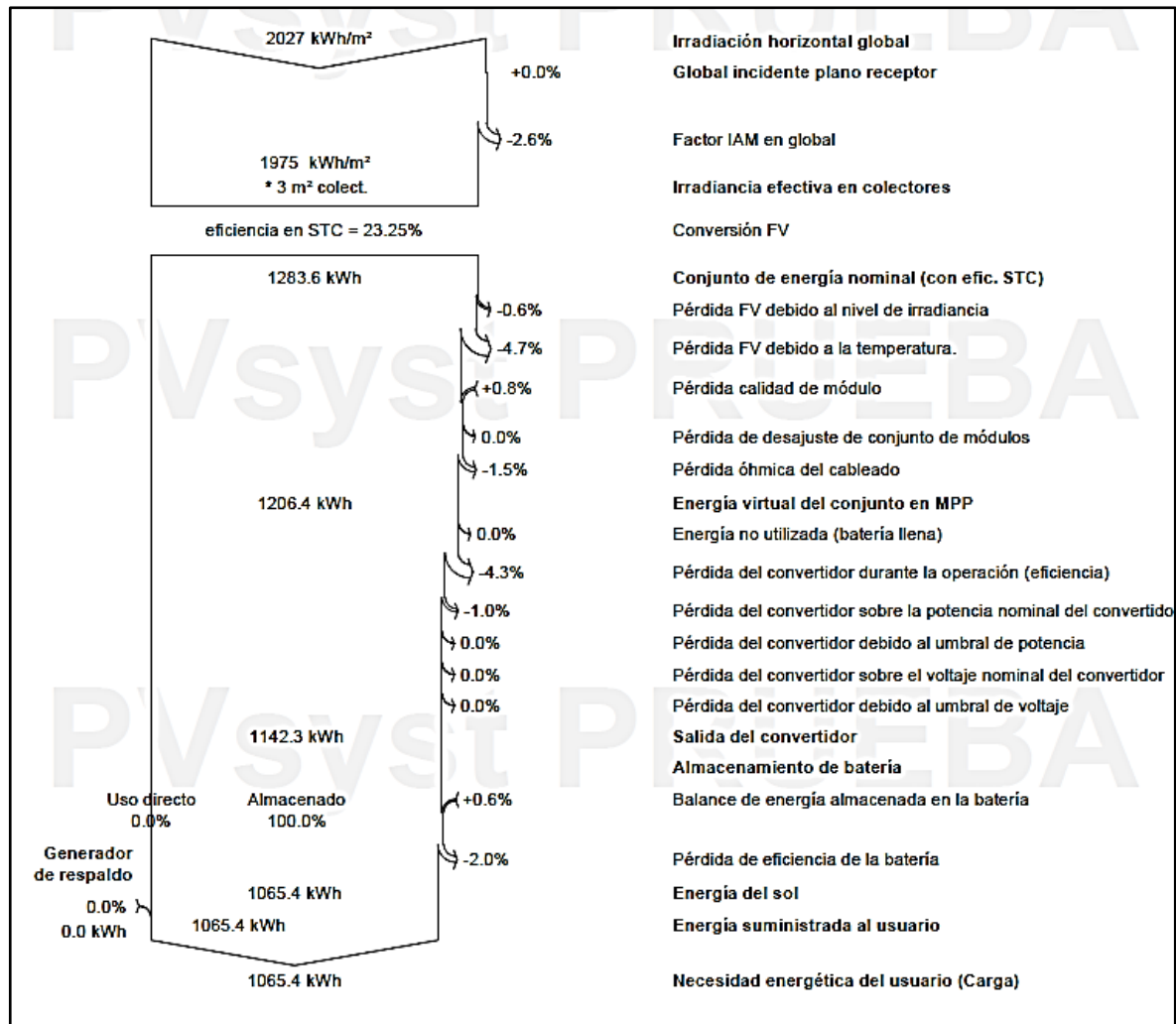


Figura 104. Diagrama de pérdidas del sistema FV tipo Sankey

El diagrama tipo Sankey de la Figura 104. de pérdidas presentado muestra claramente el efecto positivo de la corrección del índice de rendimiento (PR) después de cambiar el tamaño del sistema solar. Basado en la radiación horizontal global anual de 2027 kWh/m², el aporte de energía a nivel del generador no muestra fluctuaciones significativas y se mantiene consistente con las condiciones climáticas del lugar.

Las primeras reducciones corresponden al factor IAM con una modesta pérdida del 2,6% por efectos ópticos por el ángulo de incidencia, consiguiendo una radiación efectiva de 1975 kWh/m² por 3 m² de superficie de colector.

En la etapa de conversión fotovoltaica, la eficiencia del módulo en condiciones STC aumenta hasta el 23,25%, lo que permite alcanzar la energía nominal del generador de 1283,6 kWh/año. Se identifican entonces las pérdidas controladas y técnicamente esperadas: -0,6% por niveles

de radiación, -4,7% por temperatura, parcialmente compensadas con un 0,8% en calidad del módulo, y pérdidas menores por desajuste y cableado, resultando en una energía en el punto de máxima potencia (MPP) de 1206,4 kWh/año.

Un aspecto clave de la corrección PR es la reducción de la energía no utilizada por batería llena, que anteriormente era una fuente importante de ineficiencia. En el nuevo escenario, la energía generada se acopla de manera más eficiente al almacenamiento, lo que reduce las pérdidas posteriores.

Las pérdidas del convertidor siguen siendo bajas: -4,3% para eficiencia y -1,0% para potencia nominal, sin pérdidas debido a umbrales de voltaje o potencia. Finalmente, se tiene en cuenta una pérdida de eficiencia de la batería del 2,0% tras el proceso de almacenamiento, proporcionando al usuario 1.065,4 kWh/año, valor que coincide con la demanda energética anual. Este balance muestra que la corrección PR ha optimizado el flujo de energía del sistema, minimizado las pérdidas evitables y logrando una operación más eficiente, estable y consistente con la carga real del usuario.

8. ESTUDIO A FUTURO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ALUMBRADO ORNAMENTAL EN EL PATIO DE LA IGLESIA EVANGÉLICA

Este estudio elabora un trabajo prospectivo sobre la instalación de un sistema de iluminación ornamental en el patio de la Iglesia Evangélica Aliento de Vida en Alpamalag. Al ser un trabajo prospectivo, su objetivo es sentar los parámetros técnicos y de diseño que puedan servir de referencia en una futura eventual implementación. Para este proceso se empleó el software DIALux para el análisis de las condiciones de iluminación.

Con los resultados obtenidos, es posible evaluar los resultados del diseño propuesto. Esto asegura que la intervención cumpla con los requisitos de eficiencia energética, confort visual y, en la medida de lo posible, los requisitos estéticos de la iglesia.

8.1 Marco normativo

El presente estudio está respaldado por el Reglamento N.º ARCERNNR-007/23 a través de la Resolución N.º ARCERNNR-020/2023, donde la iluminación ornamental pública se define como la iluminación destinada a parques, plazas, iglesias y monumentos con luminarias diseñadas en base a criterios estéticos y no según los niveles requeridos para la iluminación

pública general. Es decir que, al tratarse de un espacio administrado por la iglesia, la aprobación del diseño de iluminación ornamental corresponde a su directiva, sin perjuicio del cumplimiento de la normativa eléctrica y de las ordenanzas municipales aplicables.

8.2 Descripción del área de estudio

Para este paso se detalla el lugar de análisis, el patio general cuenta con un área de 410 m^2 que queda junto a la iglesia, el uso que se da al lugar es exclusivamente para el acceso de los miembros, parqueadero de autos, eventos, reuniones de carácter social y religioso. Cabe mencionar que el lugar cuenta con un cerramiento que cubre toda la iglesia, que dicho lugar cuenta con un área de 1185 m^2 en su totalidad.

8.3 Diseño par el alumbrado ornamental

8.3.1 Plano arquitectónico

Para el diseño de alumbrado ornamental se desarrolló el plano arquitectónico del patio general de la iglesia en AutoCAD, que fue el plano en el cual se trabajó. Las medidas dentro del plano arquitectónico del patio corresponden a 410 m^2 . Los resultados obtenidos al ingresar los datos correspondientes al software de simulación deben ser exactos y precisos en base al plano de trabajo. Una vez establecido el plano de trabajo. Se ingresan los datos en el software DIALux, para lograr identificar las luminarias necesarias para el alumbrado ornamental.

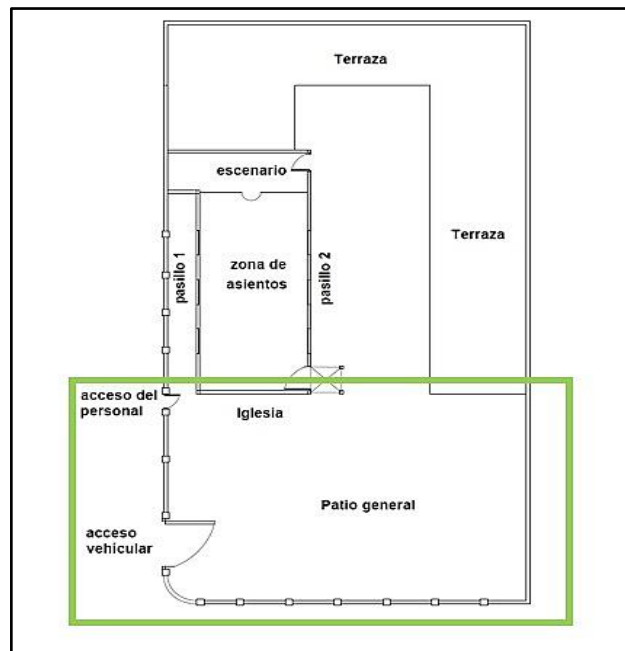


Figura 105. Delimitación del área para la iluminación ornamental.

Como podemos observar en la Figura 105. esta delimitada la zona del estudio para el alumbrado ornamental en un recuadro de color verde como patio general.

8.3.2 Cálculo de la cantidad de luminarias y tipo de montaje

8.3.2.1 Luminarias

Para la prospección del proyecto de iluminación ornamental se consideró luminarias Led con una capacidad de 50 W, las características completas se detallan en la Tabla 27.



Figura 106. Luminaria Ledex.

Tabla 27. Características de la luminaria Ledex.

Luminaria Ledex	
CODIGO: SKU L18007	
Potencia	50 W
Temperatura	4000 K
Flujo luminoso	6000 lm
Grado de protección	IP65

Para la estimación del nivel de iluminación que se debe cumplir en el patio general se adopta en base a la normativa americana para exteriores especificada en el software de DIALux con un nivel de 50 lx para parqueaderos y tránsito de peatones (Parking Loks; Pedestrian Transaction Areas) como se detalla en la siguiente Figura 107.

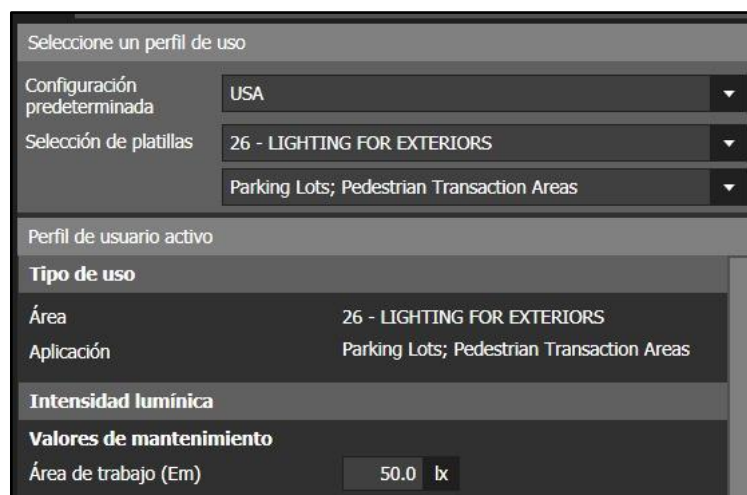


Figura 107. Adaptación de lx de acuerdo a la norma americana.

De acuerdo a las características de la luminaria y el nivel de lx que se debe cumplir, mediante la ecuación se procede con el cálculo del número necesario para cubrir el área comprendida del patio general.

$$\Phi_{Total} = E \cdot A$$

$$\Phi_{Total} = 50 \text{ lx} \cdot 410^2 = 20500 \text{ lm}$$

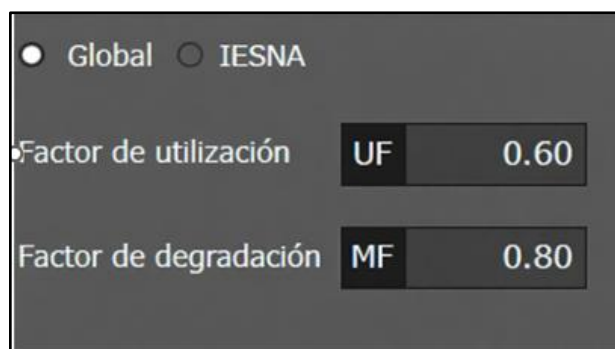


Figura 108. Factor de utilización y degradación.

En la Figura 108. se muestran los valores UF= 0,60 y MF= 0,80, datos que por defecto son establecidos por la normativa seleccionada. Con esto se procede a calcular el flujo luminoso real mediante la ecuación (39).

$$\Phi_{Real} = \frac{lm}{UF \cdot MF} \quad (39)$$

$$\Phi_{Real} = \frac{20500 \text{ lm}}{0,6 \cdot 0,8} = 42708 \text{ lm}$$

Entonces la cantidad de luminarias para la zona es:

$$N_{l\u00e1mparas} = \frac{\Phi_{Real}}{\Phi_{lm}} \quad (40)$$

$$N_{l\u00e1mparas} = \frac{42708 \text{ lm}}{6000 \text{ lm}} = 7,11 \approx 8 \text{ luminarias}$$

8.3.2.2 Montaje

El tipo de montaje que se consider\u00f3 para la simulaci\u00f3n fue postes ornamentales de una altura de 4 metros de acuerdo al nivel de lx que se debe cumplir para la zona de trabajo a iluminar.

8.3.3 Simulaci\u00f3n del sistema de iluminaci\u00f3n ornamental

Para la simulaci\u00f3n de la iluminaci\u00f3n del patio general se ubic\u00f3 los postes a una distancia de 6, 50 m respectivamente en el \u00e1rea de trabajo tal y como se observa en la Figura 109.

