



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

PROPUESTA TECNOLÓGICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO OFF-GRID EN EL DISPENSARIO MÉDICO DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG.

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Eléctrico

Autores:

Bernardo Neptali Criollo Bunce
Stalin Alexander Siza Ramírez

Tutor:

Ing. Franklin Vásquez M.Sc.

LATACUNGA – JULIO

2026

Latacunga, 07 de agosto del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Criollo Bunce Bernardo Neptalí** con C.C: 050431023-6, y **Siza Ramírez Stalin Alexander** con C.C: 185063148-0, declaramos ser los autores del proyecto de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO OFF-GRID EN EL DISPENSARIO MÉDICO DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”**, siendo el **Ing. MsC. Vásquez Teneda Franklin Hernán** tutor del presente trabajo de titulación; 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 de titulación, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

Criollo Bunce Bernardo Neptalí
C.C: 050431023-6

Siza Ramírez Stalin Alexander
C.C: 185063148-0

Latacunga, 07 de agosto del 2026

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO OFF-GRID EN EL DISPENSARIO MÉDICO DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”, propuesto por los estudiantes **Criollo Bunce Bernardo Neptalí** y **Siza Ramírez Stalin Alexander**, de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. MsC. Vásquez Teneda Franklin Hernán

C.C: 171043449-7

TUTOR

Latacunga, 07 de agosto del 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO OFF-GRID EN EL DISPENSARIO MÉDICO DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”**, propuesto por los estudiantes Criollo Bunce Bernardo Neptalí con C.C: 050431023-6 y Siza Ramírez Stalin Alexander con C.C: 185063148-0, de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, me permito indicar que los estudiantes han concluido con todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO OFF-GRID EN EL DISPENSARIO MÉDICO DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG**, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad presencial, en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

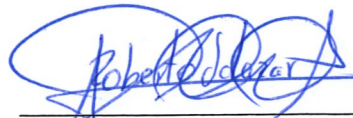
Atentamente,



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)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza para continuar, a mi familia por su apoyo incondicional y a todas las personas que aportaron con una palabra, un consejo o una oportunidad durante este proceso.

A mis padres, Miguel y María, por su amor, apoyo y enseñanzas que me guiaron a seguir adelante. A mi hermano Milton, por su confianza y compañía en este camino. Este logro también es de ustedes.

Hoy celebro no solo un resultado, sino todo el camino recorrido de mi carrera universitaria los sacrificios, desafíos y la disciplina que me llevaron hasta aquí. Aprendí que la excelencia no es un destino, sino una forma de vivir, que cada día es una oportunidad para mejorar y que la única competencia es superar la versión de uno mismo.

Bernardo Neptali Criollo Bunce

DEDICATORIA

Dedico este logro a quienes creyeron en mí incluso cuando el camino fue difícil. A mi padres y hermanos, por ser mi fuerza y refugio a quienes me enseñaron que el talento sin trabajo no alcanza y que los sueños se construyen con disciplina, sacrificio y perseverancia.

Este logro representa cada esfuerzo silencioso, cada caída que me hizo más fuerte y cada momento en el que decidí seguir adelante. Porque los grandes objetivos no se alcanzan por casualidad, se alcanza con mentalidad, constancia y la voluntad de nunca rendirse.

Bernardo Neptali Criollo Bunce

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar en primer lugar mi agradecimiento a Dios por la vida, por la sabiduría, el valor de la perseverancia y por lo bueno que ha sido conmigo durante toda esta etapa universitaria, y como no a mis padres Guillermo y Maria quienes sostuvieron su esperanza en mí, por sus invaluable consejos durante toda mi formación académica, y a mis hermanos que también fueron quienes me motivaron a ser mejor cada día, por nunca dudar de mi capacidad personal y que ante cualquier adversidad no me dejaran solo, y demostrarme que somos buenos hermanos, también a mis abuelitos, tíos y primos quienes pusieron su confianza en que con esfuerzo, dedicación y constancia se puede conseguir lo que uno se propone, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de ser parte de sus honorables aulas donde se imparten enseñanzas con respeto, responsabilidad y humildad. A mi tutor, Franklin Vásquez por su confianza, paciencia, dedicación y por sus valiosas recomendaciones que permitieron culminar este proyecto. A cada uno de mis docentes quienes aportaron con su conocimiento, experiencia quienes enriquecieron mi formación profesional.

Y como no a mis compañeros y amigos de aula quienes hicieron de esta etapa universitaria sea más llevadera, por su ayuda y sugerencias, no queda más que expresarles mi más sincero agradecimiento.

Stalin Alexander Siza Ramírez

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a mis amados padres Guillermo y Maria quienes con su apoyo, sustento y sus sabios consejos pude lograr este objetivo, a mi hermano Cristian, a mis hermanas, Mayra, Elizabeth y Abigail quienes me sostuvieron y fueron mi compañía en momentos difíciles, quienes me brindaron su cariño y valentía para alcanzar esta meta, y a cada uno de mis familiares quienes de alguna u otra forma pusieron su cariño y confianza en mí, a mis docentes por formarme con valores, que su conocimiento impartido será usado de la mejor manera a lo largo de mi vida profesional, y como no a todos quienes me brindaron su apoyo, y a Dios por darme la valentía y la determinación para nunca rendirme y poder alcanzar este proyecto que es muy importante para mí.

Stalin Alexander Siza Ramírez

ÍNDICE GENERAL	
1 INFORMACIÓN GENERAL	13
2 INTRODUCCIÓN	14
2.1 Situación Problemática	17
2.2 Formulación del problema	18
2.3 Objeto de cambio y de acción	18
2.3.1 Objeto de investigación	18
2.3.2 Campo de acción	18
2.4 Beneficiarios	18
2.4.1 Beneficiarios directos	18
2.4.2 Beneficiarios indirectos	18
2.5 Justificación	19
2.6 Objetivos	20
2.6.1 General	20
2.6.2 Específicos	20
2.7 Sistema de Tareas	21
3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	22
3.1 Antecedentes	22
3.2 MARCO TEORICO	26
3.2.1 Sistema eléctrico y suministro de energía	26
3.2.2 Sistemas de distribución eléctrica	27
3.2.3 Calidad del suministro eléctrico	27
3.2.4 Energías renovables	28
3.2.5 Energía solar fotovoltaica	28

3.2.6 Sistemas fotovoltaicos	30
3.2.7 Sistema fotovoltaico aislado	30
3.2.8 Sistema fotovoltaico conectado a red	30
3.2.9 Sistema fotovoltaico híbrido	31
3.2.10 Componentes de un sistema fotovoltaico híbrido	32
3.2.11 Paneles solares fotovoltaicos	32
3.2.12 Inversor híbrido	33
3.2.13 Banco de baterías	33
3.2.14 Controlador de carga MPPT	33
3.2.15 Sistemas de protección eléctrica	34
3.2.16 Sistemas fotovoltaicos híbridos en ingeniería eléctrica	34
3.2.17 Principio de operación de un sistema híbrido	34
3.2.18 Ventajas de los sistemas híbridos	35
3.2.19 Aplicación en centros de salud	36
3.2.20 Sistemas de almacenamiento de energía (baterías)	36
3.2.21 Tipos de baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos	36
3.2.22 Parámetros técnicos de las baterías	37
3.2.23 Importancia del almacenamiento en sistemas híbridos	37
3.3 Inversores	38
3.4 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos	38
3.4.1 Inversores híbridos	43
3.4.2 Ventajas del inversor híbrido	44
3.4.3 Normativa eléctrica aplicable en Ecuador	44
3.4.4 Normativa nacional (ARCERNNR)	45

3.4.5 Normas internacionales aplicables	45
3.4.6 Aplicación de sistemas fotovoltaicos en centros de salud	45
3.4.7 Cargas críticas en un dispensario médico	46
4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	47
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA (GOOGLE EARTH)	47
4.2 DIAGRAMA DE IRRADIACIÓN GLOBAL	48
4.3 HORA SOLAR PICO EN ALPAMALAG	49
4.3.1 Primer caso	49
4.3.2 Segundo caso	50
4.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DEL DISPENSARIO MÉDICO.	50
4.4.1 CARGA INSTALADA	50
4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	51
4.5.1 Cálculos para los módulos fotovoltaicos	51
4.5.2 Cálculo de las baterías o banco de baterías	53
4.5.3 Calculo para seleccionar el inversor	54
4.6 Cálculo de calibre de los conductores	55
4.6.1 Cable conductor del módulo fotovoltaico al regulador de carga e inversor.	55
4.6.2 Cable conductor del regulador o inversor al banco de baterías.	56
4.6.3 Cable conductor del inversor a la carga	57
4.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	58
4.7.1 Paneles fotovoltaicos 580W TOPCon	58
4.7.2 INVERSOR OFF-GRID SPLIT-PHASE 3kw	60
4.7.3 BATERÍA DE LITIO DE BAJO VOLTAJE (LV) 5.12 kWh	62

4.8 SIMULACION DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	63
4.8.1 Diagrama unifilar del circuito existente	64
4.8.2 Diagrama unifilar proyectado	64
4.8.3 Especificaciones de distribución del sistema	65
4.8.4 Condiciones arquitectónicas	66
4.9 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	70
4.9.1 Adaptación de puntos eléctricos de conexión	70
4.9.2 Verificación y mejoramiento del sistema eléctrico ELEPCO del dispensario medido.	70
4.9.3 Instalación del sistema de iluminación externa del dispensario medico	72
4.9.4 Colocación de estructuras y paneles fotovoltaicos del sistema	72
4.9.5 Instalación de equipos fotovoltaicos	75
4.10 HERRAMIENTAS Y MATERIALES	76
5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
5.1 Descripción general del sistema fotovoltaico híbrido	80
5.2 Diagrama unifilar	80
5.3 estudio del comportamiento del sistema fotovoltaico en el software sam primer caso pv-bateria-red.	81
5.3.1 Configuración y orientación de los módulos FV	81
5.3.2 Características de los módulos FV	82
5.3.3 Características del inversor	82
5.3.4 Detalles del almacenamiento de la batería	83
5.3.5 Producción anual de energía	83