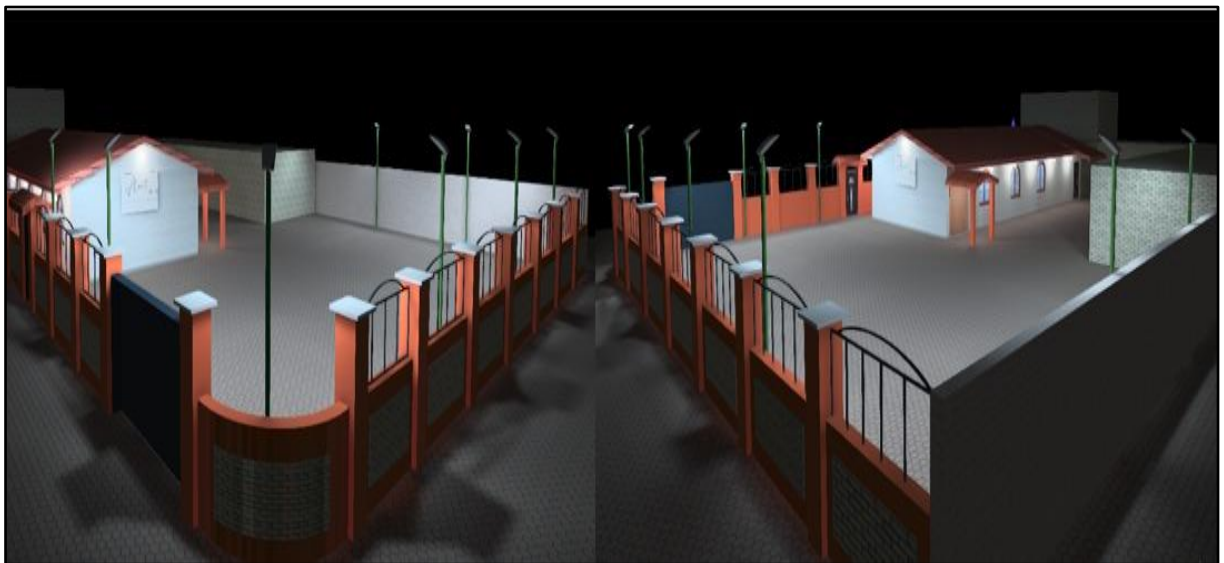


Figura 109. Simulaci\u00f3n del sistema de iluminaci\u00f3n ornamental.

Despu\u00e9s de haber realizado la simulaci\u00f3n claramente se evidencia la escena de iluminaci\u00f3n del patio con sus respectivos postes y l\u00e1mparas empotradas en la misma. Para visualizar la distribuci\u00f3n de la iluminancia sobre el \u00e1rea, a continuaci\u00f3n, se presenta la gr\u00e1fica de los colores falsos en donde cada color corresponde a un nivel de iluminaci\u00f3n en lux, de esta manera se pudo visualizar las zonas que cumplen con el nivel de iluminaci\u00f3n estipulado.

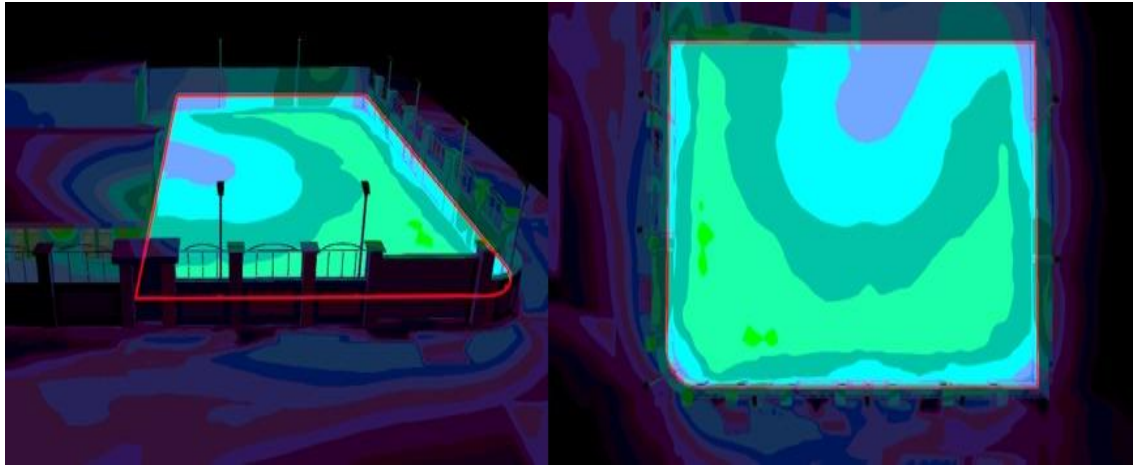


Figura 110. Distribución de la iluminación en el patio general.

De la Figura 110. presenta el mapa de colores falsos de la iluminación de la simulación final del patio general, con una inclinación del haz luminoso de 30° hacia el interior del área evidenciado en la Figura 111. para una proyección uniforme del flujo luminoso sobre la superficie útil.

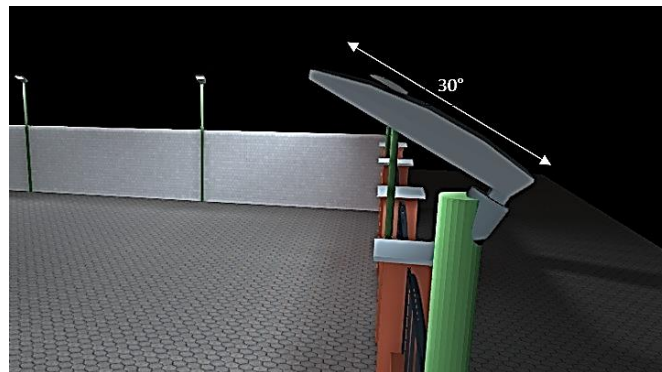


Figura 111. Angulo de inclinación de las luminarias Led.

patio general		
64.5 lx	41.4	
Plan...(Iluminancia perpendicular)		
	Real	Nominal
Media	64.5 lx	≥ 50.0 lx
Min	1.71 lx	-
Max	229 lx	-
Medio/mín	41.4	≤ 4.00
Máx/Mín	134	-
Parámetros		

Figura 112. Sumario de resultados del flujo luminoso para el patio general.

Con toda esta configuración se evidencia que el sistema cumple con el nivel de iluminancia estipulada de 50 lux, el mapa presenta tonos de color verde lo que indica la uniformidad de la iluminación, y de color celeste presenta zonas en donde hay un índice muy leve de la calidad de distribución.

Del estudio realizado en la sección 7.3 y el estudio de prospección para la iluminación del patio general queda como base la factibilidad y viabilidad para su implementación a futuro, esto facilitará que, para la nueva carga a implementar el sistema FV pueda mejorar su índice de rendimiento “PR” aprovechando eficientemente la energía solar disponible en energía eléctrica útil.

9. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR Y SUGERENCIA PARA AUMENTAR EL NÚMERO DE BATERÍAS CON EL FIN DE OPTIMIZAR LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA

El resultado de que el valor de la proporción de rendimiento (PR) obtenido en la simulación PVsyst sea bajo no está relacionado con un sobredimensionamiento de los paneles solares, sino por las restricciones en el uso de la energía producida, causadas por el patrón de consumo y por una capacidad disminuida de almacenamiento por parte de las baterías. Debido a que se trata de un sistema Off Grid, una fracción relevante de la energía generada en las horas con más irradiación no es aprovechada, lo cual aumenta las pérdidas del sistema y disminuye el PR global. Por otra parte, el estudio de la prospección para la iluminación del patio exterior evidencia que, con una adecuada distribución de las luminarias y la regulación del haz luminoso, se puede conseguir un nivel medio de iluminancia de 50 lux, apropiado para su empleo como parqueadero o lugar para eventos varios, este estudio abre la oportunidad de añadir la iluminación exterior como una carga eléctrica adicional en el sistema, que puede ser parcialmente proveída por la generación fotovoltaica actual.

Los paneles solares instalados tienen la capacidad de generación de energía necesaria, para cubrir, desde un punto de vista prospectivo, no solo la demanda presente sino también la demanda adicional correspondiente a la iluminación del patio. Sin embargo, para potenciar el uso de esta generación y optimizar el PR del sistema, es necesario aumentar la capacidad de almacenamiento, lo que permite trasladar la energía generada durante las horas del día a los periodos nocturnos con mayor consumo.

Por lo tanto, el incremento del banco de baterías se propone como una estrategia fundamental para optimizar, porque posibilitaría disminuir las pérdidas por energía no utilizada, aumentar el rendimiento total del sistema y asegurar un funcionamiento a largo plazo más eficaz y sostenible.

10. PRUEBAS DEL VOLTAJE AC DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

10.1.1 Pruebas de tensión de los dispositivos fotovoltaicos

Para que el sistema fotovoltaico Off Grid del presente proyecto, se encuentre en óptimas condiciones y cumpla satisfactoriamente su funcionalidad el cual es de, abastecer parcialmente de energía eléctrica la iglesia evangélica, por ende, se deben realizar pruebas de niveles de tensión los cuales, a continuación, se detallan de mejor manera.

10.1.2 Voltaje AC de la red eléctrica Elepco S.A

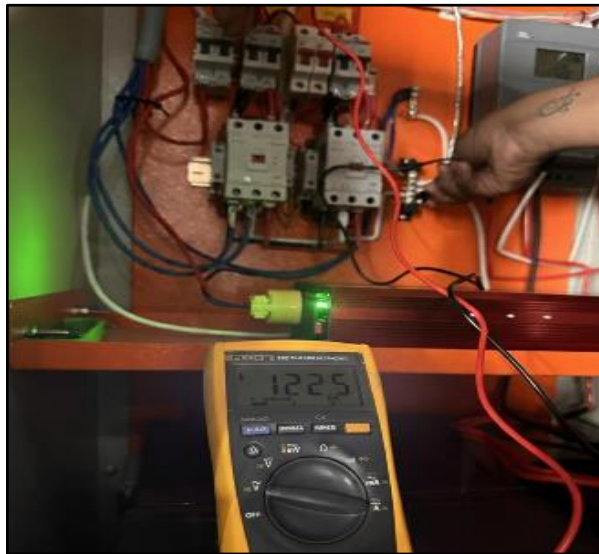


Figura 113. Nivel de tensión de la red eléctrica.

El voltaje que se observa en la Figura 113. corresponde a la red eléctrica de Elepco S.A con un valor de 122,5 V en corriente alterna. Esta variación se produce por las pérdidas en los conductores para el suministro de energía eléctrica.

10.1.3 Voltaje del sistema FV en AC

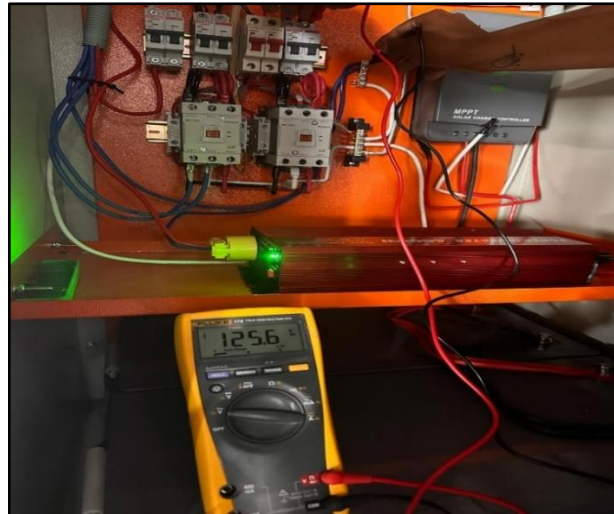


Figura 114. Nivel de tensión del sistema FV en AC.

La Figura 114. se evidencia el sistema fotovoltaico en operación, presenta un voltaje AC de 125,6 V, de acuerdo con la Normativa ARCERNNR-001/2021 aplicable a sistemas de generación de energías renovables pues esta especifica que los equipos de conversión DC-AC deben asegurar que los niveles de tensión sean iguales con los valores normalizados del sistema eléctrico de baja tensión en Ecuador.

11. PRUEBAS DEL VOLTAJE DC DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

11.1.1 Voltaje DC de baterías hacia el controlador MPPT

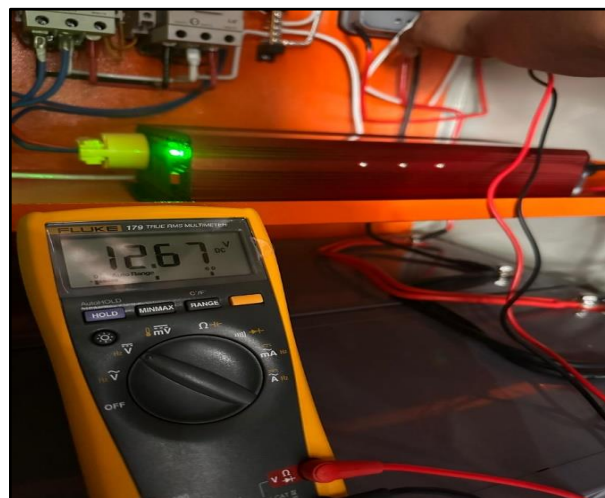


Figura 115. Nivel de voltaje desde la batería hacia el controlador.

La medición de voltaje en corriente directa de 12,67 V de la Figura 115. corresponde al análisis del recorrido de la energía desde las baterías hacia el controlador MPPT.

11.1.2 Voltaje DC de baterías hacia el inversor



Figura 116. Nivel de voltaje desde la batería hacia el inversor.

En la Figura 116. se evidencia la medición del voltaje de corriente directa de 12,57 V corresponde al análisis realizado desde la batería hacia el inversor.

11.1.3 Voltaje DC de los paneles FV hacia el controlador MPPT



Figura 117. Nivel de voltaje desde los paneles hacia el controlador.

Durante esta etapa de verificación del valor del voltaje de corriente continua proveniente desde los paneles solares hasta las entradas del controlador como se evidencia en la Figura 117. Este corresponde a un valor de 38,91 V, este dato registrado se encuentra acorde con el voltaje nominal especificado en la placa del fabricante de los paneles solares.

11.1.4 Estado operativo del controlador MPPT



Figura 118. Visualización de carga y voltaje del banco de baterías.

Como se puede observar en la Figura 118, se evidencia los iconos de operatividad de los equipos que conforman todo el sistema fotovoltaico y también el nivel de carga y descarga de las baterías.

12. CARGA Y DESCARGA DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

En este apartado se dará a conocer la profundidad de descarga de la batería, los cuales se consideraron cinco casos diferentes para su análisis, los mismos son: funcionamiento de todo el sistema, iluminación interna y externa, iluminación solo interna, iluminación solo externa y por último el sistema de fuerza del proyecto, el sistema de almacenamiento está conformado por dos baterías de 200Ah a un nivel de voltaje de 12V.

CASO 1: Iluminación interna + iluminación externa +Toma

12.1.1.1 Parámetros preliminares para la carga y descarga de la batería

Para el primer caso, la potencia en AC considerando todo el sistema en funcionamiento, dio como resultado un valor de 849 Watts tal y como se puede observar a continuación:

$$P_{AC} = P_{interna} + P_{externa} + P_{fuerza}$$

$$P_{AC} = 341 \text{ Watts} + 108 \text{ Watts} + 400 \text{ Watts}$$

$$P_{AC} = 849 \text{ Watts}$$

La eficiencia del inversor MPPT que se encuentra instalado es de $\eta = 0,90$ lo cual se tendrá:

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta}$$

$$P_{DC} = \frac{849 \text{ Watts}}{0,90} = 943 \text{ Watts}$$

Al realizar las respectivas mediciones nos arrojó un valor de 78,6 A de corriente real de descarga de las baterías, tal y como se evidencia en la Figura 119. :



Figura 119. Corriente real de descarga de todo el sistema en operación.

$$I_{real,medida} = \frac{P_{DC}}{V_{bateria}}$$

$$I_{real,medida} = \frac{943 \text{ Watts}}{12V}$$

$$I_{real,medida} = 78,6 \text{ A}$$

La energía útil de las baterías se consideró en un 90% para aprovechar toda la capacidad disponible, a continuación, se muestra la energía total y útil de la batería instalada.

$$E_{total,bateria} = 12V \cdot 400 \text{ Ah}$$

$$E_{total,bateria} = 4800 \text{ Wh}$$

Por lo cual se tiene:

$$E_{util,bateria} = 4800 \text{ Wh} \cdot 0,90 = 4320 \text{ Wh}$$

12.1.1.2 Profundidad de descarga de la batería

La profundidad de descarga de batería es del 90%, manteniendo un estado de la batería del 10%

$$DoD = 90\% ; \quad SOC = 100\% - 90\% = 10\%$$

12.1.1.3 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería en el caso 1, es de:

$$t_{max,descarga} = \frac{4320 \text{ Wh}}{943 \text{ Watts}} = 4,58 \text{ h} \approx 4 \text{ h}$$

$$0,58 \cdot 60 = 35 \text{ min}$$

$$t_{max,descarga} = 4 \text{ h}, 35 \text{ min}$$

En la Tabla 28 se muestra la energía descarga acumulada de las baterías de Gel del caso 1, además, se evidencia el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje respectivamente.

Tabla 28. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
18:00 pm	100	0	13,8
19:00 pm	82	820	13,42
20:00 pm	65	1640	13,05
21:00 pm	48	2460	12,68
22:00 pm	30	3280	12,15
22:35 pm	10	4320	11,4

Como se puede observar en la Figura 120. el banco de baterías se descarga al límite de 11,4 V en 4h con 22 minutos, con una operación del 90% del banco de baterías, lo cual demuestra que las baterías no satisfacen en su totalidad la demanda eléctrica del sistema, considerando el funcionamiento continuo de todo el sistema, es decir: luminarias internas, externas y tomas, lo cual cumple con el propósito del proyecto ya que se estimó la demanda parcial de la iglesia y no su totalidad.

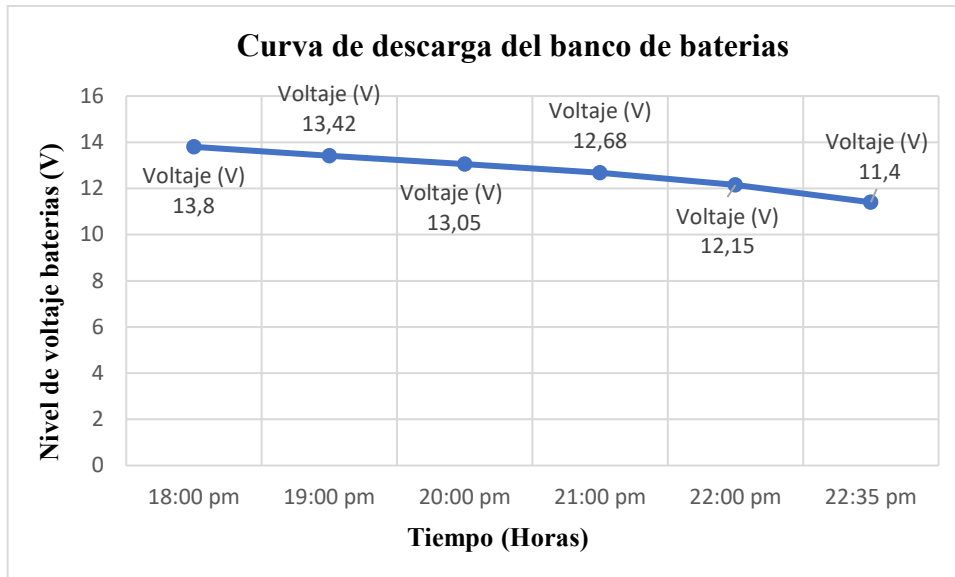


Figura 120. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.1.4 Tiempo de carga de la batería

En primer lugar, se determina la potencia fotovoltaica instalada, se consideró una eficiencia de $\eta = 90\%$ para los cálculos de la potencia real y la energía a reponer.

$$P_{Fv} = N^{\circ} \text{ paneles} \cdot P_{\text{panel}}$$

$$P_{Fv} = 2 \cdot 610 \text{ Watts} = 1220 \text{ Watts}$$

- Potencia real:

$$P_{\text{real}} = 1220 \text{ Watts} \cdot 0,90$$

$$P_{\text{real}} = 1098 \text{ Watts}$$

- Potencia a reponer:

$$E_{\text{entrada}} = \frac{E_{\text{util}, \text{batería}}}{\eta}$$

$$E_{\text{entrada}} = \frac{4320 \text{ Wh}}{0,90} = 4800 \text{ Wh}$$

Posteriormente el tiempo de carga de la batería en el caso 1, es de

$$t_{\text{carga}, \text{batería}} = \frac{E_{\text{entrada}}}{P_{\text{real}}}$$

$$t_{\text{carga}, \text{batería}} = \frac{4800 \text{ Wh}}{1098 \text{ Watts}} = 4,37h \approx 4h$$

$$0,37 \cdot 60 = 22 \text{ min}$$

$$t_{\text{carga,bateria}} = 4\text{h}, 22 \text{ min}$$

En la Tabla 29 se muestra la energía almacenada acumulada de las baterías de Gel del sistema fotovoltaico Off Grid, se evidencia además el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje del caso 1.

Tabla 29. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
8:00 a. m.	10	0	11,4
9:00 a. m.	35	1098	12,65
10:00 a. m.	60	2196	13,18
11:00 a. m.	80	3294	13,52
12:00 p. m.	95	4020	13,72
12:22 p. m.	100	4800	13,8

En la Figura 121. se muestra el comportamiento de carga de la batería, el cual se puede evidenciar el tiempo de carga de 4 h con 22 minutos, alcanzando su nivel de voltaje más alto de 13,8 V, de esta forma el sistema de almacenamiento se encuentra cargado para nuevamente abastecer la demanda parcial de la iglesia la cual está conformada por iluminación interna, externa y una toma de fuerza.

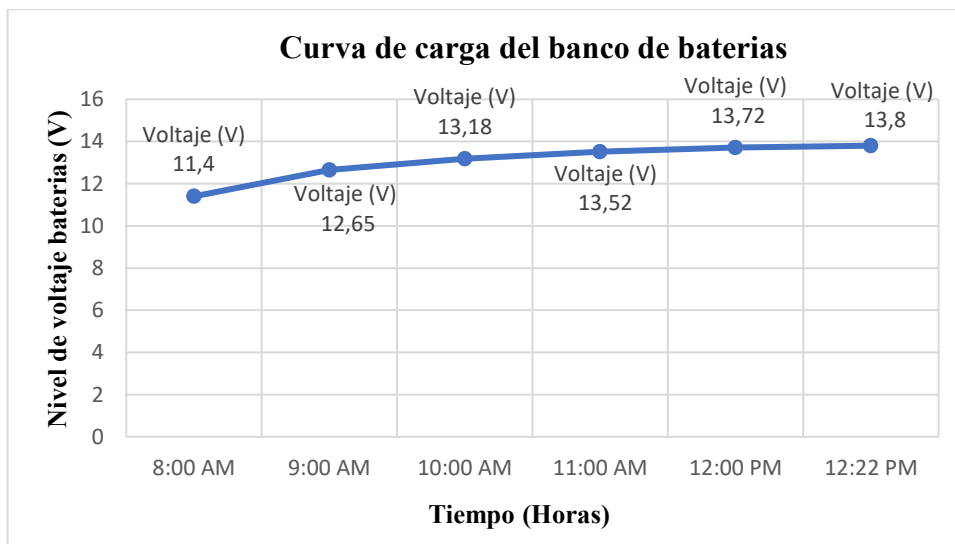


Figura 121. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.2 CASO 2: Iluminación interna + iluminación externa

Para el segundo caso, la potencia en AC solo considerando la iluminación interna y externa dio como resultado un valor de 449 Watts tal y como se puede observar a continuación:

$$P_{AC} = P_{interna} + P_{externa}$$

$$P_{AC} = 341 \text{ Watts} + 108 \text{ Watts}$$

$$P_{AC} = 449 \text{ Watts}$$

La eficiencia del inversor MPPT que se encuentra instalado es de $\eta = 0,90$ lo cual se tendrá:

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta}$$

$$P_{DC} = \frac{449 \text{ Watts}}{0,90} = 499 \text{ Watts}$$

Al realizar las respectivas mediciones nos arrojó un valor de 41,6 A de corriente real de descarga de las baterías, tal y como se evidencia en la Figura 122. :



Figura 122. Corriente real de descarga del sistema de iluminación interna y externa.

$$I_{real,medida} = \frac{P_{DC}}{V_{bateria}}$$

$$I_{real,medida} = \frac{499 \text{ Watts}}{12V}$$

$$I_{real,medida} = 41,6 \text{ A}$$

La energía útil de las baterías se consideró en un 90% para aprovechar toda la capacidad disponible, a continuación, se muestra la energía total y útil de la batería instalada.

$$E_{total,batería} = 12V \cdot 400 Ah$$

$$E_{total,batería} = 4800 Wh$$

Por lo cual se tiene:

$$E_{util,bateria} = 4800 Wh \cdot 0,90 = 4320 Wh$$

La energía consumida de las luminarias internas y externas en un tiempo de 6 horas es:

$$E_{consumida,6h} = 499 Watts \times 6 horas$$

$$E_{consumida,6h} = 2994 Wh$$

12.1.2.1 Profundidad de descarga

Posteriormente se determina la profundidad de descarga y el estado de carga del banco de baterías para el caso 2 el cual se considera la iluminación interna y externa:

$$DoD = \frac{2994 Wh}{4800 Wh} \cdot 100 \%$$

$$DoD = 62,3\%$$

$$SOC = 100\% - 62,3\% = 37,7\%$$

12.1.2.2 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería en el caso 2, es de:

$$t_{max,descarga} = \frac{4320 Wh}{499 Watts} = 8,65 h \approx 8h$$

$$0,65 \cdot 60 = 39 min$$

$$t_{max,descarga} = 8h, 39 min$$

En la Tabla 30 se muestra la energía descarga acumulada de las baterías de Gel del caso 2, además, se evidencia el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje respectivamente.

Tabla 30. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
18:00 pm	100	0	13,8
19:00 pm	90	499	13,58
20:00 pm	79	998	13,38
21:00 pm	69	1497	13,08
22:00 pm	58	1996	12,92
23:00 pm	48	2495	12,83
12:00 a.m.	38	2994	12,72

Como se puede observar en la Figura 123. el banco de baterías se descarga al límite de 12,72 V en 8h con 39 minutos, con una operación del 90% del banco de baterías, lo cual demuestra que el banco de baterías puede abastecer sin ningún problema tanto la iluminación interna como externa de la iglesia evangélica ya que no llega a su límite de profundidad de descarga.

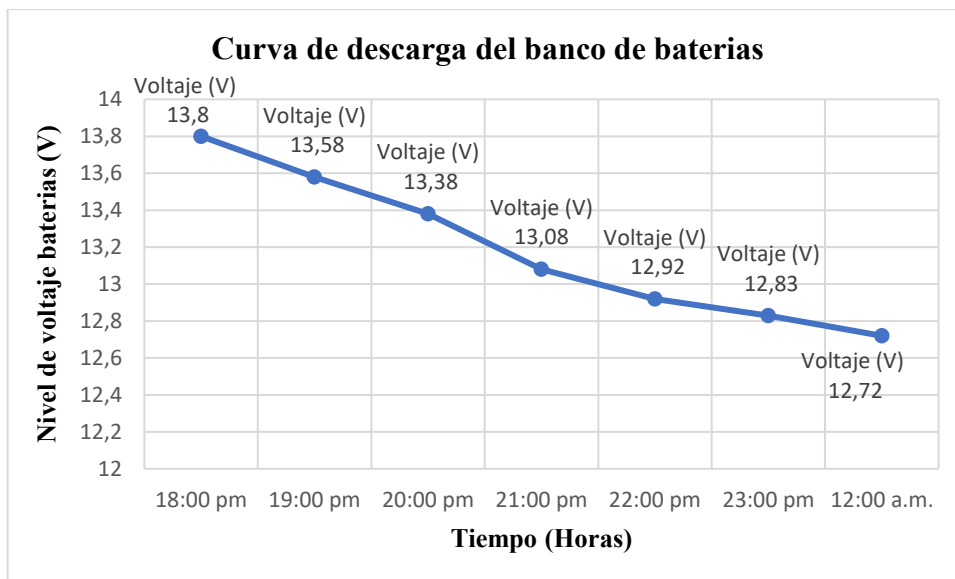


Figura 123. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.2.3 Tiempo de carga de la batería

En primer lugar, se determina la potencia fotovoltaica instalada, se consideró una eficiencia de $\eta = 90\%$ para los cálculos de la potencia real y la energía a reponer.

$$P_{Fv} = N^{\circ}_{paneles} \cdot P_{panel}$$

$$P_{Fv} = 2 \cdot 610 \text{ Watts} = 1220 \text{ Watts}$$

- Potencia real:

$$P_{real} = 1220 \text{ Watts} \cdot 0,90$$

$$P_{real} = 1098 \text{ Watts}$$

- Energía a reponer:

$$E_{entrada} = \frac{E_{consumida,6h}}{\eta}$$

$$E_{entrada} = \frac{2994 \text{ Wh}}{0,90} = 3327 \text{ Wh}$$

Posteriormente el tiempo de carga de la batería en el caso 2, es de

$$t_{carga,bateria} = \frac{E_{entrada}}{P_{real}}$$

$$t_{carga,bateria} = \frac{4800 \text{ Wh}}{1098 \text{ Watts}} = 3,03h \approx 3h$$

$$0,03 \cdot 60 = 2 \text{ min}$$

$$t_{carga,bateria} = 3h, 2 \text{ min}$$

En la Tabla 31 se muestra la energía almacenada acumulada de las baterías de Gel del sistema fotovoltaico Off Grid, se evidencia además el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje del caso 2.

Tabla 31. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
8:00 a.m.	38	0	12,68
9:00 a.m.	60	1098	13,12
10:00 a.m.	80	2196	13,52
11:00 a.m.	95	3294	13,77
11:02 a.m.	100	3327	13,84

En la Figura 124. se muestra el comportamiento de carga de la batería, el cual se puede evidenciar el tiempo de carga de 3 h con 02 minutos, alcanzando su nivel de voltaje más alto de 13,84 V, de esta forma el sistema de almacenamiento se encuentra cargado para nuevamente

abastecer la demanda parcial de la iglesia la cual está conformada por la iluminación interna y externa.