5.3.6 Producción mensual de energía	84
5.3.7 Perdidas energéticas del sistema FV	85
5.3.8 Análisis de comportamiento del sistema fotovoltaico en el software SAM segundo caso pv-batería-cortes prolongados a red.	86
5.3.9 Respaldo prolongado con autonomía de la batería	86
5.3.10 Perdidas energéticas del sistema FV	87
5.3.11 Flujo de energía desde la batería hacia la carga	88
6 pruebas del voltaje ac del sistema fotovoltaico	88
6.1.1 Pruebas de voltaje de los dispositivos del sistema fotovoltaico	88
6.1.2 Voltaje AC de la red eléctrica Elepco S.A	89
6.1.3 Voltaje AC en la salida del inversor	89
7 Pruebas del voltaje dc del sistema fotovoltaico	90
7.1.1 Voltaje DC en la salida del panel solar	90
7.1.2 Voltaje DC del banco de baterías hacia el inversor	91
7.1.3 Estado operativo del inversor	91
8 Comportamiento del sistema fotovoltaico primer caso panel + baterías + red	92
8.1 Primer caso panel, baterías y sin corte de la red	92
8.2 segundo caso panel, baterías y corte de la red	93
8.3 tercer CASO BATERÍAS, inversor y carga	93
9 Carga y descarga del sistema de almacenamiento	94
9.1.1 CASO 1: Iluminación externa+ iluminación interna + Tomacorrientes	94
9.1.2 Profundidad de descarga de la batería	95
9.1.3 Energía útil disponible de la batería	95
9.1.4 Tiempo de descarga de la batería	96

9.1.5 Tiempo de carga de la batería	97
9.2 CASO 2: iluminación externa	99
9.2.1 Profundidad de descarga de la batería	100
9.2.2 Tiempo de descarga de la batería	100
9.2.3 Tiempo de carga de la batería	101
9.3 CASO 3: iluminación interna	103
9.3.1 Profundidad de descarga de la batería	103
9.3.2 Tiempo de descarga de la batería	103
9.3.3 Tiempo de carga de la batería	104
9.4 Análisis económico del proyecto fotovoltaico híbrido Off Grid	106
9.4.1 Consumo eléctrico promedio anual del dispensario medio y parque.	106
9.4.2 Costo de operación y mantenimiento	107
9.4.3 Ahorro bruto anual	107
9.4.4 Flujo neto anual	107
9.4.5 Calculo de Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	108
9.4.6 Análisis de resultados de la entrevista del sistema fotovoltaico	108
9.4.7 Análisis cuantitativo de las preguntas	110
10 CONCLUSIONES	113
11 RECOMENDACIONES	114
12 REFERENCIAS	116
13 ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Proceso de suministro de energía eléctrica [8].	26
Figura. 2 Esquema general de un sistema de distribución eléctrica [9].	27
Figura. 3 Funcionamiento del efecto fotovoltaico [14].	29
Figura. 4 Sistema fotovoltaico aislado [14].	30
Figura. 5 Sistema fotovoltaico conectado a la red [16].	31
Figura. 6 Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido [17].	31
Figura. 7 Flujo de energía en un sistema fotovoltaico híbrido [5].	35
Figura. 8 Curva de descarga de una batería de litio [12].	37
Figura. 9 Esquema de un inversor híbrido en un sistema fotovoltaico [19].	44
Figura. 10 Esquema general de alimentación eléctrica con sistema híbrido [8].	46
Figura. 11 Ubicación geografía a través de Google Earth.	48
Figura. 12 Curva de Irradiación global promedio del 2025.	49
Figura. 13 Indicador de comportamiento de HSP anual.	49
Figura. 14 Panel solar de 580 W.	59
Figura. 15 Inversor Off grid Sistema fotovoltaico.	60
Figura. 16 Banco de baterías.	62
Figura. 17 Diagrama unifilar del dispensario médico del circuito existente.	64
Figura. 18 Diagrama unifilar proyectado.	65
Figura. 19 Esquema de control Fotovoltaico en AutoCAD.	66
Figura. 20 Esquema 3D del dispensario médico de san José de Alpamag.	66
Figura. 21 Área externa del sistema de iluminación del dispensario médico.	67
Figura. 22 Área externa del sistema de iluminación del dispensario médico.	67
Figura. 23 Tipo de iluminación interna.	68

Figura. 24 Tipo de iluminación externa.	68
Figura. 25 Distribución eléctrica del sistema de iluminación en el dispensario médico.	69
Figura. 26 Modelo en 3D del sistema de iluminación externa del dispensario médico.....	69
Figura. 27 Levantamiento de información de conexión de la red eléctrica.	70
Figura. 28 Instalación de la caja de distribución.....	71
Figura. 29 Caja de distribución para el sistema FV.	71
Figura. 30 Iluminación externa del dispensario médico.	72
Figura. 31 Ubicación de herrajes para los paneles solares.....	73
Figura. 32 Montaje de paneles solares en herrajes de aluminio.	73
Figura. 33 Revisión e ajuste de los paneles solares.	74
Figura. 34 Machinado para la conexión de los paneles solares.	74
Figura. 35 Instalación de la caja de protección DC e AC.	75
Figura. 36 Instalación del inversor en el área designada.	75
Figura. 37 Instalación del banco de baterías en el área designada.....	76
Figura. 38 Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico híbrido.	80
Figura. 39 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico híbrido off-grid.	81
Figura. 40 Orientación e inclinación del módulo solar.....	81
Figura. 41 Características de los paneles fotovoltaicos.	82
Figura. 42 Características del inversor.....	82
Figura. 43 Características de la batería.	83
Figura. 44 Producción anual de energía.....	83
Figura. 45 Producción mensual de energía.	84
Figura. 46 Diagrama de pérdidas energéticas.	85
Figura. 47 Autonomía promedio del banco de baterías.	86

Figura. 48 Diagrama de pérdidas energéticas.	87
Figura. 49 Ciclo de carga y descarga de la batería y suministro de energía a la carga.	88
Figura. 50 Nivel de voltaje de la red eléctrica a la entrada del inversor.	89
Figura. 51 Nivel de voltaje a la salida del inversor.	89
Figura. 52 Voltaje medido a la salida del panel.	90
Figura. 53 Nivel de voltaje desde la batería hacia el inversor.	91
Figura. 54 Visualización del funcionamiento del sistema.	91
Figura. 55 Panel fotovoltaico → regulador → batería + carga + red eléctrica.	92
Figura. 56 Panel fotovoltaico → regulador → batería + carga.	93
Figura. 57 Regulador → batería + carga.	93
Figura. 58 Valor medido de la corriente de banco de baterías.	94
Figura. 59 Tiempo establecido para descarga de la batería.	97
Figura. 60 Tiempo establecido para carga de la batería.	99
Figura. 61 Tiempo establecido para descarga de la batería.	101
Figura. 62 Tiempo establecido para carga de la batería.	102
Figura. 63 Tiempo establecido para descarga de la batería.	104
Figura. 64 Tiempo establecido para carga de la batería.	105
Figura. 65 Impacto social.	110
Figura. 66 Beneficios del sistema.	110
Figura. 67 Resultado de los beneficios para las familias.	111
Figura. 68 Respuesta a la instalación del sistema FV.	111
Figura. 69 Resultado de falta de atención médica.	111
Figura. 70 Respuesta atención continua del dispensario médico.	112
Figura. 71 Seguridad energética.	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO	13
Tabla 2. Sistema de tareas.....	21
Tabla 3. Análisis global sobre sistemas energéticos y redes de distribución.....	22
Tabla 4. Principales fuentes de energías renovables.....	28
Tabla 5. Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido.	32
Tabla 6. Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido.	32
Tabla 7. Modos de operación de un sistema híbrido	35
Tabla 8. Comparación técnica entre sistemas energéticos.....	35
Tabla 9. Tipos de baterías	37
Tabla 10. Beneficios del almacenamiento en sistemas híbridos.....	38
Tabla 11. Tipos de inversores en sistemas fotovoltaicos	44
Tabla 12. Tipos de inversores en sistemas fotovoltaicos	45
Tabla 13. Clasificación de cargas en un dispensario médico.....	47
Tabla 14: Coordenadas geográficas destinada a instalar el sistema fotovoltaico	48
Tabla 15: Detalles de elementos que hacen parte de la carga instalada.....	50
Tabla 16: Detalle de Energía que consume el dispensario médico.....	51
Tabla 17: Datos del panel solar.	59
Tabla 18: Parámetros del inversor de 3 kW.....	61
Tabla 19: Especificaciones técnicas del banco de baterías.	62
Tabla 20: Equipos utilizados para el desarrollo del sistema fotovoltaico.....	77
Tabla 21: Herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema fotovoltaico.	78
Tabla 22 Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	96
Tabla 23 Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	98

Tabla 24 Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	100
Tabla 25 Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	102
Tabla 26 Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.	104
Tabla 27 Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.	105
Tabla 28 Consumo de periodo 2025-2026.....	106
Tabla 29 Matriz de categorización de la encuesta sobre el sistema fotovoltaico.	109

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO OFF-GRID EN EL DISPENSARIO MÉDICO DE LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE ALPAMALAG”

Autores:

Criollo Bunce Bernardo Neptali
Siza Ramírez Stalin Alexander

RESUMEN

El presente proyecto describe la metodología aplicada para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido off-grid para cubrir una parte de la demanda energética del dispensario médico y las áreas exteriores de la comunidad San José de Alpamagal, ubicados en el cantón Pujilí. Inicialmente se realizó el reconocimiento geográfico del área mediante Google Earth permitiendo determinar la ubicación del proyecto y analizar las condiciones ambientales del sitio. Posteriormente se evaluó el recurso solar disponible mediante datos de irradiación obtenidos de la NASA POWER, determinando las condiciones de generación energética y estableciendo la Hora Solar Pico (HSP) los mismos valores que es entre 3,41 y 5,01 horas según la variación mensual de radiación solar.

A partir del análisis de autonomía del banco de baterías permite determinar el comportamiento bajo la condición de mayor demanda del sistema, considerando una carga de 1,2 kW correspondiente al circuito de iluminación internas, externas y tomacorrientes. El banco de baterías de 5,12 kWh con una energía útil de 4,608 kWh, alcanzando una profundidad de descarga del 90 % con un tiempo de funcionamiento de 3 horas con 50 minutos. Este resultado demuestra que el sistema cumple su función como respaldo energético para el dispensario médico, permitiendo mantener cargas prioritarias durante interrupciones eléctricas.

Palabras Clave: sistema fotovoltaico híbrido, almacenamiento, hora solar pico, baterías de litio, inversor híbrido.

1 INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Implementación de un sistema fotovoltaico en el dispensario médico de la comunidad San José de Alpamalag.

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

☒

Proyectos de Investigación

☐

Carrea: Ingeniería en Electricidad

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Energías sostenible al servicio de la sociedad.

Equipo de Trabajo:

Criollo Bunce Bernardo Neptalí

Siza Ramírez Stalin Alexander

Ing. Vásquez Teneda Franklin Hernán, M.Sc.

Área de Conocimiento:

Tabla 1. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

07 ingeniería, Industria y Construcción	071 ingeniería y Profesiones Afines	0713 electricidad y Energía.
---	-------------------------------------	------------------------------

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

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

2 INTRODUCCIÓN

La dependencia del Ecuador de la generación hidroeléctrica ha permitido durante varios años disponer de una matriz energética con una alta participación de fuentes renovables, sin embargo, esta condición también ha expuesto la vulnerabilidad del sistema eléctrico nacional frente a las variaciones climáticas, especialmente durante los períodos de sequía, los cuales disminuyen la capacidad de generación de las centrales hidroeléctricas y pueden provocar crisis energéticas y racionamientos del servicio eléctrico, por esta razón, ha surgido la necesidad de diversificar las fuentes de generación mediante el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables disponibles en el país [1].