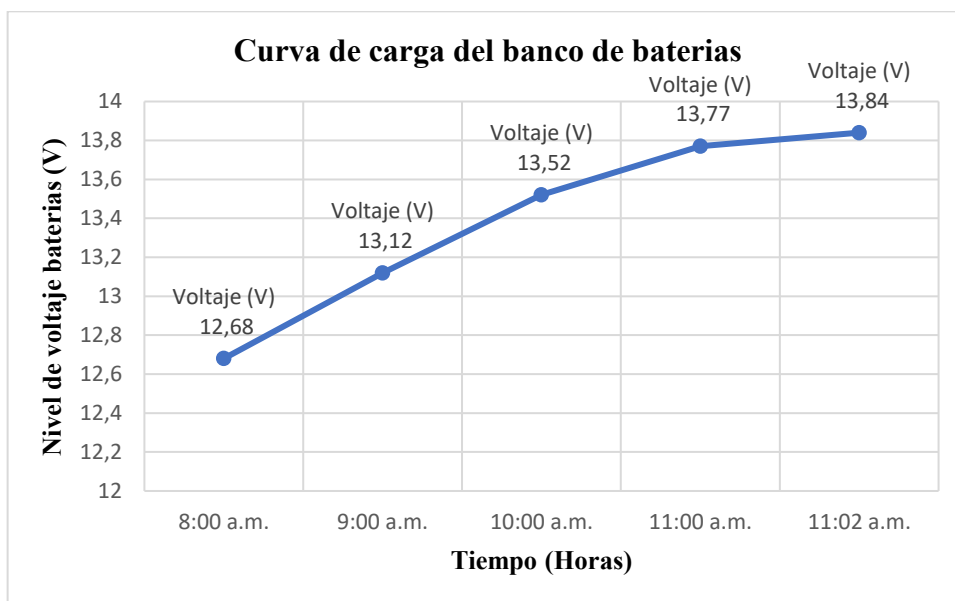


Figura 124. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.3 CASO 3: Iluminación externa

Para el análisis de este caso hay que tomar en cuenta, que el sistema fotovoltaico se diseñó en principio para una autonomía de 12 horas de operación solo para la iluminación externa. Sin embargo, debido a los requerimientos de los señores miembros de la iglesia, se estimó una gestión horaria de operación de la iluminación externa mediante la implementación de un temporizador digital programado para 6 horas, mediante esta optimización beneficia el ahorro del recurso energético por parte de las baterías.



Figura 125. Instalación del temporizador digital.

Después de la instalación del temporizador digital como se observa en la Figura 125. se parte con el análisis de carga y descarga del banco de baterías para el tiempo estipulado para las 6 horas de operación.

Para este análisis, la potencia en AC solo considerando la iluminación externa dio como resultado un valor de 108 Watts tal y como se puede observar a continuación:

$$P_{AC} = P_{externa}$$

$$P_{AC} = 108 \text{ Watts}$$

La eficiencia del inversor MPPT que se encuentra instalado es de $\eta = 0,90$ lo cual se tendrá:

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta}$$

$$P_{DC} = \frac{108 \text{ Watts}}{0,90} = 120 \text{ Watts}$$

Al realizar las respectivas mediciones nos arrojó un valor de 10.5 A de corriente real de descarga de las baterías, tal y como se evidencia en la Figura 126. :



Figura 126. Corriente real de descarga del sistema de iluminación externa.

$$I_{real,medida} = \frac{P_{DC}}{V_{bateria}}$$

$$I_{real d,medida} = \frac{120 \text{ Watts}}{12V}$$

$$I_{real,medida} = 10.5 \text{ A}$$

La energía útil de las baterías se consideró en un 90% para aprovechar toda la capacidad disponible, a continuación, se muestra la energía total y útil de la batería instalada.

$$E_{total,batería} = 12V \cdot 400 Ah$$

$$E_{total,batería} = 4800 Wh$$

Por lo cual se tiene:

$$E_{util,bateria} = 4800 Wh \cdot 0,90 = 4320 Wh$$

La energía consumida de las luminarias externas en un tiempo de 6 horas es:

$$E_{consumida,6h} = 120 Watts \times 6 horas$$

$$E_{consumida,6h} = 720 Wh$$

12.1.3.1 Profundidad de descarga

Posteriormente se determina la profundidad de descarga y el estado de carga del banco de baterías para el caso 3 el cual se considera la iluminación externa:

$$DoD = \frac{720 Wh}{4800 Wh} \cdot 100 \%$$

$$DoD = 15\%$$

$$SOC = 100\% - 15\% = 85\%$$

12.1.3.2 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería en el caso 3, es de:

$$t_{max,descarga} = \frac{4320 Wh}{120 Watts} = 36 h$$

$$t_{max,descarga} = 36 h$$

En la Tabla 32 se muestra la energía descarga acumulada de las baterías de Gel del caso 3, además, se evidencia el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje respectivamente.

Tabla 32. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
18:00 pm	100	0	13,8
19:00 pm	97	120	13,76
20:00 pm	94	240	13,69

21:00 pm	91	360	13,66
22:00 pm	88	480	13,59
23:00 pm	86	600	13,56
12:00 a.m.	85	720	13,48

Como se puede observar en la Figura 127. el banco de baterías se descarga al límite de 13,48 V en 36h, con una operación del 90% del banco de baterías, lo cual demuestra que el banco de baterías puede abastecer sin ningún problema la iluminación externa de la iglesia evangélica ya que no llega a su límite de profundidad de descarga.

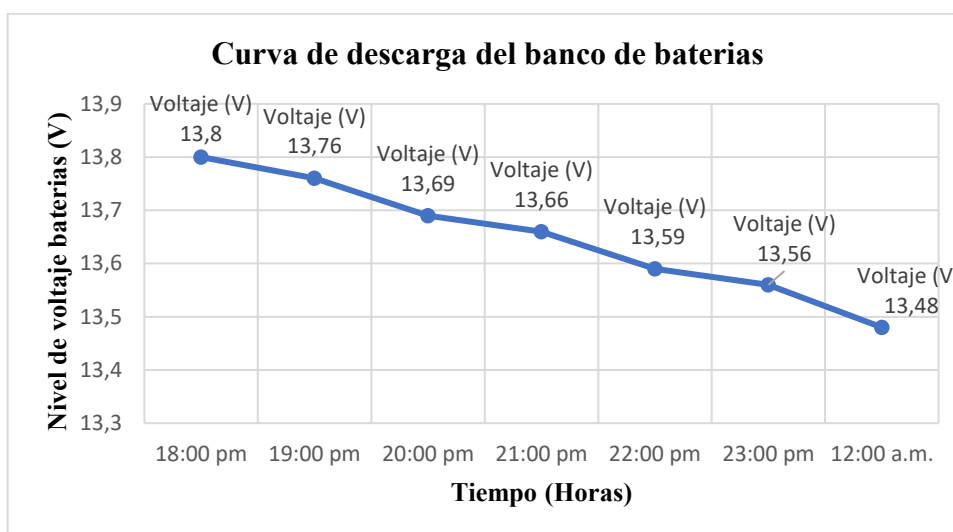


Figura 127. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.3.3 Tiempo de carga de la batería

En primer lugar, se determina la potencia fotovoltaica instalada, se consideró una eficiencia de $\eta = 90\%$ para los cálculos de la potencia real y la energía a reponer.

$$P_{Fv} = N^{\circ} \text{ paneles} \cdot P_{\text{panel}}$$

$$P_{Fv} = 2 \cdot 610 \text{ Watts} = 1220 \text{ Watts}$$

- Potencia real:

$$P_{\text{real}} = 1220 \text{ Watts} \cdot 0,90$$

$$P_{\text{real}} = 1098 \text{ Watts}$$

- Energía a reponer:

$$E_{entrada} = \frac{E_{consumida,6h}}{\eta}$$

$$E_{entrada} = \frac{720 Wh}{0,90} = 800 Wh$$

Posteriormente el tiempo de carga de la batería en el caso 3, es de

$$t_{carga,bateria} = \frac{E_{entrada}}{P_{real}}$$

$$t_{carga,bateria} = \frac{800 Wh}{1098 Watts} = 0,73h$$

$$0,73 \cdot 60 = 44 min$$

$$t_{carga,bateria} = 44 min$$

En la Tabla 33 se muestra la energía almacenada acumulada de las baterías de Gel del sistema fotovoltaico Off Grid, se evidencia además el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje del caso 3.

Tabla 33. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
8:00 a.m.	85	0	13,48
8:30 a.m.	93	549	13,71
8:44 a.m.	100	800	13,82

En la Figura 128. se muestra el comportamiento de carga de la batería, el cual se puede evidenciar el tiempo de carga de 44 minutos, alcanzando su nivel de voltaje más alto de 13,82 V, de esta forma el sistema de almacenamiento se encuentra cargado para nuevamente abastecer la demanda del sistema de iluminación externa.

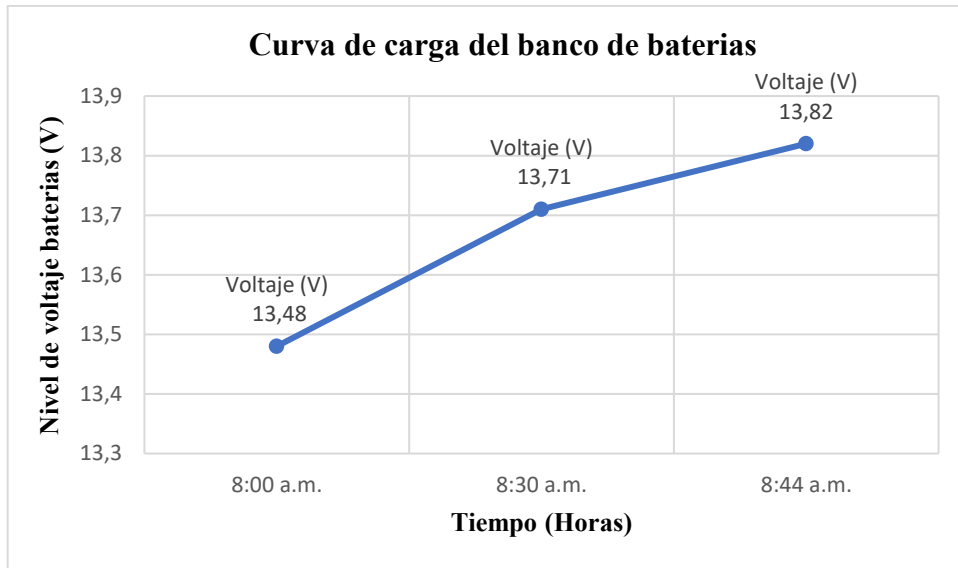


Figura 128. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.4 CASO 4: Iluminación interna

Para el cuarto caso, la potencia en AC solo considerando la iluminación interna dio como resultado un valor de 341 Watts tal y como se puede observar a continuación:

$$P_{AC} = P_{interna}$$

$$P_{AC} = 341 \text{ Watts}$$

La eficiencia del inversor MPPT que se encuentra instalado es de $\eta = 0,90$ lo cual se tendrá:

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta}$$

$$P_{DC} = \frac{341 \text{ Watts}}{0,90} = 379 \text{ Watts}$$

Al realizar las respectivas mediciones nos arrojó un valor de 31,6 A de corriente real de descarga de las baterías, tal y como se evidencia en la Figura 129. :



Figura 129. Corriente real de descarga del sistema de iluminación interna.

$$I_{real,medida} = \frac{P_{DC}}{V_{bateria}}$$

$$I_{real,medida} = \frac{379 \text{ Watts}}{12V}$$

$$I_{real,medida} = 31,6 \text{ A}$$

La energía útil de las baterías se consideró en un 90% para aprovechar toda la capacidad disponible, a continuación, se muestra la energía total y útil de la batería instalada.

$$E_{total,bateria} = 12V \cdot 400 \text{ Ah}$$

$$E_{total,bateria} = 4800 \text{ Wh}$$

Por lo cual se tiene:

$$E_{util,bateria} = 4800 \text{ Wh} \cdot 0,90 = 4320 \text{ Wh}$$

La energía consumida de las luminarias internas en un tiempo de 3 horas es:

$$E_{consumida,3h} = 379 \text{ Watts} \times 3 \text{ horas}$$

$$E_{consumida,3h} = 1137 \text{ Wh}$$

12.1.4.1 Profundidad de descarga

Posteriormente se determina la profundidad de descarga y el estado de carga del banco de baterías para el caso 4 el cual se considera la iluminación interna:

$$DoD = \frac{1137 \text{ Wh}}{4800 \text{ Wh}} \cdot 100 \%$$

$$DoD = 23,7\%$$

$$SOC = 100\% - 23,7\% = 76,3\%$$

12.1.4.2 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería en el caso 4, es de:

$$t_{max,descarga} = \frac{4320 \text{ Wh}}{379 \text{ Watts}} = 11,39 \text{ h} \approx 11 \text{ h}$$

$$0,39 \cdot 60 = 23 \text{ min}$$

$$t_{max,descarga} = 11 \text{ h}, 23 \text{ min}$$

En la Tabla 34 se muestra la energía descarga acumulada de las baterías de Gel del caso 4, además, se evidencia el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje respectivamente.

Tabla 34. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
18:00 pm	100	0	13,8
19:00 pm	92	379	13,57
20:00 pm	84	758	13,47
21:00 pm	76	1137	13,28

Como se puede observar en la Figura 130. el banco de baterías se descarga al límite de 13,28 V en 11h con 23 minutos, con una operación del 90% del banco de baterías, lo cual demuestra que el banco de baterías puede abastecer sin ningún problema la iluminación interna de la iglesia evangélica ya que no llega a su límite de profundidad de descarga.

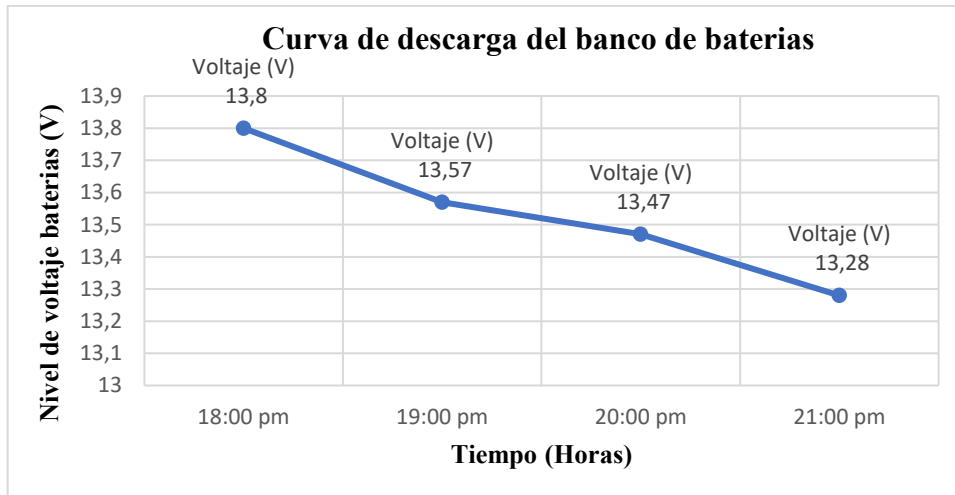


Figura 130. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.4.3 Tiempo de carga de la batería

En primer lugar, se determina la potencia fotovoltaica instalada, se consideró una eficiencia de $\eta = 90\%$ para los cálculos de la potencia real y la energía a reponer.

$$P_{Fv} = N^{\circ} \text{ paneles} \cdot P_{\text{panel}}$$

$$P_{Fv} = 2 \cdot 610 \text{ Watts} = 1220 \text{ Watts}$$

- Potencia real:

$$P_{\text{real}} = 1220 \text{ Watts} \cdot 0,90$$

$$P_{\text{real}} = 1098 \text{ Watts}$$

- Energía a reponer:

$$E_{\text{entrada}} = \frac{E_{\text{consumida},3h}}{\eta}$$

$$E_{\text{entrada}} = \frac{1137 \text{ Wh}}{0,90} = 1263 \text{ Wh}$$

Posteriormente el tiempo de carga de la batería en el caso 4, es de

$$t_{\text{carga,bateria}} = \frac{E_{\text{entrada}}}{P_{\text{real}}}$$

$$t_{carga,bateria} = \frac{1263 \text{ Wh}}{1098 \text{ Watts}} = 1,15h \approx 1h$$

$$0,15 \cdot 60 = 9 \text{ min}$$

$$t_{carga,bateria} = 1h, 9 \text{ min}$$

En la Tabla 35 se muestra la energía almacenada acumulada de las baterías de Gel del sistema fotovoltaico Off Grid, se evidencia además el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje del caso 4.