El acceso a un suministro eléctrico confiable constituye un requisito para el desarrollo social, educativo, económico y sanitario de las comunidades, en este sentido, la energía solar fotovoltaica ha ganado espacio durante las últimas décadas como una alternativa limpia y eficiente, especialmente en regiones con altos niveles de radiación solar, como ocurre en gran parte del territorio ecuatoriano, además, esta tecnología puede implementarse mediante sistemas conectados a la red eléctrica o sistemas aislados destinados al abastecimiento de sectores donde no existe infraestructura de distribución [2].

En los últimos años, los sistemas fotovoltaicos híbridos han despertado un mayor interés debido a las ventajas que ofrecen frente a los sistemas convencionales, la integración de módulos fotovoltaicos, bancos de baterías e inversores híbridos permite administrar de mejor manera la energía generada, garantizando el suministro eléctrico durante interrupciones del servicio público o en períodos de baja generación solar, por ello, esta tecnología representa una alternativa apropiada para instalaciones donde la continuidad del servicio resulta prioritaria [3].

Los establecimientos de salud requieren un suministro eléctrico permanente para mantener en funcionamiento equipos médicos, sistemas de iluminación, refrigeración de medicamentos, equipos informáticos y otros servicios indispensables para la atención de los pacientes, por esta razón, en comunidades rurales o sectores donde pueden presentarse interrupciones del servicio eléctrico, los sistemas fotovoltaicos híbridos representan una alternativa para garantizar la continuidad del suministro y mejorar la atención brindada a la población [4].

La comunidad San José de Alpamalag presenta condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía solar debido a su ubicación geográfica y a los niveles de radiación disponibles durante gran parte del año, estas características permiten considerar la implementación de un sistema fotovoltaico como una alternativa técnicamente viable para complementar el suministro eléctrico convencional y fomentar el uso de energías renovables dentro de la comunidad.

La presente investigación tiene como finalidad implementar un sistema fotovoltaico híbrido sincronizado a la red con una capacidad aproximada de 3 kW para abastecer la demanda energética del dispensario médico de la comunidad San José de Alpamalag, aprovechando el potencial solar disponible en el sector, además, la propuesta busca mejorar la confiabilidad del suministro mediante el uso de energía solar, un sistema de almacenamiento y el respaldo de la red pública de distribución.

El sistema propuesto integra módulos fotovoltaicos, un inversor híbrido y un banco de baterías que permiten almacenar la energía excedente producida durante las horas de mayor radiación solar para utilizarla cuando la generación disminuya o existan fallas en el suministro eléctrico, de esta manera, se dispone de una fuente de energía más estable, se incrementa el autoconsumo de la energía renovable y se mantiene la red convencional como respaldo cuando las condiciones de operación lo requieran [1].

Desde la ingeniería eléctrica y energética, los sistemas fotovoltaicos con inversor híbrido constituyen una alternativa para aplicaciones donde se requiere continuidad del suministro y autonomía energética, además, su implementación impulsa la generación distribuida al producir electricidad cerca del lugar de consumo, disminuyendo las pérdidas asociadas al transporte de energía y facilitando la incorporación de fuentes renovables dentro de la matriz energética nacional [5].

En el trabajo titulado Diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico para autoconsumo considerando la regulación ecuatoriana [6], se desarrolló el diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo en la azotea del edificio E de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, considerando la normativa ecuatoriana ARCERNNR 001/2021, el estudio buscó disminuir la demanda de energía proveniente de la red mediante el aprovechamiento del recurso solar, para ello, se analizaron las tecnologías fotovoltaicas, los tipos de sistemas y los equipos que conforman estas instalaciones, posteriormente, mediante el software PVSyst, se

estimó la producción anual de energía y se evaluó el ahorro energético, el período de recuperación de la inversión y la viabilidad técnica y económica del proyecto [6].

De igual manera, el estudio desarrollado por Cadena Gallardo y Carrión (2024) confirma la viabilidad técnica de implementar sistemas fotovoltaicos híbridos con almacenamiento mediante baterías e inversores híbridos, incluso en instalaciones con demandas energéticas moderadas, los resultados obtenidos muestran que esta alternativa puede aplicarse en proyectos residenciales, comerciales e institucionales, facilitando el dimensionamiento de sistemas destinados a disminuir el consumo de energía proveniente de la red pública y mejorar la continuidad del suministro eléctrico [6].

En el trabajo titulado Revisión de literatura en el diseño de sistemas híbridos de energía para minimizar costos, emisiones y maximizar [4], se analiza la evaluación económica de los sistemas híbridos de generación, el autor menciona que, en aplicaciones de baja demanda energética, la rentabilidad puede verse limitada cuando no existen incentivos económicos o políticas de apoyo para las energías renovables, sin embargo, también señala que, en instalaciones donde la continuidad del servicio tiene mayor prioridad, como los centros de salud, los beneficios técnicos y sociales justifican la inversión realizada al incrementar la seguridad del suministro y aprovechar de mejor manera los recursos energéticos disponibles.

En consecuencia, la presente investigación busca demostrar la factibilidad técnica de implementar un sistema fotovoltaico híbrido sincronizado a la red para el dispensario médico de la comunidad San José de Alpamalag, mediante el levantamiento de las cargas instaladas, el dimensionamiento de los componentes del sistema y la validación de su funcionamiento a través de pruebas de medición y control, además, se plantea una propuesta que puede aplicarse en otras comunidades con características similares, favoreciendo el aprovechamiento de la energía solar y mejorando la continuidad del suministro eléctrico [1].

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Los cortes de energía eléctrica en Ecuador se han convertido en una problemática compleja, afectando diversos aspectos de la vida diaria y la economía del país. Esta situación se debe principalmente a la dependencia del país de la energía hidroeléctrica, vulnerable a variaciones climáticas como la sequía [6].. Por lo que se ha provocado problemas relacionados a pérdidas en el suministro eléctrico en diferentes localidades del país, especialmente en zonas rurales. Siendo este el motivo a que muchos países estén optando por implementar sistemas de energías alternativas, en este caso los sistemas fotovoltaicos, ayudan a garantizar un suministro eléctrico más eficiente y sostenible

En Ecuador, se evidencia que en zonas rurales presentan dificultades al acceso de un servicio eléctrico de calidad, debido a cortes de energía y elevados costos en el desarrollo de nuevas infraestructuras para una nueva red de distribución eléctrica. Estas situaciones inciertas afectan a espacios comunitarios, limitando el desarrollo social y la calidad de vida de los habitantes. Asimismo, el alto valor de la factura eléctrica representa un problema económico para la comunidad, debido al consumo constante del sistema de iluminación convencional, de manera que se opte a buscar alternativas energéticas eficientes y sostenibles permitiendo reducir costos que garanticen un mejor servicio eléctrico.

La comunidad de San José de Alpamagal, perteneciente al cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, cuenta con un dispensario médico que brinda servicios médicos a los que habitan en el sector. Debido a la importancia de este establecimiento para la comunidad de garantizar la continuidad de sus servicios, surge el interés de implementar un sistema de autoabastecimiento energético que contribuya a satisfacer parte de su demanda eléctrica. Actualmente, el funcionamiento de los sistemas de iluminación genera un consumo constante de energía, reflejando costos de la facturación eléctrica elevadas. Esta situación motiva la implementación de un sistema fotovoltaico que permitan reducir la dependencia de la red convencional y optimizar el uso de los recursos económicos destinados al funcionamiento del dispensario.

En este contexto, la implementación y la ejecución de este proyecto beneficiará directamente a la comunidad, ya que permitirá contar con iluminación constante en el dispensario médico y el parque, incrementando la seguridad, mejorando la atención médica en horarios nocturnos

y reduciendo el impacto económico causado por las altas tarifas eléctricas. Además, contribuirá al cuidado del medio ambiente mediante el uso de energía renovable y sostenible.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la implementación de un sistema fotovoltaico híbrido contribuirá a reducir la dependencia de la red eléctrica, (ELEPCO SA), disminuir los costos de consumo energético y garantizar un suministro eléctrico eficiente para el dispensario médico y el sistema de iluminación comunitaria de la parroquia San José de Alpamalag, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi?

2.3 OBJETO DE CAMBIO Y 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 Beneficiarios 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 de salud y de aspecto social.

2.4.2 Beneficiarios indirectos

Comunidades aledañas 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

El Desarrollo de un sistema fotovoltaico en el dispensario médico y área social de la comunidad San José de Alpamalag demuestra ser una alternativa que promueva el cuidado del medio ambiente y ahorre el costo de consumo de energía eléctrica internamente. Esta modernización tecnológica se desarrolló ante la necesidad de disponer de un suministro eléctrico confiable, seguro y eficiente, que además contribuya a disminuir el impacto ambiental. En los últimos años, la dependencia de una única fuente de abastecimiento eléctrico ha generado limitaciones en el desarrollo económico, la atención de salud y las actividades sociales de la comunidad. La implementación de un sistema fotovoltaico híbrido, compuesto principalmente por módulos solares y una unidad de almacenamiento de energía, permite disponer de un suministro eléctricos confiable para cubrir las actividades cotidianas del dispensario médico. La integración adecuada de estos equipos contribuye a mejorar la eficiencia, seguridad y continuidad del servicio eléctrico. Asimismo, el aprovechamiento de la energía solar disminuye la dependencia de fuentes convencionales y reduce el impacto ambiental asociado a la generación de electricidad, favoreciendo el uso de una alternativa energética más sostenible.

La autonomía energética extra que ofrecerá el sistema de paneles fotovoltaicos, permitirá al dispensario y al parque funcionar de manera independiente, como por ejemplo las estiajes, únicamente no dependerá de forma total de la red eléctrica convencional, el sistema se regué a estos siguientes aspectos para su funcionamiento, como; panel solar, sistema de almacenamiento y red eléctrica, este aspecto refuerza la resiliencia energética del dispensario médico este plan no solo beneficia a la comunidad de San José de Alpamalag, sino también se convierte en un tipo de desarrollo energético sostenible para cada una de las comunidades aledañas de Alpamalag.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Implementar un sistema fotovoltaico híbrido mediante dimensionamiento y simulación para brindar respaldo energético al dispensario médico y mejorar la continuidad del servicio eléctrico mediante el uso sostenible de energía solar.

2.6.2 Específicos

- Determinar la demanda energética del dispensario médico mediante el levantamiento de carga eléctricas, análisis de consumo y elaboración de del esquema unifilar del sistema existente.
- Implementar un sistema fotovoltaico híbrido considerando la demanda eléctrica del dispensario médico y establecer una solución de respaldo eléctrico eficiente que adapten a las necesidades de la comunidad San José de Alpamalag.
- Validar el funcionamiento del sistema fotovoltaico mediante pruebas de parámetros eléctricos evaluando su comportamiento bajo diferentes condiciones de funcionamiento.
- Evaluar el impacto social generado por la implementación del sistema fotovoltaico en el dispensario médico de la comunidad de San José de Alpamalag, considerando su aporte en la continuidad del servicio eléctrico y beneficio comunitario.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2. Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Determinar la demanda energética del dispensario médico mediante el levantamiento de carga eléctrica, análisis de consumo y elaboración de del esquema unifilar del sistema existente.	Recopilar información técnica sobre los equipos eléctricos utilizados en dispensario médico.	Un registro técnico de los equipos eléctricos, determinando sus horarios y tiempos de funcionamiento, permitiendo estimar la demanda y consumo diario de energía.	Revisar y analizar las facturas de electricidad para identificar tendencias de consumo.
	Registrar el horario de uso de los equipos eléctricos.		Multímetro, pinza amperimétrica.
Diseñar un sistema fotovoltaico híbrido considerando la demanda eléctrica del dispensario médico y establecer una solución de respaldo eléctrico eficiente que adapten a las necesidades de la comunidad San José de Alpalag.	Analizar los datos del diagnóstico energético consumo actual, proyección futura.	Un diagrama que muestre la disposición de los paneles solares y la conexión de los componentes.	Utilizar software para simular la producción de energía solar en función de la radiación solar y la ubicación geográfica.
	Calcular la demanda energética diaria y la potencia requerida.	Cálculos de energía requerida y dimensionamiento del sistema.	Aplicar fórmulas para calcular la capacidad del sistema.
Validar el funcionamiento del sistema fotovoltaico mediante pruebas de parámetros eléctricos evaluando su comportamiento bajo diferentes condiciones de funcionamiento.	Realizar mediciones eléctricas de los principales parámetros del sistema fotovoltaico, como voltaje, corriente, y estado de la batería.	Registro de valores eléctricos obtenidos durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico.	Realizar mediciones con equipos de prueba como pinza amperimétrica y multímetro.
	Analizar el comportamiento del sistema durante diferentes condiciones de funcionamiento como energía solar, batería y red eléctrica.	Identificar el desempeño del sistema en sus diferentes modos de operación.	Graficas de comportamiento, curvas de carga y descarga.
Analizar el impacto social generado por el sistema fotovoltaico implementado en el dispensario médico de la comunidad de San José de Alpalag.	Diseñar y aplicar una encuesta dirigida a los habitantes de la comunidad para conocer su opinión.	Obtener información sobre el nivel de aceptación y valoración del proyecto por parte de la comunidad.	Encuesta aplicada, tabulación de resultados y gráficos.
	Analizar los resultados obtenidos de la encuesta para identificar los principales beneficios.	Determinar el aporte del sistema en la comunidad del servicio médico y bienestar comunitario.	Análisis estadísticos e interpretación de resultados.

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

La instalación de tecnologías de generación eléctrica en áreas rurales enfrenta obstáculos económicos y de infraestructura, limitando el acceso a un suministro continuo para establecimientos de atención prioritaria como los dispensarios médicos. Ante la vulnerabilidad de las redes convencionales frente a variaciones climáticas y fallas de distribución, el aprovechamiento de la radiación solar mediante sistemas fotovoltaicos híbridos ofrece una solución técnica viable. Estas instalaciones combinan paneles solares, almacenamiento en bancos de baterías y conexión a la red pública, asegurando la provisión ininterrumpida de electricidad para equipos médicos y sistemas de iluminación, lo que permite mantener la atención sanitaria en sectores alejados sin depender de una sola fuente de energía.

Tabla 3. Análisis global sobre sistemas energéticos y redes de distribución.

Ref	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
[1]	Diseño y simulación de un sistema híbrido eólico/fotovoltaico para alumbrado público en vías rápidas. Caso de estudio vía Cuenca – Azogues	Universidad Católica de Cuenca	Evalúa la combinación de fuentes eólica y solar para iluminación vial. Mediante simulaciones energéticas analiza la producción diaria, compara escenarios operativos y determina la factibilidad técnica de suministrar electricidad autónoma en infraestructura pública local. Además, identifica beneficios económicos, reducción del consumo convencional, mayor confiabilidad del servicio y potencial de replicación en proyectos viales con recursos renovables disponibles durante todo el año, fortaleciendo la sostenibilidad energética regional mediante soluciones híbridas eficientes.
[2]	Diseño de un sistema de energía fotovoltaico híbrido para las bodegas de la compañía XURI S.A	Universidad Politécnica Salesiana	Diseña una instalación fotovoltaica híbrida con almacenamiento destinada al abastecimiento energético de instalaciones comerciales. Propone priorizar la generación solar durante el día y utilizar baterías en horarios nocturnos, reduciendo costos operativos, dependencia de la red convencional y pérdidas energéticas. Además, evalúa criterios de selección tecnológica, viabilidad económica y

		estrategias de gestión energética para mejorar la confiabilidad del sistema bajo diferentes condiciones de operación eléctrica y demanda futura del usuario final.
[3]	Enfoque técnico para la implantación de sistemas híbridos de energías renovables: retos, posibilidades e implicaciones Revista Reincisol	Analiza las variables técnicas involucradas en la implementación de sistemas híbridos de energías renovables, considerando criterios de integración entre diferentes fuentes de generación. Examina desafíos operativos, requerimientos tecnológicos y posibilidades de aplicación en redes eléctricas con inestabilidad frecuente, concluyendo que estas configuraciones mejoran la eficiencia energética, optimizan el flujo eléctrico, incrementan la confiabilidad del suministro y favorecen la transición hacia modelos energéticos más sostenibles y resilientes para comunidades rurales aisladas.
[4]	Revisión de literatura en el diseño de sistemas híbridos de energía para minimizar costos, emisiones y maximizar producción Revista NeyArt	Revisa investigaciones relacionadas con el diseño y dimensionamiento de sistemas híbridos de generación eléctrica, identificando metodologías orientadas a minimizar costos, emisiones contaminantes y consumo energético. Explica que una adecuada selección de componentes incrementa la eficiencia del sistema, optimiza la inversión inicial y mejora la continuidad del suministro. Además, resalta la importancia de estas configuraciones para aplicaciones donde la confiabilidad energética constituye un requisito prioritario de funcionamiento permanente en instalaciones críticas.
[5]	Implementación y evaluación técnica de un sistema fotovoltaico híbrido conectado y desconectado de la red eléctrica para un cliente regulado en bajo voltaje Universidad Politécnica Salesiana	Evalúa el comportamiento operativo de un sistema fotovoltaico híbrido equipado con inversor inteligente y banco de baterías mediante pruebas experimentales de funcionamiento. Analiza la respuesta del sistema durante cambios entre operación conectada y aislada, verificando la

		continuidad del suministro eléctrico frente a interrupciones de la red. Además, demuestra que la automatización del proceso incrementa la confiabilidad energética y protege adecuadamente las cargas críticas instaladas durante contingencias eléctricas imprevistas de operación.
[6]	Diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico para autoconsumo considerando la regulación ecuatoriana Universidad Politécnica Salesiana	Desarrolla el diseño técnico de un sistema fotovoltaico destinado al autoconsumo eléctrico bajo la normativa ecuatoriana vigente. Emplea el software PVSyst para estimar la producción anual de energía, evaluar el rendimiento del sistema y analizar indicadores económicos relacionados con la inversión. Asimismo, determina el período de recuperación financiera, demostrando la viabilidad técnica, energética y económica de implementar instalaciones solares conectadas a la red nacional con criterios regulatorios plenamente aplicables actuales.
[7]	Smart Grid y Micro Grid Plataforma Academia.edu	Presenta los fundamentos técnicos de las redes inteligentes y las microrredes como alternativas para modernizar los sistemas eléctricos convencionales. Describe mecanismos de control automático, comunicación y supervisión que permiten integrar generación distribuida, almacenamiento energético y gestión eficiente de cargas. Asimismo, explica cómo estas tecnologías incrementan la estabilidad operativa, reducen pérdidas eléctricas y fortalecen la confiabilidad del suministro mediante una administración energética descentralizada y flexible para diferentes escenarios de operación futura.
[8]	Trabajo de integración curricular (Suministro eléctrico en el sector salud) Escuela Politécnica Nacional	Analiza la influencia de las interrupciones del suministro eléctrico sobre el funcionamiento de establecimientos de salud y la continuidad de los servicios médicos. Identifica riesgos asociados con equipos críticos, refrigeración de medicamentos e

		infraestructura hospitalaria. Además, plantea la incorporación de fuentes alternativas de respaldo energético para disminuir la vulnerabilidad operativa, garantizar la atención permanente de los pacientes y fortalecer la seguridad del sistema eléctrico institucional frente a emergencias prolongadas futuras.
[9]	Repotenciación del sistema eléctrico a nivel de distribución del sector VÍA-SALITRE con ingreso de una subestación de transformación en sistema radial Universidad Politécnica Salesiana	Estudia la repotenciación de un sistema eléctrico de distribución mediante la incorporación de una subestación y la reorganización de la red radial existente. Analiza el comportamiento del flujo de potencia, las pérdidas técnicas y los niveles de tensión obtenidos después de la intervención. Asimismo, demuestra que la propuesta incrementa la calidad del servicio, mejora la confiabilidad operativa y optimiza el abastecimiento energético de los usuarios conectados mediante infraestructura modernizada integral.
[10]	Planificación óptima de sistemas eléctricos de distribución en zonas rurales mediante la integración de micro-redes Universidad Politécnica Salesiana	Desarrolla un modelo de planificación para sistemas eléctricos rurales basado en la integración de microrredes y generación distribuida. Evalúa escenarios técnicos orientados a descentralizar el suministro energético, mejorar la continuidad del servicio y disminuir las limitaciones propias de redes extensas. Además, demuestra que la incorporación de recursos energéticos locales incrementa la resiliencia del sistema, optimiza la operación eléctrica y favorece el desarrollo sostenible de comunidades aisladas mediante estrategias energéticas integradas.

Los trabajos analizados en la Tabla 3 exponen que la instalación de sistemas fotovoltaicos híbridos resuelve de manera efectiva las fallas de suministro en áreas rurales y centros de salud. Las investigaciones respaldan el uso combinado de paneles solares y bancos de baterías para asegurar el flujo continuo de electricidad frente a los cortes de la red estatal.

3.2 MARCO TEORICO

3.2.1 Sistema eléctrico y suministro de energía

El sistema eléctrico de potencia comprende los elementos interconectados que hacen posible la generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, su propósito consiste en asegurar un suministro continuo, seguro y eficiente para los usuarios finales, además de mantener niveles adecuados de calidad de energía en cuanto a tensión, frecuencia y confiabilidad [7].