Tabla 35. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
08:00 a.m.	76	0	13,28
09:00 a.m.	95	1098	13,67
09:09 a.m.	100	1263	13,83

En la Figura 131. se muestra el comportamiento de carga de la batería, el cual se puede evidenciar el tiempo de carga de 1h con 9 minutos, alcanzando su nivel de voltaje más alto de 13,83 V, de esta forma el sistema de almacenamiento se encuentra cargado para nuevamente abastecer la demanda del sistema de iluminación interna.

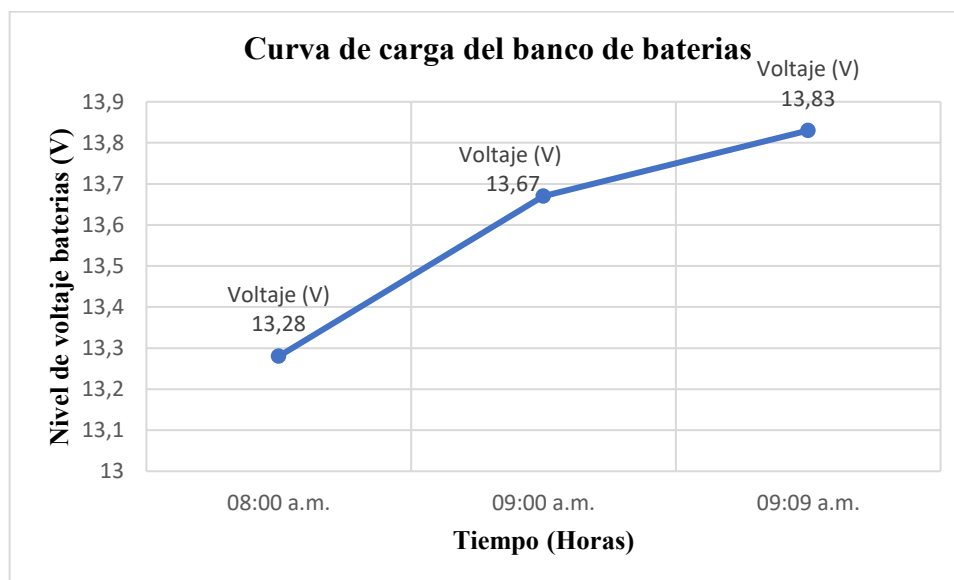


Figura 131. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.5 CASO 5: Sistema de Fuerza (Toma corriente)

Para el cuarto caso, la potencia en AC solo considerando el sistema de fuerza de un tomacorriente de 400 Watts, tal y como se puede observar a continuación:

$$P_{AC} = P_{externa}$$

$$P_{AC} = 400 \text{ Watts}$$

La eficiencia del inversor MPPT que se encuentra instalado es de $\eta = 0,90$ lo cual se tendrá:

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta}$$

$$P_{DC} = \frac{400 \text{ Watts}}{0,90} = 444,44 \text{ Watts}$$

Al realizar las respectivas mediciones nos arrojó un valor de 36,02 A de corriente real de descarga de las baterías, tal y como se evidencia en la Figura 132. :



Figura 132. Corriente real de descarga del sistema de fuerza.

$$I_{real,medida} = \frac{P_{DC}}{V_{bateria}}$$

$$I_{real,medida} = \frac{444,44 \text{ Watts}}{12V}$$

$$I_{real,medida} = 36.02 \text{ A}$$

La energía útil de las baterías se consideró en un 90% para aprovechar toda la capacidad disponible, a continuación, se muestra la energía total y útil de la batería instalada.

$$E_{total,batería} = 12V \cdot 400 Ah$$

$$E_{total,batería} = 4800 Wh$$

Por lo cual se tiene:

$$E_{util,bateria} = 4800 Wh \cdot 0,90 = 4320 Wh$$

La energía consumida de las luminarias internas en un tiempo de 3 horas es:

$$E_{consumida,3h} = 444,44 Watts \times 3 horas$$

$$E_{consumida,3h} = 1333,33 Wh$$

12.1.5.1 Profundidad de descarga

Posteriormente se determina la profundidad de descarga y el estado de carga del banco de baterías para el caso 5 el cual se considera el sistema de fuerza:

$$DoD = \frac{1333,33 Wh}{4800 Wh} \cdot 100 \%$$

$$DoD = 27,78\%$$

$$SOC = 100\% - 27,78\% = 72,22\%$$

12.1.5.2 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería en el caso 5, es de:

$$t_{max,descarga} = \frac{4320 Wh}{444,44 Watts} = 9,72 h \approx 9h$$

$$0,72 \cdot 60 = 43 min$$

$$t_{max,descarga} = 9 h, 43 min$$

En la Tabla 36 se muestra la energía descarga acumulada de las baterías de Gel del caso 5, además, se evidencia el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje respectivamente.

Tabla 36. Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
18:00 pm	100	0	13,8
19:00 pm	91	444	13,57
20:00 pm	82	889	13,38
21:00 pm	72	1333	13,18

Como se puede observar en la Figura 133. el banco de baterías se descarga al límite de 13,18 V en 9h con 43 minutos, con una operación del 90% del banco de baterías, lo cual demuestra que el banco de baterías puede abastecer sin ningún problema la toma de 400 Watts, de la iglesia evangélica ya que no llega a su límite de profundidad de descarga.

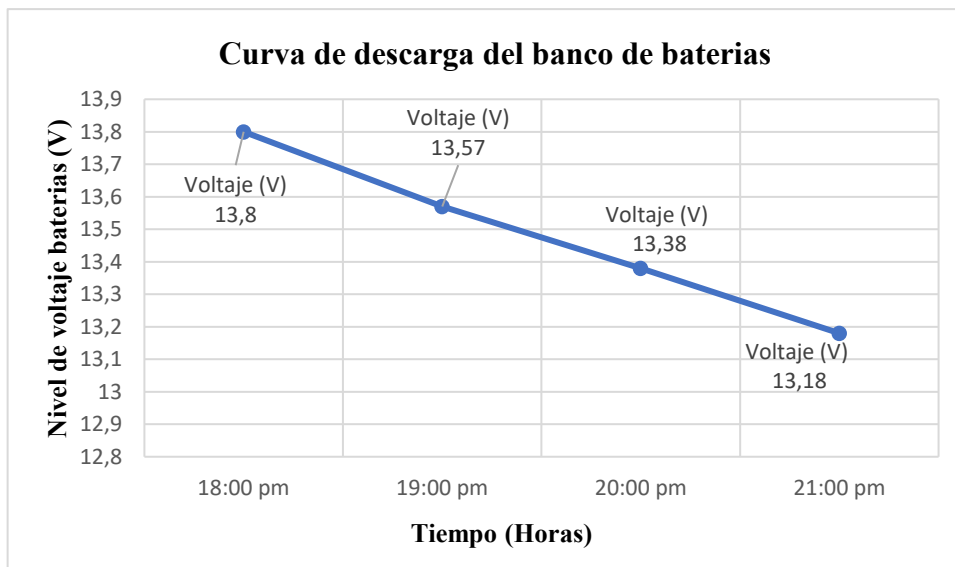


Figura 133. Tiempo establecido para descarga de la batería de gel ciclo profundo.

12.1.5.3 Tiempo de carga de la batería

En primer lugar, se determina la potencia fotovoltaica instalada, se consideró una eficiencia de $\eta = 90\%$ para los cálculos de la potencia real y la energía a reponer.

$$P_{Fv} = N^{\circ}_{paneles} \cdot P_{panel}$$

$$P_{Fv} = 2 \cdot 610 \text{ Watts} = 1220 \text{ Watts}$$

- Potencia real:

$$P_{real} = 1220 \text{ Watts} \cdot 0,90$$

$$P_{real} = 1098 \text{ Watts}$$

- Energía a reponer:

$$E_{entrada} = \frac{E_{consumida,3h}}{\eta}$$

$$E_{entrada} = \frac{1333,33 \text{ Wh}}{0,90} = 1481 \text{ Wh}$$

Posteriormente el tiempo de carga de la batería en el caso 5, es de

$$t_{carga,bateria} = \frac{E_{entrada}}{P_{real}}$$

$$t_{carga,bateria} = \frac{1481 \text{ Wh}}{1098 \text{ Watts}} = 1,35h \approx 1h$$

$$0,35 \cdot 60 = 21 \text{ min}$$

$$t_{carga,bateria} = 1h, 21 \text{ min}$$

En la Tabla 37 se muestra la energía almacenada acumulada de las baterías de Gel del sistema fotovoltaico Off Grid, se evidencia además el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje del caso 5.

Tabla 37. Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC (%)	Energía acumulada (Wh)	Voltaje (V)
08:00 a.m.	72	0	13,18
09:00 a.m.	93	1098	13,62
09:21 a.m.	100	1481	13,84

En la Figura 134. se muestra el comportamiento de carga de la batería, el cual se puede evidenciar el tiempo de carga de 1h con 21 minutos, alcanzando su nivel de voltaje más alto de 13,83 V, de esta forma el sistema de almacenamiento se encuentra cargado para nuevamente abastecer la demanda del sistema de fuerza.

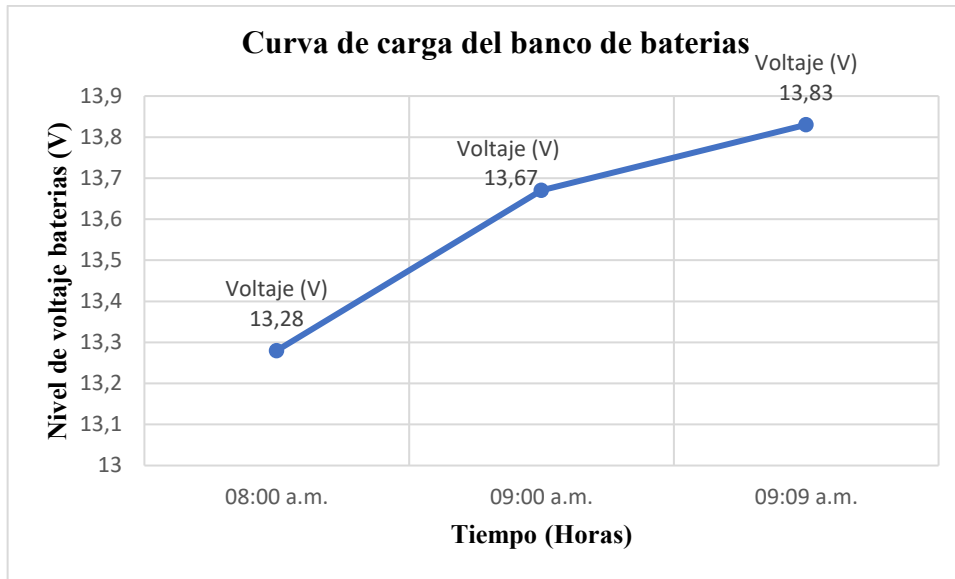


Figura 134. Tiempo establecido para carga de la batería de gel ciclo profundo.

A continuación, en Tabla 38 se muestra el resumen de los resultados correspondientes a los cuatro casos correspondientes al análisis de la profundidad de descarga, el estado de carga, así como el tiempo de descarga y carga del banco de baterías.

Tabla 38. Resumen de resultados del análisis de carga y descarga del banco de baterías.

Descripción		Potencia DC (W)	Corriente real (A)	Energía en 6h (Wh)	DoD (%)	SOC final (%)	Tiempo máx descarga	Tiempo de carga
CASO 1	Todo el sistema + toma	943 W	78,6 A	5658 Wh	90%	10%	4h 35min	4h 22min
CASO 2	Internas + externas	499 W	41,6 A	2994 Wh	62,30%	37,70%	8h 39min	3h 02min
CASO 3	Solo externas	120 W	10.5 A	720 Wh	15%	85%	36 h	44 min
Descripción		Potencia DC (W)	Corriente real (A)	Energía en 3h (Wh)	DoD (%)	SOC final (%)	Tiempo máx descarga	Tiempo de carga
CASO 4	Solo internas	379 W	31,6 A	1137 Wh	23,70%	76,30%	11h 23min	1h 09min
CASO 5	Solo S. Fuerza	444 W	36,02 A	1333,33 Wh	27,78%	72,22%	9h 43min	1h 21min

12.2 Análisis económico del proyecto fotovoltaico Off Grid

12.2.1 Presupuesto del sistema fotovoltaico

En la Tabla 39 se muestra el costo total del proyecto fotovoltaico Off Grid, en los cuales cada uno de los equipos, materiales, elementos, así como los gastos adicionales, muestran su precio unitario y total, el cual se establece un gasto económico solo de los equipos fotovoltaicos de 1075 \$ dólares americanos, con un total de inversión de 1793,40 \$ con un incremento anual del ahorro de 15 USD/año.

Tabla 39. Costo total invertido del proyecto solar fotovoltaico.