De manera general, el sistema eléctrico está integrado por centrales de generación, líneas de transmisión de alta tensión, subestaciones de transformación y redes de distribución, las cuales permiten transportar la energía hasta los consumidores finales, mientras cada una de estas etapas cumple una función específica dentro del proceso de suministro eléctrico [7].

En la etapa de distribución, la energía eléctrica llega a usuarios residenciales, comerciales e institucionales, entre los cuales se encuentran instalaciones de atención sanitaria, las cuales requieren continuidad permanente del servicio debido a la naturaleza sensible de las cargas que alimentan [8].



Figura. 1 Proceso de suministro de energía eléctrica [8].

3.2.2 Sistemas de distribución eléctrica

Los sistemas eléctrica corresponden a la etapa del sistema eléctrico de potencia y tienen la función de alimentadores primarios, transformadores de distribución, redes secundarias y equipos de protección y maniobra, su función consiste en suministrar energía eléctrica con niveles adecuados de calidad, al mismo tiempo que limitan las pérdidas técnicas y mantienen la continuidad del servicio frente a fallas o variaciones de la red [9].

En las zonas rurales, los sistemas de distribución presentan condiciones propias, entre ellas largas distancias entre los puntos de carga, baja densidad de consumo y mayor probabilidad de interrupciones, por esta razón resulta necesario incorporar alternativas que permitan mantener el suministro de energía eléctrica [10].

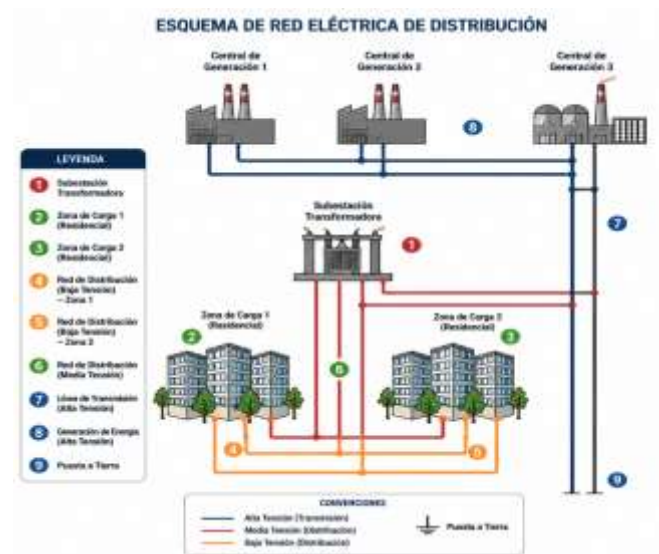


Figura. 2 Esquema general de un sistema de distribución eléctrica [9].

3.2.3 Calidad del suministro eléctrico

La calidad del suministro eléctrico comprende las características que definen el comportamiento de la energía entregada a los usuarios, entre ellas la estabilidad de la tensión, la frecuencia, la forma de onda y la continuidad del servicio, además las perturbaciones de la calidad de energía como caídas de tensión, interrupciones, armónicos y fluctuaciones pueden afectar el funcionamiento de equipos eléctricos sensibles, especialmente en instalaciones médicas [11].

En los dispensarios médicos, la calidad del suministro eléctrico tiene una influencia directa sobre la prestación de los servicios de salud, debido a que una interrupción del servicio puede afectar la atención de los pacientes, el funcionamiento de los equipos médicos y la conservación de medicamentos [11].

3.2.4 Energías renovables

Las energías renovables corresponden a fuentes de energía obtenidas a partir de recursos naturales de disponibilidad continua o de rápida regeneración, entre ellas la radiación solar, el viento, el agua y la biomasa, además representan una alternativa frente a los combustibles fósiles debido a su menor impacto ambiental y a la disponibilidad de estos recursos en la naturaleza, entre estas fuentes la energía solar fotovoltaica ha alcanzado una amplia aplicación durante los últimos años debido a la facilidad de instalación, la capacidad de adaptación a diferentes necesidades y la disminución progresiva de los costos asociados a esta tecnología [12].

Tabla 4. Principales fuentes de energías renovables

Fuente energética	Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Solar	Generación eléctrica	Inagotable, modular	Intermitente
Eólica	Generación eléctrica	Baja emisión CO ₂	Depende del viento
Hidráulica	Generación eléctrica	Alta eficiencia	Impacto ambiental
Biomasa	Energía térmica/eléc.	Aprovecha residuos	Emisiones indirectas

3.2.5 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica permite convertir la irradiación solar directamente en energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico, este fenómeno tiene lugar principalmente en celdas de silicio, las cuales se agrupan para formar módulos o paneles solares capaces de suministrar niveles de potencia adecuados para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales [13].

Entre sus principales características se encuentran el uso de una fuente de energía renovable, el funcionamiento silencioso, la posibilidad de ampliar la capacidad instalada y los bajos requerimientos de mantenimiento, sin embargo, la generación de energía depende de las condiciones climáticas y de la disponibilidad de irradiación solar, el cual su producción presenta variaciones durante la operación [14].

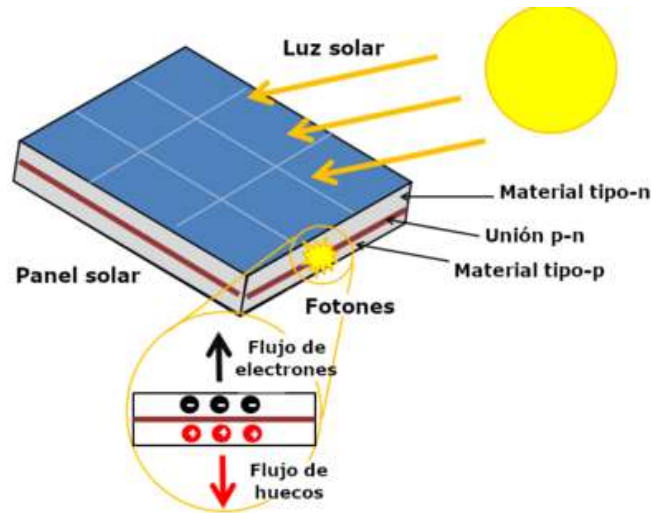


Figura. 3 Funcionamiento del efecto fotovoltaico [14].

Es importante conocer sobre Horas Sol Pico (HSP) constituyen un parámetro para el dimensionamiento de sistemas solar, representan el número equivalente de horas diarias durante las cuales la irradiancia solar mantiene un valor constante de 1000 W/m². Este concepto simplifica el análisis del recurso solar al convertir una distribución variable de radiación en un tiempo equivalente de máxima generación, facilitando la estimación de la energía que puede producir un sistema fotovoltaico.

Durante el proceso de diseño, las Horas Sol Pico permiten determinar la potencia requerida del arreglo fotovoltaico mediante la relación entre la demanda diaria de energía y el recurso solar disponible. En este sentido, una disminución del valor de las HSP implica la necesidad de incrementar la capacidad instalada de los módulos para garantizar el suministro energético, mientras que valores más elevados permiten reducir el número de paneles necesarios para satisfacer la misma demanda. La relación básica utilizada para estimar la potencia mínima del arreglo fotovoltaico puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$P_{FV} = \frac{E_d}{HSP \times \eta} \quad (1)$$

Donde:

- P_{FV} : potencia requerida del sistema fotovoltaico (W).
- E_d : demanda diaria de energía (Wh/día).

- *HSP*: Horas Sol Pico (h/día).
- η : eficiencia global del sistema.

Esta ecuación constituye uno de los principales criterios empleados durante el dimensionamiento preliminar de instalaciones fotovoltaicas.

3.2.6 Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos están conformados por componentes eléctricos y electrónicos destinados a transformar la energía solar en energía eléctrica aprovechable, además, de acuerdo con su forma de operación, se clasifican en sistemas aislados, sistemas conectados a la red eléctrica y sistemas híbridos [15].

3.2.7 Sistema fotovoltaico aislado

Este tipo de sistema funciona de manera independiente de la red eléctrica, para ello utiliza baterías que almacenan la energía y la suministran durante la noche o cuando no existe irradiación solar. Su aplicación es frecuente en zonas rurales o aisladas donde no se dispone de acceso a la red de distribución eléctrica [16].



Figura. 4 Sistema fotovoltaico aislado [14].

3.2.8 Sistema fotovoltaico conectado a red

Los sistemas conectados a la red funcionan en paralelo con la red eléctrica pública, por lo cual permiten el consumo directo de la energía generada por los paneles solares y, en determinados casos, la entrega de excedentes hacia la red eléctrica, además, este tipo de sistema no incorpora

almacenamiento mediante baterías, lo que disminuye el costo inicial, aunque limita su capacidad de operación cuando se presentan fallas en el suministro eléctrico [16].



Figura. 5 Sistema fotovoltaico conectado a la red [16].

3.2.9 Sistema fotovoltaico híbrido

El sistema fotovoltaico híbrido de generación de energía solar con almacenamiento en baterías y red eléctrica, además permite una operación flexible, eficiente y confiable, mientras prioriza el uso de la energía solar, almacena los excedentes en baterías y recurre a la red eléctrica como fuente de respaldo cuando la generación fotovoltaica no cubre la demanda, la principal ventaja de este sistema radica en mantener la continuidad del suministro eléctrico, por esta razón constituye una alternativa adecuada para dispensarios médicos, donde la interrupción del servicio puede afectar la atención de los pacientes y el funcionamiento de los equipos [17].

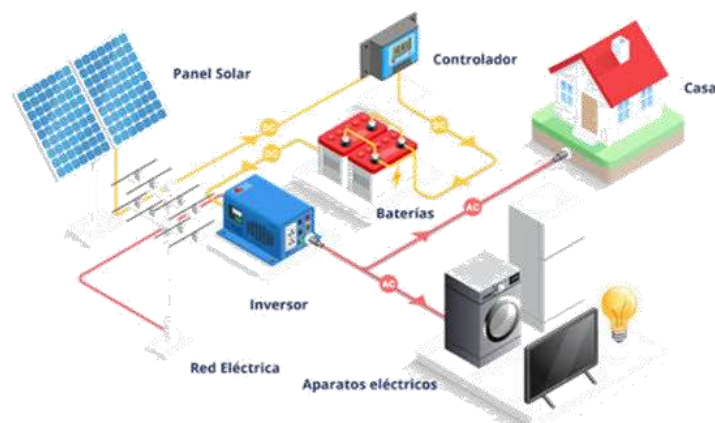


Figura. 6 Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido [17].

Tabla 5. Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido.

Tipo de sistema	Uso de baterías	Conexión a red	Continuidad	Aplicación
Aislado	Sí	No	Media	Zonas rurales
On-grid	No	Sí	Baja en fallas	Residencial urbano
Híbrido	Sí	Sí	Alta	Centros críticos

3.2.10 Componentes de un sistema fotovoltaico híbrido

Un sistema fotovoltaico híbrido está conformado por diversos componentes eléctricos y electrónicos que operan de manera coordinada para captar la energía proveniente de la radiación solar, convertirla en energía eléctrica, almacenarla cuando existe un excedente de generación y suministrarla de forma continua a las cargas, además, la integración de estos elementos permite aprovechar la energía solar y mantener la continuidad del servicio mediante el respaldo de las baterías y de la red de distribución eléctrica [18].