Equipos y materiales eléctricos				
Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Panel solar Monocristalino 610 W	U	150,00	2	300,00
Batería de gel ciclo profundo 200 Ah 12V	U	295,00	2	590,00
Inversor onda pura 4000 W-110 VAC	U	95,00	1	95,00
Regulador de carga solar MPPT 40 A	U	90,00	1	90,00
Tablero de control y transferencia		215,00	1	215,00
Tablero de cuatro circuitos - 2 Fases 4 hilos	U	20,70	1	20,70
Varilla puesta a tierra Copperweld	U	10,00	1	10,00
Accesorios (conectores, Cable verde # 8, borneras)	U	8,00	1	8,00
Conductor para instalación de paneles	M	1,25	29	36,25
Conductor para instalación eléctrica	M	0,46	100	46,00
Conductor para acometida	M	1,95	25	48,75
Protecciones eléctricas AC-DC	U	7,77	4	31,08
Protección Breaker C 20A 240 V	U	5,70	1	5,70
Protección Breaker C 16A 240 V	U	4,98	2	9,96
Accesorios y elementos complementarios				
Manguera corrugada negra de 3/4	M	0,25	100	25,00
Amarra plástica negra	C/u	0,10	25	2,50
Abrazadera de uña 1/2	C/u	0,15	40	6,00
Fotocélula 110 -277 VAC	U	18,00	1	18,00
Canaleta PVC	C/u	1,70	2	3,40
Broca para metal	C/u	1,25	1	1,25
Focos Warm Light de 9 Watts	C/u	4,11	12	49,32
Broca para concreto	C/u	1,14	1	1,14
Disco de corte 4-1/2 para concreto	C/u	2,65	1	2,65
Elementos estructurales				
Estructura para paneles solares	C/u	80,00	1	80,00
Ángulos metálicos soporte para tablero de transferencia	C/u	7,70	1	7,70
Gastos adicionales				
Viáticos		40,00		40,00

Combustible	50,00	50,00
Costo Total del Proyecto Fotovoltaico		1793,40

Tabla 40. Costos de mantenimiento anual del sistema Off Grid.

Descripción	Costo Anual \$
Mantenimiento del Sistema Fotovoltaico OFF GRID	15
TOTAL	15

12.2.2 Consumo eléctrico promedio anual de la iglesia evangélica

En primer lugar, para la determinación del PRI, se avalúa el consumo promedio anual que cuenta la iglesia evangélica “Aliento de vida” para lo cual se recopila la información del consumo eléctrico de cada uno de los meses del año 2025 tal y como se observa en la Tabla 41.

Tabla 41. Consumo eléctrico de cada mes de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”

Mes	Consumo (kWh)
Enero	55 kWh
Febrero	58 kWh
Marzo	60 kWh
Abril	62 kWh
Mayo	59 kWh
Junio	61 kWh
Julio	63 kWh
Agosto	57 kWh
Septiembre	60 kWh
Octubre	64 kWh
Noviembre	58 kWh
Diciembre	63 kWh
TOTAL	720 kWh/año

Para el cálculo del consumo eléctrico promedio de la iglesia evangélica se aplica la ecuación (41) respectivamente, para lo cual al realizar la suma de todos los meses de consumo eléctrico nos arroja la energía total consumida en el año 2025 siendo de 720 kWh/año.

$$E_{prom} = \frac{Et_{consumida}}{12 \text{ meses}} \quad (41)$$

$$E_{prom} = \frac{720 \text{ kWh/año}}{12 \text{ meses}} = 60 \text{ kWh/mes}$$

Como se mencionó anteriormente la inversión del proyecto del sistema fotovoltaico Off Grid en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, alcanzo una inversión de 1793,40 USD. Además, la tarifa eléctrica de 0,034 USD/kWh fue establecida de acorde con el Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica correspondiente al año 2025 el cual la iglesia evangélica se encuentra en la categoría de asistencia social, beneficio público y culto religioso con un rango de consumo de 1-100 kWh/mes [42].

12.2.3 Costo de operación y mantenimiento anual

Para el cálculo del costo de operación y mantenimiento $C_{O\&M}$ se estimó un valor del 1% el cual fue establecida conforme al documento Mejores prácticas en la operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, tercera edición el cual establece que para pequeñas instalaciones fotovoltaicas se considera dicho porcentaje [43].

Para el cálculo se aplicó la ecuación (42) respectivamente:

$$C_{O\&M} = 1\% \cdot C_{inversión} \quad (42)$$

$$C_{O\&M} = 0,01 \cdot 1793,40 \text{ USD} = 17,93 \text{ USD/año}$$

12.2.4 Ahorro bruto anual

Mediante la ecuación (43) se establece el ahorro bruto del primer y último año del periodo de recuperación de la inversión del proyecto del sistema fotovoltaico Off Grid de la iglesia evangélica, para dicho cálculo se considera una tarifa de 0,034 kWh ya estipulada.

$$A_{bruto,anual (n)} = E t_{consumida} \cdot T_{eléctrica} \quad (43)$$

$$A_{bruto,anual (1)} = 720 \text{ kWh/año} \cdot 0,034 \text{ USD/kWh}$$

$$A_{bruto,anual (1)} = 24,48 \text{ USD/año}$$

Para el cálculo del ahorro bruto de cada año se considera la ecuación (44):

$$A_{bruto,anual (n)} = A_1 + (n - 1) I_{anual,ahorro} \quad (44)$$

Para el año 16 el ahorro bruto sería el siguiente:

$$A_{bruto,anual(16)} = 24,48 \text{ USD/año} + (16 - 1) \cdot 15 \text{ USD/año.}$$

$$A_{bruto,anual(16)} = 24,48 \text{ USD/año} + 225 \text{ USD/año}$$

$$A_{bruto,anual(16)} = 249,48 \text{ USD/año}$$

12.2.5 Flujo neto anual

Para el cálculo del flujo neto anual del primer y último año del periodo de recuperación de la inversión, se estableció la ecuación (45) el cual para sus cálculos se considera dos parámetros fundamentales los cuales son, el ahorro bruto anual y el costo de operación y mantenimiento anual.

$$F_{neto,anual(n)} = A_{bruto,anual(n)} - C_{O\&M} \quad (45)$$

$$F_{neto,anual(1)} = 24,48 \text{ USD/año} - 17,93 \text{ USD/año}$$

$$F_{neto,anual(1)} = 6,55 \text{ USD}$$

Para el año 16 el flujo neto anual sería el siguiente:

$$F_{neto,anual(16)} = 249,48 \text{ USD/año} - 17,93 \text{ USD/año}$$

$$F_{neto,anual} = 231,55 \text{ USD}$$

12.2.6 Flujo acumulado

Mediante la ecuación (46) se establece el flujo acumulado del primer y último año del periodo de recuperación de la inversión en el aspecto económico, para lo cual se considera el costo de inversión inicial en el año cero del proyecto y la suma del flujo neto anual de los años anteriores.

$$F_{acumulado(1)} = \sum_{i=1}^n F_{neto,anual} - C_{inversión} \quad (46)$$

$$F_{acumulado(1)} = 6,55 - 1793,40 \text{ USD}$$

$$F_{acumulado(1)} = -1786,85 \text{ USD}$$

Para el año 16 el flujo acumulado anual sería el siguiente:

$$F_{acumulado(16)} = 1904,80 - 1793,40 \text{ USD}$$

$$F_{acumulado(16)} = 111,40 \text{ USD}$$

12.2.7 Cálculo del Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

A continuación se calculara el PRI mediante la ecuación (47):

$$PRI = A_{ant,recuperación} + \frac{(C_{inversión} - V_{f,acumulado(15)})}{V_{fneto,anual(16)}} \quad (47)$$

Donde:

$A_{ant,recuperación}$: año anterior de la recuperación.

$C_{inversión}$: inversión inicial (USD) del proyecto

$V_{f,acumulado(15)}$: valor del flujo acumulado del año anterior a la recuperación.

$V_{fneto,anual(16)}$: valor del flujo neto del año en que se recupera la inversión económica

Calculando se tendría lo siguiente:

$$PRI = 15 + \frac{(1793,40 - 1673,25)}{231,55}$$

$$PRI = 15 + \frac{120,15}{231,55}$$

$$PRI = 15,52 \approx 16 \text{ años //}$$

En Ecuador no existe una norma o reglamento legal el cual especifique de forma general el periodo máximo de recuperación de la inversión social, para proyectos de implementación de sistemas fotovoltaicos dentro del territorio ecuatoriano, al hablar de recuperación de inversión hace referencia al tiempo que se requiere para recuperar el monto monetario invertido en proyectos como, son energía renovable, eficiencia energética, proyectos industriales y productivos, sean estos pequeños, mediados o grande.

Por otro lado, en el continente europeo los proyectos de energía eficiente llevados a cabo establecen que lo típico para la recuperación de la inversión de un proyecto se encuentran entre un rango de 9 a 24 años dependiendo el tipo de proyecto que se lleve a cabo, sin que esto sea un límite de tipo legal si no que se evidencie casos índole real [44]

Para recuperar la inversión realizada en el proyecto solar fotovoltaico de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, se ha estimado en un periodo de 16 años respectivamente, lo cual se afirma

su viabilidad social, económico, y ambiental, ya que si se considera la vida útil de los módulos fotovoltaicos, y demás elementos mantienen una vida útil superior a los 16 años , lo que hace que el sistema recupere su inversión inicial, además de mantenerse en operación durante muchos años sin ningún problema en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

A continuación, en la Tabla 42 se muestra los resultados obtenidos del flujo anual bruto (USD), O&M (USD) así como del flujo neto (USD) y del fujo acumulado (USD) los cuales corresponden al periodo de recuperación de la inversión del proyecto fotovoltaico Off Grid de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

Tabla 42. Resultados del periodo de recuperación de inversión del proyecto.

Año	Flujo anual bruto (USD)	$C_{O\&M}$ (USD)	Flujo neto (USD)	Flujo acumulado (USD)
0	—	—	-1 793,40	-1 793,40
1	24,48	17,93	6,55	-1 786,85
2	39,48	17,93	21,55	-1 765,30
3	54,48	17,93	36,55	-1 728,75
4	69,48	17,93	51,55	-1 677,20
5	84,48	17,93	66,55	-1 610,65
6	99,48	17,93	81,55	-1 529,10
7	114,48	17,93	96,55	-1 432,55
8	129,48	17,93	111,55	-1 321,00
9	144,48	17,93	126,55	-1 194,45
10	159,48	17,93	141,55	-1 052,90
11	174,48	17,93	156,55	-896,35
12	189,48	17,93	171,55	-724,8
13	204,48	17,93	186,55	-538,25
14	219,48	17,93	201,55	-336,7
15	234,48	17,93	216,55	-120,15
16	249,48	17,93	231,55	111,4
TOTAL, INVERSIÓN				1793,40 \$
PERIODO DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN				16 años

El flujo anual bruto representa el ahorro monetario anual producida por el sistema Off Grid calculo a partir de la energía eléctrica, que el sistema fotovoltaico reemplaza del consumo producido por la red eléctrica, el cual no se consideran los $C_{O\&M}$. Por otro lado el ($C_{O\&M}$), se refieren a los gastos asociados a la operación y mantenimiento de los principales elementos fotovoltaicos como paneles, baterías, inversor, controlador, tablero de transferencia. Mientras que el flujo neto corresponde al beneficio monetario en estado real que brinda el sistema Off

Grid de la iglesia evangélica en cada año, siendo el resultado de la diferencia entre el valor del flujo anual bruto y los $C_{O\&M}$. Finalmente, el flujo acumulado viene siendo la sumatoria de todos y cada uno de los flujos netos si el valor se mantiene en negativo quiere decir que el proyecto no recuperado su inversión, si pasa de negativo a positivo recupera la inversión y si es positivo posteriormente quiere decir que el proyecto está teniendo ganancias.

Como se puede evidenciar en la Tabla 42 el flujo acumulado presenta valores negativos hasta el año 15, el cual evidencia que el proyecto fotovoltaico aun no recupera su inversión inicial de 1793,40 \$, sin embargo, del año 15 al año 16 el flujo acumulado para de ser negativo a un valor positivo esto evidencia que los beneficios económicos producidos por el sistema igualan e incluso superan a la inversión inicial de 1793,40 \$, a partir del año 16 el flujo acumulado será positivo lo cual indica ganancias económicas como el uso continuo de energía eléctrica sin ningún costo monetario., la no dependencia del aumento de la tarifa eléctrica para muchos años, estos beneficios no corresponden a dinero en efectivo sino a beneficios económicos reales para la iglesia evangélica.

12.3 Análisis de resultados de la entrevista del sistema fotovoltaico

En este apartado se dará a conocer primeramente una matriz de categorización, así como el análisis de resultados de la entrevista realizada a los moradores de la zona, miembros activos y autoridades encargadas de la iglesia evangélica “Aliento de Vida” del cantón Pujilí provincia de Cotopaxi.

Tabla 43. Matriz de categorización de la entrevista del sistema fotovoltaico Off Grid.

Pregunta	Categoría	Subcategoría	Indicadores	Evidencia (respuestas de los entrevistados)
Pregunta N°1 Decoración de la facha de la iglesia evangélica	Incidencia social	Imagen pública de la iglesia	Aspecto visual, percepción externa, innovación	De acuerdo con las respuestas recabadas la mayoría opina que la implementación del sistema fotovoltaico a mejorado la imagen de la iglesia y sus áreas externas.
Pregunta N°2 Valor principal del sistema fotovoltaico Off Grid	Valoración de los beneficios	Beneficios integrales	Eficiencia energética, energía no contaminante	Según las respuestas de los entrevistados algunos optan por priorizar el valor económico mientras que otros optan por el cuidado del medio ambiente.

Pregunta N°3 Ventajas de la implementación del sistema Off Grid	Beneficios Generados	Funcionamiento/costos	Ahorro, autonomía, sostenibilidad	Los entrevistados mencionan ventajas como el ahorro de consumo eléctrico, aprovechamiento de energía solar, y contar con un sistema de generación eficiente.
Pregunta N°4 Seguridad en el área externa de la iglesia	Incidencia social	Entorno seguro	Iluminación adecuada, prevención de riesgos	La mayoría de los moradores, y miembros de la iglesia consideran que la iluminación externa aporta en gran medida la seguridad de las actividades religiosas nocturnas.
Pregunta N°5 Sensibilización ambiental	Repercusión ambiental	Formación ambiental	concientización, conducta proambiental	La mayoría de entrevistados mencionan que la implementación del sistema a permitido que los feligreses de la iglesia tengan un mejor compromiso con el cuidado del medio ambiente.
Pregunta N°6 Impacto en suministro eléctrico	Repercusión técnica	Abastecimiento eléctrico	Sistema de iluminación interna/externa, actividades	De acuerdo con las respuestas de los entrevistados el nivel de impacto respecto al abastecimiento parcial de la iglesia se sitúan entre un rango medio y alto.
Pregunta N°7 Satisfacción y beneficios del sistema fotovoltaico	Valoración del sistema Off Grid	Satisfacción percibida	Funcionamiento, beneficios del sistema Off Grid	La mayoría de los entrevistados se encuentran muy satisfechos con el funcionamiento y beneficios del sistema fotovoltaico.

A continuación, se realizará el análisis cualitativo de cada una de los resultados de las preguntas realizadas, enfocadas en la implementación del sistema fotovoltaico Off Grid.

Pregunta 1. Mejora de la fachada de la iglesia evangélica Aliento de Vida

Los entrevistados coinciden que la implementación del sistema fotovoltaico Off Grid específicamente la iluminación externa a permitido que la iglesia mejore su imagen resaltando su estructura y dando una mejor impresión visual, viéndose más iluminada y acogedora durante las noches, ya que anteriormente la iglesia no era fácilmente perceptible pero ahora con el sistema de iluminación externa dio un giro significativo.