La selección de cada componente depende de la demanda energética, las condiciones climáticas del lugar de instalación, el recurso solar disponible y las características técnicas de las cargas que serán alimentadas, por lo cual un dimensionamiento adecuado mejora el desempeño del sistema, prolonga la vida útil de los equipos y disminuye los costos de operación y mantenimiento [18].

Tabla 6. Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido.

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
Paneles fotovoltaicos	Transforman la radiación solar en corriente continua (DC).	Constituyen la fuente principal de generación de energía.
Inversor híbrido	Convierte la corriente continua en corriente alterna (AC) y administra el flujo energético.	Coordina la operación entre paneles, baterías y red eléctrica.
Banco de baterías	Almacena la energía para su utilización cuando la generación solar es insuficiente.	Garantiza continuidad del suministro eléctrico.
Controlador MPPT	Optimiza el punto de máxima potencia de los paneles solares.	Incrementa el rendimiento y la eficiencia del sistema.
Protecciones eléctricas	Protegen los equipos frente a sobre corrientes y sobretensiones.	Mejoran la seguridad y confiabilidad del sistema.

3.2.11 Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos destinados a captar la radiación solar y transformarla directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, además están formados por un grupo de celdas fotovoltaicas, generalmente fabricadas con silicio monocristalino, policristalino o de película delgada, materiales semiconductores que generan corriente continua (DC) al recibir la radiación solar [19].

El desempeño de los módulos depende de la irradiancia, la temperatura, la orientación, la inclinación y la presencia de sombras, además, en los sistemas fotovoltaicos híbridos los paneles constituyen la principal fuente de generación eléctrica, por lo cual permiten disminuir el consumo de energía proveniente de la red eléctrica y aprovechar de mejor manera la energía solar [19].

3.2.12 Inversor híbrido

El inversor híbrido es el equipo encargado de convertir la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC), compatible con las cargas eléctricas, además administra el flujo de energía entre los módulos fotovoltaicos, el banco de baterías y la red eléctrica para mejorar el funcionamiento del sistema [15].

Este dispositivo prioriza el consumo de la energía solar, controla la carga y descarga de las baterías y sincroniza el sistema con la red eléctrica cuando las condiciones de operación lo requieren, por lo cual permite mantener un suministro de energía continuo y un funcionamiento adecuado del sistema fotovoltaico híbrido [9].

3.2.13 Banco de baterías

El banco de baterías es el componente destinado almacenar la energía para suministrarla cuando la producción fotovoltaica resulta insuficiente o durante interrupciones del servicio eléctrico, además su incorporación aumenta la autonomía del sistema y permite mantener el suministro de energía por un mayor tiempo [6].

Entre las tecnologías se encuentran las baterías de plomo-ácido y las de ion-litio, estas últimas son ampliamente empleadas debido a su mayor eficiencia, mayor vida útil y mayor profundidad de descarga, además, durante su selección se consideran parámetros como la capacidad de almacenamiento, el voltaje nominal y el número de ciclos de carga y descarga [1].

3.2.14 Controlador de carga MPPT

El controlador de carga MPPT es un dispositivo encargado de optimizar la energía generada por los paneles solares, para ello mantiene su funcionamiento en el punto de máxima potencia y mejora el proceso de carga del banco de baterías, en la mayoría de los sistemas fotovoltaicos

híbridos modernos esta función se encuentra integrada en el inversor híbrido, por lo cual se simplifica la instalación y se aprovecha de mejor manera la energía disponible proveniente de la radiación solar [20].

3.2.15 Sistemas de protección eléctrica

Los sistemas de protección eléctrica tienen como función resguardar los equipos y asegurar la seguridad de la instalación frente a sobre corrientes, cortocircuitos, sobretensiones y fallas de aislamiento, además para ello se emplean dispositivos como interruptores termomagnéticos, fusibles, descargadores de sobretensión (SPD), interruptores diferenciales y sistemas de puesta a tierra, la adecuada selección de estos elementos permite incrementar la confiabilidad del sistema fotovoltaico híbrido, prolongar la vida útil de sus componentes y cumplir con las normas técnicas de seguridad eléctrica [17].

3.2.16 Sistemas fotovoltaicos híbridos en ingeniería eléctrica

Los sistemas fotovoltaicos híbridos representan una configuración avanzada dentro de la generación distribuida, en la cual se integran fuentes de energía renovable principalmente solar, sistemas de almacenamiento mediante baterías y la red eléctrica convencional como respaldo, este tipo de sistemas permite una gestión energética inteligente donde la energía generada por los módulos fotovoltaicos puede ser consumida directamente, almacenada o inyectada a la red dependiendo de las condiciones de operación y la demanda del usuario, en ingeniería eléctrica estos sistemas híbridos se consideran una solución adecuada para instalaciones críticas debido a su capacidad de garantizar continuidad del suministro eléctrico y mejorar la confiabilidad del sistema [11].

3.2.17 Principio de operación de un sistema híbrido

El funcionamiento de un sistema fotovoltaico híbrido se basa en la interacción coordinada entre sus componentes principales, los cuales incluyen la generación mediante paneles solares, el almacenamiento en baterías, la conversión mediante inversor híbrido y el respaldo de la red eléctrica. La prioridad de operación suele establecerse en el consumo directo de la energía solar en primer lugar, luego el almacenamiento en baterías y finalmente el uso de la energía proveniente de la red eléctrica [5].



Figura. 7 Flujo de energía en un sistema fotovoltaico híbrido [5].

Tabla 7. Modos de operación de un sistema híbrido

Modo de operación	Fuente principal	Estado de baterías	Uso de red	Descripción
Autoconsumo solar	Paneles solares	Carga/descarga	No	Uso directo de energía solar
Almacenamiento	Exceso solar	Carga	No	Energía almacenada en baterías
Respaldo	Red eléctrica	Descarga	Sí	Soporte ante baja generación solar
Mixto	Solar + red	Variable	Sí	Operación combinada

3.2.18 Ventajas de los sistemas híbridos

Los sistemas fotovoltaicos híbridos presentan diversas ventajas desde el punto de vista técnico y operativo, entre ellas la posibilidad de mantener la continuidad del suministro eléctrico, además de disminuir la dependencia de la red pública, también permiten un mayor aprovechamiento del autoconsumo energético y una reducción de los costos energéticos a largo plazo, por otra parte aportan mayor estabilidad en el suministro de cargas críticas y brindan flexibilidad operativa ante fallas del sistema eléctrico [6].

Tabla 8. Comparación técnica entre sistemas energéticos

Característica	Sistema aislado	Sistema on-grid	Sistema híbrido
Conexión a red	No	Sí	Sí
Uso de baterías	Sí	No	Sí
Continuidad del servicio	Media	Baja en fallas	Alta
Costo inicial	Alto	Bajo	Medio-alto
Aplicación en salud	Limitado	No recomendado	Ideal

3.2.19 Aplicación en centros de salud

Los centros de salud requieren un suministro eléctrico continuo debido a la naturaleza crítica de sus equipos médicos, entre ellos sistemas de refrigeración de vacunas, equipos de diagnóstico, iluminación de emergencia y sistemas informáticos, por esta razón la disponibilidad de energía estable resulta determinante para su funcionamiento. En este escenario, los sistemas fotovoltaicos híbridos constituyen una alternativa tecnológica adecuada, ya que permiten mantener la operación aun cuando se presentan interrupciones en la red eléctrica, asegurando la continuidad de la atención médica. Esta condición cobra mayor importancia en zonas rurales como la comunidad San José de Alpamagal, donde la infraestructura eléctrica puede presentar interrupciones frecuentes y variaciones de voltaje que afectan el servicio eléctrico [10].

3.2.20 Sistemas de almacenamiento de energía (baterías)

Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica permiten acumular la energía generada por fuentes renovables para su uso posterior, en los sistemas fotovoltaicos híbridos las baterías cumplen un rol importante en la estabilidad y continuidad del suministro, además el almacenamiento energético permite separar la generación del consumo, lo que implica que la energía producida durante el día puede ser utilizada en horarios nocturnos o cuando existe baja radiación solar [5].

3.2.21 Tipos de baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos híbridos requieren el uso de sistemas de almacenamiento de energía que permitan garantizar la continuidad del suministro eléctrico cuando la generación solar no es suficiente, en este sentido las baterías constituyen un componente fundamental, ya que permiten almacenar la energía producida durante los periodos de alta irradiación solar para ser utilizada posteriormente en horarios de baja generación o durante fallas de la red eléctrica [6].

La selección del tipo de batería depende de factores técnicos como la capacidad de almacenamiento, la eficiencia en los procesos de carga y descarga, la vida útil, la profundidad de descarga y los costos de inversión, actualmente en aplicaciones fotovoltaicas se emplean

diferentes tecnologías de baterías con características específicas que determinan su adecuación según el tipo de sistema y la demanda energética requerida [13].

Tabla 9. Tipos de baterías

Tipo de batería	Características	Ventajas	Desventajas
Plomo-ácido	Tecnología tradicional	Bajo costo	Menor vida útil
AGM / GEL	Selladas	Bajo mantenimiento	Costo medio
Litio (Li-ion / LiFePO4)	Alta densidad energética	Alta eficiencia y vida útil	Alto costo inicial

3.2.22 Parámetros técnicos de las baterías

Los principales parámetros que definen el comportamiento de un banco de baterías incluyen la capacidad nominal expresada en Ah o kWh, el voltaje nominal, la profundidad de descarga (DoD), los ciclos de vida útil y la eficiencia en los procesos de carga y descarga [12].

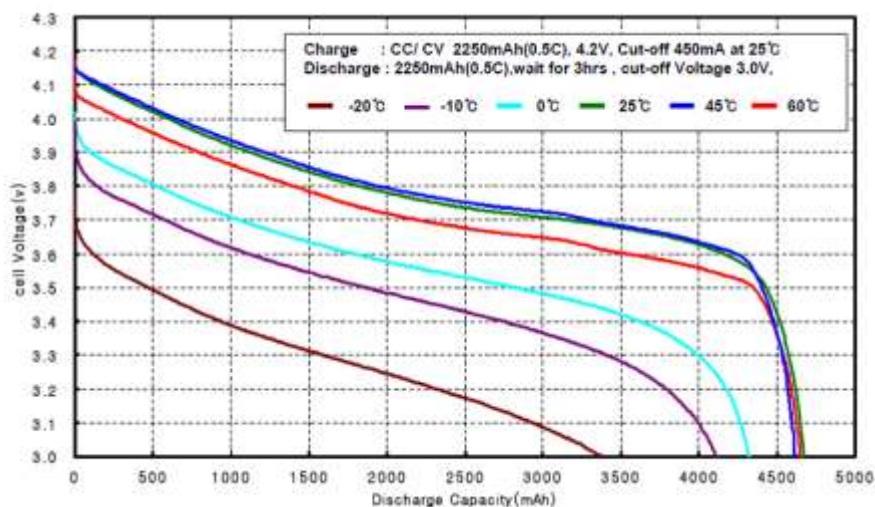


Figura. 8 Curva de descarga de una batería de litio [12].