Pregunta 2. Valoración económica y ambiental del sistema fotovoltaico

En esta pregunta los entrevistados muestran dos enfoques diferentes. Por una parte, algunos moradores de la iglesia dan más valor al cuidado del medio ambiente ya que se utiliza energía limpia y renovable para la generación de energía eléctrica contribuyendo al cuidado del medio

ambiente. Por otro lado, otros entrevistados optan por el aspecto económico, ya que reduce los costos de consumo eléctrico priorizando los recursos de la iglesia evangélica para otros tipos de actividades.

Pregunta 3. Ventajas de la implementación del sistema fotovoltaico

Los entrevistados coinciden en que la principal ventaja que se tiene al implementar el sistema fotovoltaico en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, es el ahorro de consumo de energía eléctrica de las instalaciones tanto internas, externas y tomas de fuerza. Por otro lado, además los moradores y miembros activos de la iglesia mencionan la reducción del impacto del medio ambiente, así como contar con una red estable y dependiente de la red convencional mejorando la eficiencia energética de la iglesia evangélica.

Pregunta 4. Seguridad durante las actividades nocturnas en los exteriores de la iglesia

Los resultados de las entrevistas muestran que los moradores y miembros activos de la iglesia coinciden en que el sistema fotovoltaico mejora la seguridad en el área externa, ayudando a prevenir robos y actos delictivos, brindando tranquilidad a los feligreses que visitan las instalaciones y pasillos externos de la iglesia, además mencionan que la implementación del sistema evita zonas sin luz precautelando la seguridad y evitando accidentes a los miembros y autoridades.

Pregunta 5. Concientización del cuidado del medio ambiente

En esta pregunta los entrevistados mencionan que la implementación del sistema fotovoltaico en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, ha provocado más conciencia y responsabilidad con el cuidado del medio ambiente entre los feligreses, además dicho sistema sirve como ejemplo práctico para que los moradores, así como miembros activos y autoridades de la iglesia puedan replicar este tipo de proyecto en sus propias viviendas

Pregunta 6. Nivel de impacto de la implementación del sistema fotovoltaico

Respecto al impacto de la implementación del sistema fotovoltaico, la mayoría de los entrevistados de la comunidad de Alpalag, muestran un nivel medio alto y alto, los moradores consideran que la implementación de este proyecto a mejorado positivamente la imagen de la iglesia, así como el abastecimiento parcial de electricidad para el funcionamiento de las luminarias tanto internas como externas, así como para el funcionamiento de equipos eléctricos.

Pregunta 7. Nivel de satisfacción del funcionamiento y beneficios del sistema fotovoltaico

En esta última pregunta, los entrevistados muestran niveles altos de satisfacción del funcionamiento del sistema fotovoltaico implementado en la iglesia, los cuales evidencian dos respuestas bien evidentes la cuales son satisfecho y muy satisfecho, por lo cual el proyecto mantiene una gran aceptación entre la comunidad ya que permite elevar los beneficios económicos, sociales y el cuidado del medio ambiente mediante el uso de energía sostenible

El análisis de cada una de las preguntas realizadas a los moradores, feligreses y autoridades encargadas, evidencia que la implementación del sistema fotovoltaico, cuenta con un nivel de aceptación alta, con la finalidad de abastecer la demanda eléctrica parcial de la iglesia evangélica, consolidándose de esta forma dentro de la comunidad como una alterna viable en el aspecto, ambiental, social, y energético.

12.3.1 Análisis cuantitativo de las preguntas uno, seis y siete

En la Figura 135. se puede evidenciar los resultados en porcentajes de la variación económica y ambiental de la implementación del sistema fotovoltaico, el 60% de los entrevistados priorizan el aspecto económico ya que se reducen los costos de consumo de energía eléctrica beneficiando los ingresos económicos de la iglesia, por otro parte el otro 60% de los entrevistados optan por el cuidado del medio ambiente ya que la generación de energía eléctrica es realizada por medio de energía renovable no convencional.

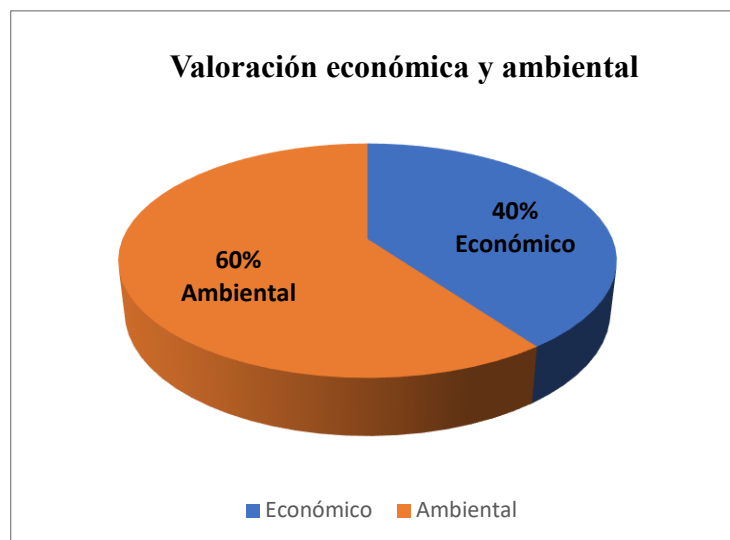


Figura 135. Resultados de valoración económica y ambiental del sistema fotovoltaico.

En la Figura 136. se muestra los resultados obtenidos en porcentajes correspondientes al nivel de impacto de la implementación del sistema fotovoltaico Off Grid para el abastecimiento

eléctrico de la iglesia evangélica, en donde el 40% de los entrevistados lo califica con un nivel alto, mientras que el otro 40% lo califica con un nivel medio alto, y el 20% restante de los entrevistados lo califica con un nivel medio.

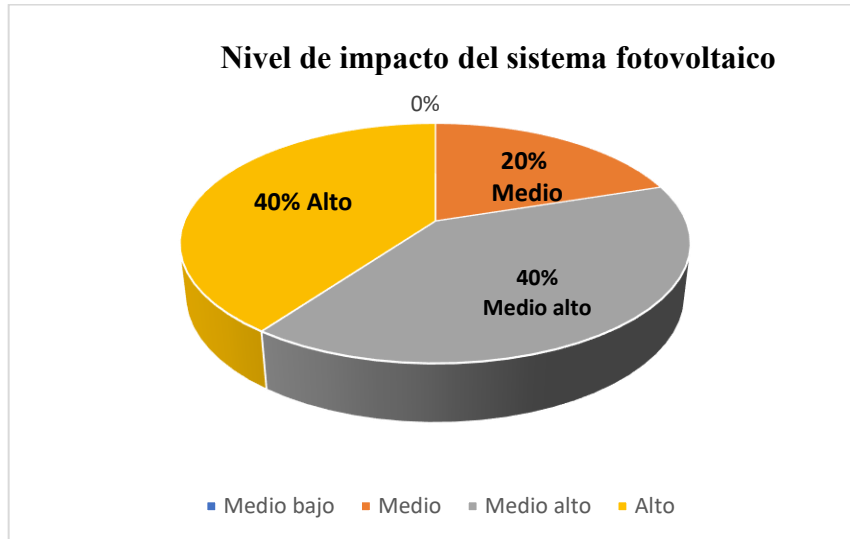


Figura 136. Resultados del nivel de impacto del sistema fotovoltaico.

En la Figura 137. se muestran los resultados obtenidos de la entrevista realizada a los moradores, miembros activos y autoridades de la iglesia con respecto al nivel de satisfacción de la implementación del sistema fotovoltaico en los cuales el 40% de los entrevistados expresan un nivel muy satisfecho mientras que el otro 60% consideran un nivel satisfecho, lo cual demuestra que el sistema fotovoltaico ha sido positivamente aceptado dentro de la comunidad Alpamalg, permitiendo el desarrollo de beneficios de índole social y ambiental.

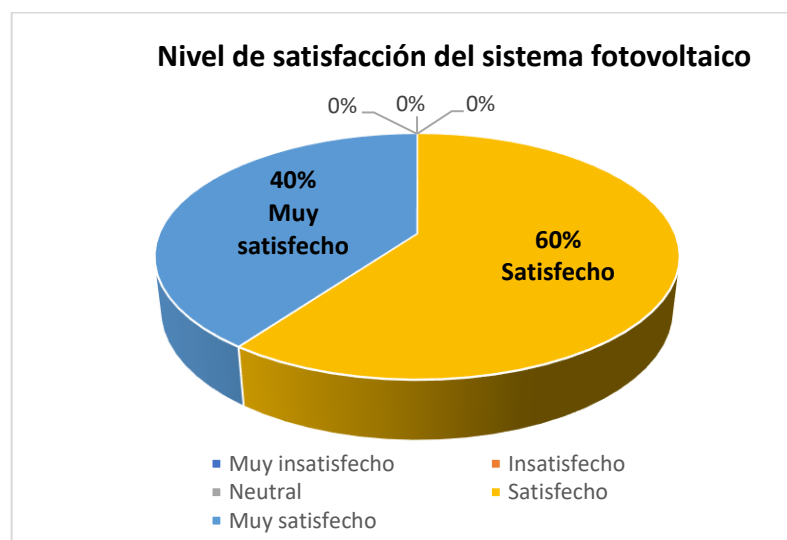


Figura 137. Resultados del nivel de satisfacción del sistema fotovoltaico.

13. CONCLUSIONES

La iglesia al ubicarse en una zona de alto potencial energético a permitido que el proyecto sea viable y factible en el aspecto tanto técnico como económico, los niveles de irradiación solar ubicados en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, alcanzan valores superiores a los 150 kWh/m^2 lo que hace que el sistema fotovoltaico off grid sea eficiente en el transcurso de los años, permitiendo abastecer parcialmente de energía eléctrica la iluminación interna, externa y toma corriente.

Por otro lado, la recopilación de datos de las cargas eléctricas existentes de la iglesia evangélica y el análisis de las necesidades energéticas concernientes al sistema de iluminación interna, externas y fuerza, se determinó un consumo de energía diaria de 2919 Wh/día , al aplicar un factor de seguridad del 20% se obtuvo una demanda de 3502,80 Wh/día, y una potencia instalada de 849 W, los datos obtenidos permitieron el adecuado dimensionamiento real del sistema fotovoltaico.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico off grid se consideraron cálculos para determinar el número de elementos y dispositivos fotovoltaicos que serán implementados en el proyecto, considerando un valor de HSP de 3,57, dando como resultado 2 paneles de 610 W, además 1 inversor de 4000W, 1 controlador de 40 A, y un sistema de almacenamiento conformado por 2 baterías de 12V-200Ah, permitiendo el abasteciendo parcialmente de energía eléctrica a la iluminación interna, externa y sistema de fuerza de la iglesia, esto permitió evitar el sobredimensionamiento o subdimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Por otro lado, para la iluminación externa de la iglesia se consideró un estudio previo para la simulación luminotécnica en “DIALux” el cual permitió determinar adecuadamente el número y la distancia correspondiente que serán instaladas las lámparas externas, arrojando un total de 12 lámparas pendulares de 9 W a una distancia de 3m, permitiendo de esta forma la adecuada distribución de la iluminación alrededor del pasillo 1 y 2, dando seguridad y mejorando la imagen de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

Así también para la implementación real del sistema fotovoltaico en la iglesia evangélica, se consideró en primera instancia el rediseño de la instalación eléctrica del sistema de iluminación interna ubicado en el escenario, así como el sistema de fuerza, mejorando no solo el aspecto visual, sino además garantizando una instalación optima y segura para su correcto funcionamiento, de esta forma evitando riesgos eléctricos como cortocircuitos o fugas de corriente, que pongan en peligro la integridad de los miembros activos de la iglesia, el sistema

fotovoltaico implementado fue capaz de abastecer parcialmente de energía eléctrica a la iglesia evangélica, cumpliendo su objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica y mejorando la seguridad visual.

Los resultados obtenidos en el programa PVsyst muestran que el sistema fotovoltaico al implementar 2 módulos de 610 W con un sistema de almacenamiento de 2 baterías de 12V-200Ah, permite abastecer al 100% la demanda de la iglesia, sin embargo, la proporción de rendimiento “PR” es muy baja, esto es debido a que se producen pérdidas por la limitación del banco de baterías, por la energía producida de los paneles solares que no se utiliza ya que las baterías están cargadas completamente dando un valor de energía no utilizada del 39,8%, por otro lado en el segundo caso, considerando una optimización del sistema con 1 módulo de 610 Watts con un sistema de almacenamiento de 2 baterías de 12V-200Ah, el “PR”, de la energía generada se acopla de manera más eficiente al almacenamiento, lo que reduce las pérdidas posteriores. Esto no quiere decir que el sistema esta sobredimensionado si no está vinculado de manera directa con las limitaciones en la utilización de la energía generada debido al patrón de consumo que predomina en las noches.

Adicionalmente con el estudio prospectivo realizado para la implementación de iluminación ornamental en el patio de la iglesia se evidencio que el sistema fotovoltaico implementado no solo cubre la demanda actual, si no que posee la capacidad para abastecer una nueva carga sin comprometer la capacidad de generación de energía, por lo tanto, puede satisfacer tanto la demanda existente como la iluminación ornamental propuesta.

Por otro lado las pruebas de carga y descarga del sistema de almacenamiento se consideraron 5 casos diferentes, es así que para el caso 1 que conforma el sistema de (iluminación externa e interna + fuerza), el tiempo de descarga es de 4h 35 min dando una profundidad de descarga del 90% de energía en las baterías, por otro lado, en el caso 2 que corresponde al sistema de (iluminación interna y externa), el tiempo de descarga es de 8 h 39 min dando una profundidad de descarga del 62,30%, para el caso 3 que conforma el sistema de (iluminación externa), el tiempo de descarga es 36 h dando una profundidad de descarga del 15%, para el caso 4 que comprende del sistema de (iluminación interna), el tiempo de descarga es de 11h 23 min dando una profundidad descarga del 23,70% , y finalmente para el caso 5, el tiempo de descarga es de 9 h 43 min con una profundidad de descarga del 27,78%, estos resultados reflejan el comportamiento real del banco de baterías en situaciones reales de funcionamiento.

Para finalizar este espacio el proyecto fotovoltaico se llevó a cabo mediante una inversión total de 1793,40 \$, los mismos que se distribuyeron en la compra de los dispositivos fotovoltaicos, transporte, mano de obra y gastos adicionales, el periodo de recuperación de la inversión se estima para 16 años, es decir que el proyecto se considera factible ya que los módulos fotovoltaicos, y demás elementos mantienen una vida útil superior a los 16 años, lo cual este proyecto implementado en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, se afirma positivamente su viabilidad social, económica, y ambiental.

14. RECOMENDACIONES

Se aconseja realizar periódicamente una revisión técnica de los equipos, y elementos fotovoltaicos, así como las conexiones del tablero de transferencia, además de la instalación eléctrica del sistema de iluminación interno, externo, y sistema de fuerza, por otro lado se sugiere realizar mediciones eléctricas, comprobando el estado actual de los componentes, para un posterior mantenimiento preventivo, garantizando de esta forma el adecuado funcionamiento del sistema Off Grid en la iglesia evangélica “Aliento de Vida”.