3.2.23 Importancia del almacenamiento en sistemas híbridos

El almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos híbridos cumple un rol dentro de la gestión y operación del sistema eléctrico, ya que permite separar la generación solar del consumo energético, de este modo la energía producida durante las horas de mayor irradiación puede ser almacenada en bancos de baterías para ser utilizada posteriormente cuando la generación disminuye o cuando aumenta la demanda de carga, con ello el sistema mejora su desempeño al garantizar mayor autonomía energética, disminuir la dependencia de la red eléctrica, estabilizar el suministro ante variaciones de carga y aumentar la eficiencia del

autoconsumo, además el almacenamiento energético actúa como respaldo inmediato frente a fallas o interrupciones del servicio eléctrico, lo cual resulta especialmente importante en instalaciones como dispensarios médicos donde la continuidad del suministro es necesaria [5].

Tabla 10. Beneficios del almacenamiento en sistemas híbridos

Beneficio	Descripción
Autonomía energética	Permite operar el sistema sin depender continuamente de la red eléctrica
Reducción de picos de demanda	Evita sobrecargas en la red durante horarios de alto consumo
Estabilidad del sistema	Mantiene un suministro más constante y regulado
Mayor autoconsumo	Aprovecha mejor la energía solar generada
Respaldo eléctrico	Garantiza energía ante fallas o cortes de la red

3.3 INVERSORES

Es el encargado de convertir la corriente directa generada por módulos fotovoltaicos en corriente alterna para las cargas eléctricas y con la red de distribución. Además de realizar esta conversión, incorpora funciones de monitoreo, sincronización y protección que contribuyen al funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

En instalaciones modernas, los inversores incluyen sistemas electrónicos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), permitiendo extraer la mayor cantidad posible de energía de los módulos fotovoltaicos aun cuando las condiciones de radiación y temperatura presentan variaciones durante el día. Esta característica incrementa el rendimiento global del sistema y mejora el aprovechamiento del recurso solar disponible.

3.4 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

El análisis de un sistema fotovoltaico se determina las características técnicas de sus componentes para satisfacer la demanda energética de forma segura y eficiente. Este proceso considera variables como el consumo eléctrico, el recurso solar disponible, la autonomía requerida y las pérdidas del sistema. Su desarrollo se realiza de manera secuencial, iniciando con el cálculo de la demanda energética y continuando con el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico, el banco de baterías, el inversor, el controlador de carga y los conductores

eléctricos, ya que todos estos elementos se encuentran interrelacionados y condicionan el desempeño de la instalación.

El primer paso para el dimensionamiento consiste en determinar la energía eléctrica que será consumida diariamente por las cargas conectadas al sistema. Para ello se identifican todos los equipos eléctricos, su potencia nominal y el tiempo promedio de funcionamiento durante un día de operación. La demanda energética constituye el principal parámetro de diseño, ya que a partir de ella se calculan las características del resto de los componentes del sistema.

La energía diaria requerida se determina mediante la siguiente expresión:

$$E_d = \sum_{i=1}^n (P_i \times t_i) \quad (2)$$

Donde:

- E_d : energía diaria consumida (Wh/día).
- P_i : potencia nominal del equipo i (W).
- t_i : tiempo diario de funcionamiento (h).
- n : número total de cargas.

La correcta estimación de la demanda energética permite evitar el sobredimensionamiento o subdimensionamiento del sistema, optimizando la inversión y garantizando el funcionamiento adecuado de las cargas previstas.

Una vez determinada la demanda energética, se procede a calcular la potencia mínima que debe proporcionar el arreglo fotovoltaico para cubrir el consumo diario de energía. Este cálculo considera la disponibilidad del recurso solar expresado mediante las Horas Sol Pico (HSP) y la eficiencia global del sistema, la cual incorpora las pérdidas asociadas a los diferentes componentes eléctricos.

La potencia requerida del generador fotovoltaico puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$P_{FV} = \frac{E_d}{HSP \times \eta} \quad (3)$$

Donde:

- P_{FV} : potencia requerida del arreglo fotovoltaico (W).
- E_d : demanda diaria (Wh/día).
- HSP : Horas Sol Pico (h/día).
- η : eficiencia global del sistema.

Una vez obtenida la potencia requerida, el número de módulos fotovoltaicos se determina mediante:

$$N_p = \frac{P_{FV}}{P_{panel}} \quad (4)$$

Donde:

- N_p : número de paneles.
- P_{panel} : potencia nominal del módulo (W).

En la práctica, el valor obtenido debe ajustarse al número entero superior para garantizar que la capacidad instalada satisfaga completamente la demanda energética prevista.

El banco de baterías tiene la función de almacenar la energía producida durante las horas de mayor radiación para suministrarla cuando la generación fotovoltaica resulta insuficiente o cuando se presentan interrupciones en la red eléctrica. Su capacidad depende principalmente del consumo diario, la autonomía requerida, el voltaje del sistema, la profundidad máxima de descarga y la eficiencia del almacenamiento.

La capacidad que requiere el banco de baterías puede determinarse mediante:

$$C = \frac{E_d \times A}{V \times DOD \times \eta_b} \quad (4)$$

Donde:

- C : capacidad del banco de baterías (Ah).
- E_d : demanda diaria (Wh).
- A : autonomía (días).
- V : voltaje del banco de baterías (V).
- DOD : profundidad máxima de descarga.
- η_b : eficiencia del banco de baterías.

La adecuada selección de la capacidad del sistema de almacenamiento permite mantener el suministro eléctrico durante periodos de baja generación solar, incrementando la confiabilidad de la instalación.

La autonomía representa el tiempo durante el cual el sistema puede suministrar energía únicamente mediante el banco de baterías, sin recibir aporte de los módulos fotovoltaicos o de la red eléctrica. Este parámetro adquiere especial importancia en instalaciones críticas, donde la continuidad del servicio constituye un requisito fundamental para garantizar la operación de los equipos eléctricos.

La autonomía puede expresarse mediante:

$$A = \frac{E_{bat}}{E_d} \quad (5)$$

Donde:

- A : autonomía (días).
- E_{bat} : energía útil almacenada (Wh).
- E_d : demanda diaria (Wh).

La autonomía requerida depende de las características del proyecto y de la disponibilidad del recurso solar. En instalaciones destinadas al suministro de cargas críticas suele establecerse una reserva energética suficiente para mantener la operación durante interrupciones prolongadas del servicio eléctrico.

El inversor constituye el equipo encargado de suministrar energía en corriente alterna a las cargas conectadas al sistema, por lo que su potencia nominal debe ser superior a la demanda máxima simultánea prevista durante la operación. Además, debe soportar las corrientes de arranque producidas por equipos inductivos y mantener condiciones adecuadas de estabilidad y calidad del suministro.

La potencia mínima del inversor se determina mediante:

$$P_{inv} \geq P_{max} \quad (6)$$

Donde:

- P_{inv} : potencia nominal del inversor.
- P_{max} : demanda máxima simultánea.

En aplicaciones prácticas suele incorporarse un margen de seguridad para garantizar un funcionamiento estable frente a variaciones temporales de la carga.

El controlador de carga debe ser capaz de conducir la máxima corriente generada por el arreglo fotovoltaico sin superar sus límites de operación. Su selección se realiza considerando la corriente de cortocircuito de los módulos y un factor de seguridad recomendado por los fabricantes.

La corriente mínima del controlador puede estimarse mediante:

$$I_{MPPT} = I_{sc} \times N_{par} \times 1.25 \quad (7)$$

Donde:

- I_{MPPT} : corriente nominal del controlador.
- I_{sc} : corriente de cortocircuito del módulo.
- N_{par} : número de ramas en paralelo.
- 1.25: factor de seguridad.

La incorporación de este margen permite evitar sobrecargas durante condiciones de elevada irradiancia.

Los conductores eléctricos deben dimensionarse de manera que soporten la corriente de operación y mantengan la caída de tensión dentro de los límites establecidos por la normativa técnica. Un conductor de sección insuficiente incrementa las pérdidas energéticas y provoca calentamiento, reduciendo la eficiencia global del sistema.

La sección mínima del conductor puede calcularse mediante:

$$S = \frac{2LI}{\gamma \Delta V} \quad (8)$$

Donde:

- S : sección del conductor (mm^2).
- L : longitud del circuito (m).
- I : corriente (A).
- γ : conductividad del material.
- ΔV : caída de tensión permitida (V).

El calibre seleccionado deberá corresponder al valor comercial inmediatamente superior al obtenido mediante el cálculo.

3.4.1 Inversores híbridos

El inversor híbrido constituye uno de los componentes más importantes dentro de un sistema fotovoltaico, ya que actúa como elemento central de gestión, su función principal consiste en transformar la corriente directa generada por paneles solares en corriente alterna (AC) utilizada por las cargas eléctricas convencionales, sin embargo a diferencia de un inversor convencional, el inversor híbrido incorpora funciones adicionales que permiten integrar distintas fuentes de energía como la red eléctrica, el sistema fotovoltaico y el banco de baterías [2].

Este tipo de inversor permite una gestión inteligente del flujo energético, optimizando el uso de la energía solar disponible, almacenando excedentes y utilizando la red como respaldo cuando es necesario, además su capacidad de sincronización con la red eléctrica garantiza un

funcionamiento seguro y estable, evitando problemas de desbalance o desconexión inadecuada [18].

Tabla 11. Tipos de inversores en sistemas fotovoltaicos

Tipo de inversor	Características	Aplicación
On-grid	Sin baterías, conectado directamente a red	Sistemas de autoconsumo conectados a red
Off-grid	Independiente de la red eléctrica	Zonas aisladas sin acceso a red
Híbrido	Integra baterías y red eléctrica	Sistemas críticos con respaldo energético

3.4.2 Ventajas del inversor híbrido

El uso de inversores híbridos ofrece diversos beneficios técnicos y operativos en sistemas fotovoltaicos modernos, especialmente en aplicaciones donde se requiere continuidad del servicio eléctrico, entre sus principales ventajas se encuentra la gestión de la energía según disponibilidad y demanda, la priorización del autoconsumo de energía solar generada, la compatibilidad con la red eléctrica pública, la activación automática de respaldo ante fallas del sistema y la mejora global de la eficiencia energética del sistema híbrido [19].