Se recomienda llevar a cabo constantemente charlas de capacitación sobre el correcto funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico Off Grid a los miembros de la iglesia evangélica “Aliento de Vida”, mediante estas capacitaciones ayudan en gran medida a la formación de nuevas habilidades técnicas ante un posible mantenimiento u operación del sistema, permitiendo de esta forma proceder adecuadamente sin ninguna dependencia de ayuda técnica externa.

En caso de considerar este proyecto como referencia para el desarrollo de proyectos posteriores se recomienda en primeras instancias realizar una correcta recopilación de datos de irradiación solar y hora solar pico (HSP), así como el número de cargas existentes en zona de estudio, una vez realizado dicha actividad, se debe llevar a cabo la simulación del proyecto solar en el programa PVsyst, todo con el fin de garantizar que el sistema fotovoltaico Off Grid se encontrara adecuadamente dimensionado, y que los componente del sistema cumplan su funcionamiento correspondiente.

También se recomienda que para la implementación de cargas futuras como la propuesta para la iluminación ornamental del patio general de la iglesia se aconseja llevar a cabo primero un estudio técnico de viabilidad energética que incluya el cálculo detallado de la nueva demanda en Wh/día, el análisis del perfil horario de funcionamiento y su compatibilidad con la generación solar disponible, así como la evaluación del impacto sobre la autonomía y la profundidad de descarga (DoD) del banco de baterías, este estudio debe respaldarse en simulaciones en PVsyst o en una herramienta similar para comprobar que la proporción de rendimiento (PR), la proporción solar y la fiabilidad del sistema no se vean afectadas, si se detecta una reducción significativa en la autonomía o un aumento excesivo del DoD, será necesario dimensionar un incremento proporcional en la capacidad de almacenamiento (baterías), garantizando compatibilidad eléctrica y manteniendo márgenes de seguridad ante

variaciones en la irradiación, asegurando así la continuidad operativa y la estabilidad energética con la incorporación de futuras cargas.

Aun que el sistema fotovoltaico implementado ya cuenta con una puesta a tierra se recomienda ahondar en un estudio detallado para el sistema de puesta a tierra con el fin de validar técnicamente su rendimiento real en condiciones operativas y ambientales de la zona de instalación, debería incluir la evaluación de la resistividad del suelo a través del método Wenner u otro similar, el cálculo de la resistencia a tierra necesaria de acuerdo con la normativa vigente, el diseño del sistema de electrodos (varillas, mallas o anillos), la verificación de la continuidad del conductor de protección y la adecuada equipotencialización de las estructuras metálicas comprendidas por parte de todo el sistema. Por último, se sugiere que las mediciones finales de resistencia a tierra sean certificadas con equipos calibrados, dejando un registro técnico documentado que asegure el cumplimiento de la normativa y la seguridad operativa del sistema.

15. BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Merritt and J. C. V. Flores, “El liderazgo de China en energía solar fotovoltaica y su impacto en el comercio internacional de paneles solares,” *México y la Cuenca del Pacífico*, vol. 13, no. 37, pp. 39–65, Nov. 2024, doi: 10.32870/mycp.v13i37.870.
- [2] J. E. Ortega, “Perspectivas de la energía solar fotovoltaica en la edificación,” 2015, Accessed: Feb. 11, 2026. [Online]. Available: <https://oa.upm.es/id/eprint/40308>
- [3] J. Gallardo Calderón, C. Domínguez Domínguez, and J. Madrid, “Diseño de instalación fotovoltaica de vivienda unifamiliar para autoconsumo conectada a red en Yuncos,” 2017, Accessed: Feb. 11, 2026. [Online]. Available: <https://oa.upm.es/id/eprint/47676>
- [4] M. Fernanda Serrano-Guzmán, D. Darío Pérez-Ruiz, J. Freddy Galvis-Martínez, M. Leonardo Rodríguez Sierra, S. Natalia Correa Torres, and R. Sierra, “Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia,” *dialnet.unirioja.es*, Accessed: Feb. 11, 2026. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285707>
- [5] L. C. De *et al.*, “Implementación y ejecución de un sistema de energía alternativa (fotovoltaica) para mejorar la calidad de vida de sus moradores en la comunidad de palmeras,” 2016, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/5814>
- [6] B. Espinoza Cucalon Jorge Antonio, B. Zanoni Gonzalez Felipe, and M. Rojas Coronel Angel Marcelo, “Diseño de sistema fotovoltaico off-grid, red secundaria y conexiones domiciliarias para suministro eléctrico al caserío Tallapampa, distrito Salas, provincia Lambayeque,” *Repositorio Institucional - USS*, 2021, Accessed: Jan. 06, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8082>
- [7] D. Iván *et al.*, “Análisis técnico-económico para la generación de energía solar fotovoltaica en el Ecuador y su conexión a la red pública, basada en el artículo 63 de la regulación,” 2013, Accessed: Feb. 11, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/bc4e874f-6067-410c-b700-92e752d9f8ef>
- [8] C. De Ingeniería *et al.*, “Implementación de un sistema solar fotovoltaico off-grid en el contexto domiciliario,” 2025, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/9ed7330f-0687-4356-a1ae-8336430f1994>

- [9] J. M. Pilla, “Implementación de un sistema fotovoltaico Off Grid para abastecer de energía eléctrica a una vivienda, ubicada en un sector rural del cantón Isidro Ayora en la,” 2025, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29920>
- [10] C. Spiegelger and J. I. Cifuentes, “Definición e información de energías renovables,” 2016, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4455>
- [11] H. Mileaf, “Electricidad,” 1997, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/63203527/kupdf.net_electricidad-harry-mileaf-1-7-muy-bueno20200505-116341-dg04k3.pdf
- [12] D. Brihuega, “Electricidad básica,” 2010, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=raa6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=electricidad+basica+David+Arboledas+brihuega&ots=xaDYS4RwMC&sig=qDhlt_FImmNTLRgqHmnlbsCPrXA
- [13] J. Lias, “La Corriente Alterna,” 1968, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/54849290/Corriente_Alterna.pdf
- [14] C. Pérez, “Circuitos electricos,” 2017, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/53388229/Mapce_2014_enero.pdf
- [15] F. Adler, M. Berardi, M. García Pedrosa, F. Monticelli, and M. Morquecho, “Energía solar fotovoltaica,” *kk.up45.ac.id*, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://kk.up45.ac.id/scholarhub/fotovoltaica.pdf>
- [16] C. E. Marín, “La energía solar fotovoltaica en España,” 2004, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1443/espejomin.pdf>
- [17] “Energía Solar Fotovoltaica Aprende Fácil.” Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/energia-solar-fotovoltaica.htm>
- [18] C. B. Avila and A. C. Solis, “Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca,” 2019, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18210>

- [19] “La radiación solar - HelioEsfera.” Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.helioesfera.com/la-radiacion-solar/>
- [20] C. L. Puruncaja and D. Z. Mediavilla, “Solmáforo (semáforo solar): modelo ambiental de alerta por exposición a la radiación solar en Quito,” 2015, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10091>
- [21] S. I. Asensio and J. G. Blanquer, “Coordenadas geográficas,” 2010, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8931/Coordenadas%20geogr%C3%A1ficas.pdf?se>
- [22] J. R. Castro, “Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén,” 2019, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/49>
- [23] K. P. Iñiguez and K. T. Chumo, “Generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico Off Grid en la zona rural de Guayaquil,” 2023, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24665>
- [24] W. V. Codena, “Estudio para el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico para el ‘Mercado San Roque,’” 2021, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21569>
- [25] P. C. Tafur, “Caracterización de las necesidades de servicios básicos y propuesta de solución con el uso de sistemas de energía solar fotovoltaica como una alternativa de,” 2017, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17373>
- [26] L. A. Martínez and M. C. Panata, “Implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos con capacidad de 20 kw/mes para ser utilizados en instalaciones industriales,” 2017, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13636>
- [27] C. E. Electricidad and E. Camilo Vega Semblantes Henry Daniel Lema Sangucho, “Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer la demanda eléctrica de la iglesia de San José de Alpamalag,” 2025, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/e5203acc-12cb-4cdc-8ad0-a74fa2e681e7>

- [28] E. I. Pazmiño Monserrate, “Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de energía fotovoltaica en la iglesia Beato José Gregorio Hernández,” 2025, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29819>
- [29] L. S. Fajardo and R. B. Ávila, “Estudio para la implementación de un sistema de abastecimiento de energía fotovoltaica para la fachada de la iglesia y casa patrimonial de Quingeo,” 2021, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstreams/4145603f-854d-408b-a3a7-11c0aff3fe16/download>
- [30] J. N. Aguirre and C. S. Villavicencio, “Diseño de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía eléctrica para sistemas agrícolas aislados.,” 2022, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22884>
- [31] C. De Ingeniería *et al.*, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ALIMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE ROBOTICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN,” 2021, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3395/1/LEONEL%20ALEXANDER%20MIRANDA%20PINLAY.pdf>
- [32] P. DE Titulación Previo A La Obtención Del Título De, S. Alexander Armas Enríquez Andy Mauricio Remache Pino, and I. MsC Marco Aníbal León Segovia, “Construcción de un prototipo de inversor de corriente DC/AC con salida de onda senoidal pura,” 2025, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/33f5a559-716b-4ce2-ac15-448b58cd30f8>
- [33] E. Quinga Vilatuña Carlos Orlando and G. Guevara Marcelo Javier, “Diseño y Construcción de un Sistema de Puesta a Tierra para la Protección Eléctrica del Mini Centro Comercial Mi Balcón,” 2014, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7398>
- [34] V. R. Ezequiel, “Simulación de un sistema fotovoltaico conectado a red para abastecer la demanda eléctrica de una vivienda unifamiliar: Simulación de un sistema fotovoltaico,” 2022, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23099>
- [35] O. M. Suárez Tamayo, “Plan de mejora en la ubicación de maquinaria, depuración de aguas, aislamiento térmico y drenaje de suelos de Bodegas Fuente Victoria S.A.,” Dec.

- 2011, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.ual.es/handle/10835/558>
- [36] G. Cocha and S. Magaly, “Tasa interna de retorno modificada como herramienta para la toma de decisiones en proyectos de inversión: Caso ALIMEC SA, Ecuador, 2016-2017,” *bibliotecadigital.econ.uba.ar*, Accessed: Jan. 05, 2026. [Online]. Available: http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/tpos/document/1502-1585_GamboyCochaSM
- [37] “Panel Solar Monofacial Topcon de 610W – Lumínica.” Accessed: Feb. 19, 2026. [Online]. Available: <https://luminica.ec/tienda/paneles-solares/panel-solar-monofacial-topcon-de-610w/>
- [38] “Tienda – Lumínica.” Accessed: Feb. 19, 2026. [Online]. Available: <https://luminica.ec/tienda/>
- [39] “MPPT solar controller – gotosolar.” Accessed: Feb. 19, 2026. [Online]. Available: <https://gotosolar.com.cn/collections/mppt-solar-controller>
- [40] “Inversor de Voltaje 4000w | VisionLED.” Accessed: Feb. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.visionled.com.ec/producto/inversor-de-voltaje-4000w/?srsltid=AfmBOookRpvt2YA-kBlphqVuWR19F5wGD-GgIZ22IZvamDHHSJd1i78E>
- [41] “Reloj temporizador programable para bombeo o riego solar 12V | Damia Solar.” Accessed: Feb. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.damiasolar.com/reloj-temporizador-programable-para-bombeo-o-riego-solar-12v.html>
- [42] “Servicio Público de Energía Eléctrica – SPEE – ARCONEL.” Accessed: Feb. 05, 2026. [Online]. Available: <https://arconel.gob.ec/servicio-publico-de-energia-electrica-spee/>
- [43] G. Rediske, L. Michels, J. Cezar Mairesse Siluk, P. Donaduzzi Rigo, C. Brum Rosa, and R. Jochann Franceschi Bortolini, “Management of operation and maintenance practices in photovoltaic plants: Key performance indicators,” *Wiley Online Library*, vol. 46, no. 6, pp. 7118–7136, May 2022, doi: 10.1002/er.7737.
- [44] “Special Report 11/2020 Energy efficiency in buildings: greater focus on cost-effectiveness still needed.” Accessed: Feb. 05, 2026. [Online]. Available: https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/?utm_source=chatgpt.com

16. ANEXOS

16.1 ANEXO A



Figura A. Tablero de transferencia del sistema fotovoltaico Off Grid.

16.2 ANEXO B



Figura B. Placa de reconocimiento institucional carrera de Ingeniería Eléctrica.

16.3 ANEXO C



Figura C. Sello de acreditación internacional de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

16.4 ANEXO D



Figura D. Temporizador digital Victoria DHC20A.

16.5 ANEXO E



Figura E. Tablero de distribución del sistema fotovoltaico Off Grid.

16.6 ANEXO F



Figura F. Sistema de iluminación externa de la iglesia en funcionamiento.

16.7 ANEXO G



			
DATOS DEL ENTREVISTADO			
Ítem		Información	
Nombre (opcional)			
Edad			
Sexo		<input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino	
Tiempo de asistencia a la iglesia			
Rol en la iglesia (si aplica)			
OBJETIVO			
Analizar los resultados obtenidos mediante la entrevista dirigida a los miembros de la iglesia evangélica "Aliento de Vida" para conocer la opinión en el aspecto social sobre la implementación del sistema fotovoltaico Off Grid.			
Guía de Entrevista			
1. ¿Cree usted que, con la implementación de la iluminación externa fotovoltaica, para la iglesia evangélica ha mejorado la decoración de su fachada? Explique.			
<hr/> <hr/> <hr/>			
2. ¿Para usted, con la implementación del sistema fotovoltaico a que le daría más valor, al aspecto económico o al impacto del cuidado del medio ambiente? Explique.			
<hr/> <hr/> <hr/>			
3. ¿Cuáles son las ventajas de tener un sistema fotovoltaico implementado en la iglesia evangélica, Aliento de Vida? Explique.			
<hr/> <hr/> <hr/>			

Figura G.1 Formato de encuesta de la implementación del sistema fotovoltaico.

4. ¿Considera que el sistema fotovoltaico brinda mayor seguridad en el área externa de la iglesia durante las actividades nocturnas? ¿Por qué?

5. ¿Considera usted que el uso de energía solar en la iglesia ha generado una mayor conciencia sobre el cuidado del medio ambiente entre los miembros de la congregación? ¿Por qué?

6. ¿Cuál considera que ha sido el impacto de la implementación del sistema fotovoltaico en el abastecimiento eléctrico parcial de la iglesia evangélica (iluminación interna, externa, equipos de sonido y actividades litúrgicas)?

- Bajo
- Medio bajo
- Medio
- Medio alto
- Alto

7. ¿Qué tan satisfecho/a se encuentra con el funcionamiento y los beneficios del sistema fotovoltaico implementado en la iglesia evangélica?

- 1 – Muy insatisfecho
- 2 – Insatisfecho
- 3 – Ni satisfecho ni insatisfecho
- 4 – Satisfecho
- 5 – Muy satisfecho

Figura G.2 Formato de encuesta de la implementación del sistema fotovoltaico.

16.8 ANEXO H



Figura H. Diseño de iluminación externa de la iglesia en DIALux.