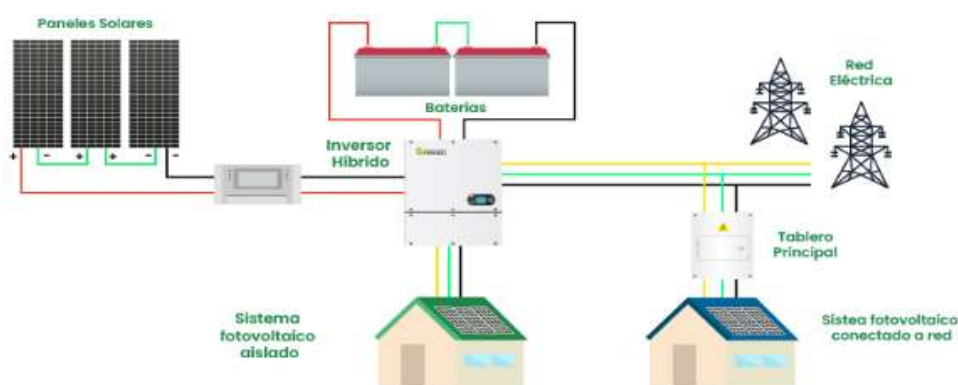


Figura. 9 Esquema de un inversor híbrido en un sistema fotovoltaico [19].

3.4.3 Normativa eléctrica aplicable en Ecuador

La implementación de sistemas fotovoltaicos híbridos en el Ecuador debe cumplir con la normativa técnica vigente establecida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR), además de estándares internacionales emitidos por organismos como IEC (International Electrotechnical Commission) e IEEE

(Institute of Electrical and Electronics Engineers), el cumplimiento de estas normas permite asegurar la seguridad eléctrica de las instalaciones, la compatibilidad con la red de distribución y la estabilidad del sistema eléctrico nacional, además estas disposiciones establecen los requisitos técnicos mínimos para la conexión de sistemas de generación distribuida [21].

3.4.4 Normativa nacional (ARCERNNR)

En el contexto ecuatoriano, la normativa emitida por la ARCERNNR regula los aspectos técnicos y operativos relacionados con la integración de sistemas de generación distribuida a la red eléctrica pública, entre sus lineamientos principales se incluyen las condiciones técnicas para la conexión de sistemas fotovoltaicos a la red, los requisitos de seguridad eléctrica en instalaciones de baja y media tensión, los parámetros de protección para sistemas de generación distribuida y los lineamientos para mantener la calidad y estabilidad del suministro eléctrico [21].

El objetivo de esta normativa es asegurar que la integración de energías renovables no genere efectos negativos en la operación del sistema eléctrico nacional, además de garantizar la seguridad de los usuarios finales.

3.4.5 Normas internacionales aplicables

El diseño, la instalación y la operación de sistemas fotovoltaicos híbridos también se respaldan en normativas internacionales ampliamente aceptadas, las cuales establecen criterios técnicos de calidad, seguridad y desempeño [21].

Tabla 12. Tipos de inversores en sistemas fotovoltaicos

Norma	Descripción
IEC 61215	Establece los requisitos de diseño y certificación de módulos fotovoltaicos, garantizando su desempeño bajo condiciones ambientales reales.
IEC 61730	Define los criterios de seguridad eléctrica y mecánica de los paneles solares, asegurando protección contra riesgos eléctricos.
IEEE 1547	Regula la interconexión de sistemas de generación distribuida con la red eléctrica, estableciendo condiciones de operación segura.
IEEE 929	Establece recomendaciones para el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.

3.4.6 Aplicación de sistemas fotovoltaicos en centros de salud

Los centros de salud, hospitales y dispensarios médicos son considerados instalaciones críticas dentro de los sistemas eléctricos, debido a que su operación depende directamente de la continuidad del suministro eléctrico, en estas instalaciones la energía no solo se utiliza para iluminación o equipos básicos, sino también para el funcionamiento de equipos médicos, sistemas de refrigeración de medicamentos y sistemas de comunicación [16].

Una interrupción del suministro eléctrico puede generar consecuencias como la pérdida de medicamentos, la suspensión de procedimientos médicos y la afectación directa en la atención de pacientes, por ello la confiabilidad del sistema eléctrico es un aspecto necesario en el diseño de este tipo de infraestructuras [8].

En este escenario, los sistemas fotovoltaicos híbridos representan una alternativa viable, ya que integran energía solar, almacenamiento en baterías y red eléctrica, lo que permite mejorar la continuidad del servicio, especialmente en zonas rurales como la comunidad San José de Alpamalag.

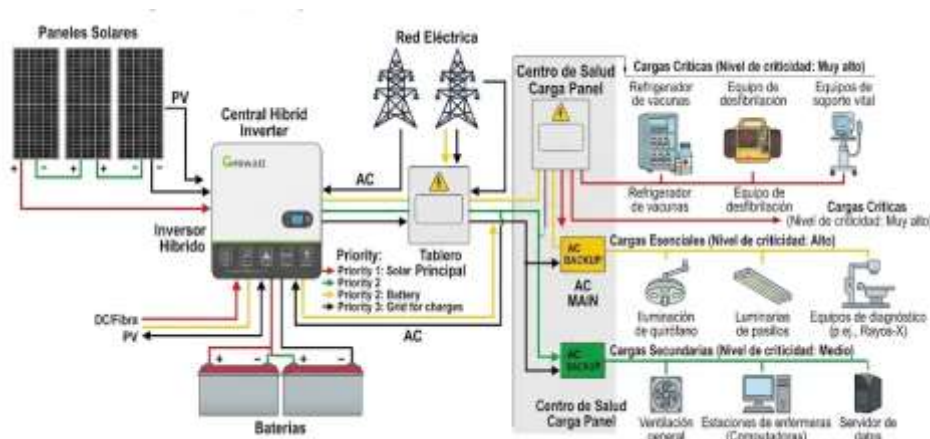


Figura. 10 Esquema general de alimentación eléctrica con sistema híbrido [8].

3.4.7 Cargas críticas en un dispensario médico

En un dispensario médico, las cargas eléctricas no presentan la misma prioridad operativa, debido a que algunas requieren un funcionamiento continuo, mientras que otras pueden soportar interrupciones temporales sin afectar de manera directa la operación del establecimiento, por esta razón resulta necesario clasificarlas según su nivel de criticidad para realizar un adecuado diseño del sistema de suministro energético [3].

Las cargas críticas corresponden a los equipos que deben permanecer energizados de forma permanente, ya que su desconexión puede afectar la atención de los pacientes o la conservación de insumos médicos, por otra parte, las cargas esenciales admiten interrupciones de corta duración sin impedir el funcionamiento del centro de salud, mientras que las cargas secundarias incluyen equipos auxiliares cuyo funcionamiento no influye directamente en la prestación de los servicios médicos [3].

Tabla 13. Clasificación de cargas en un dispensario médico

Tipo de carga	Ejemplos	Nivel de criticidad
Críticas	Refrigeración de vacunas, equipos de emergencia	Muy alto
Esenciales	Iluminación, equipos de diagnóstico	Alto
Secundarias	Ventilación, computadoras	Medio

El análisis de estas cargas permite establecer estrategias de respaldo energético mediante sistemas fotovoltaicos híbridos, con el propósito de garantizar que las cargas críticas dispongan de alimentación eléctrica prioritaria proveniente del sistema fotovoltaico o del banco de baterías [6].

4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA (GOOGLE EARTH)

Inicialmente se hizo el reconocimiento del lugar, una inspección técnica que nos permita evaluar las necesidades que se presentan en el caso de estudio, y también para el acondicionamiento de las áreas de instalación de los componentes del sistema fotovoltaico Figura. 11, el cual se lleve un correcto manejo de los equipos y permita hacer mantenimientos y monitoreo de parámetros eléctricos. En base a ello se pueda estudiar la disponibilidad del recurso solar existe en el sector y realizar la evaluación técnica necesaria para el dimensionamiento del sistema híbrido off grid.



Figura. 11 Ubicación geografía a través de Google Earth.

En la tabla se detalla las coordenadas geográficas, de latitud y longitud del sitio destinado a la ejecución del sistema fotovoltaico, se evidencia la referencia fotográfica del lugar, permitiendo identificar las condiciones y características físicas generales del área seleccionada.

Tabla 14: Coordenadas geografías destinada a instalar el sistema fotovoltaico

Dispensario médico de San José se Alpamalag	Ciudad		Pujilí
	Dirección		San José de Alpamalag
	Latitud		-1.053
	Longitud		-78.66

4.2 DIAGRAMA DE IRRADIACIÓN GLOBAL

Con el propósito de identificar si los parámetros ambientales del sector donde va a desarrollarse el proyecto, se evalúan los datos obtenidos mediante el procedimiento descrito anteriormente. La información se organiza y presenta a través de gráficas y tablas, con el fin de demostrar que el sistema será aprovechado de manera correcta. En esta situación en la Figura. 12, se presenta un diagrama comparativo de los valores de irradiación solar recibida por un periodo determinado de tiempo, este análisis permite saber si el aprovechamiento del recurso solar será favorable dentro del sector.

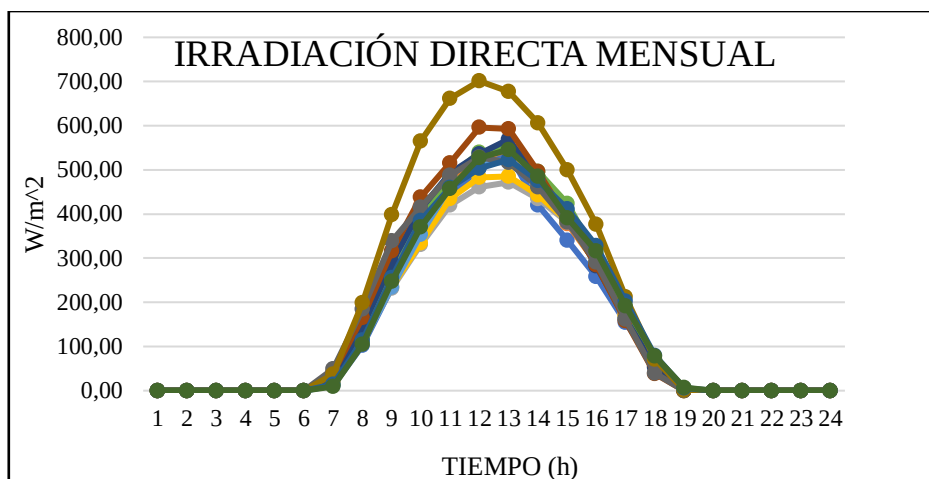


Figura. 12 Curva de Irradiación global promedio del 2025.

4.3 HORA SOLAR PICO EN ALPAMALAG

Este parámetro es fundamental para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, Figura. 13, se lleva a cabo el cálculo de la Hora Solar Pico (HSP), la cual representa el número de horas equivalentes de irradiación solar aprovechable durante un día.

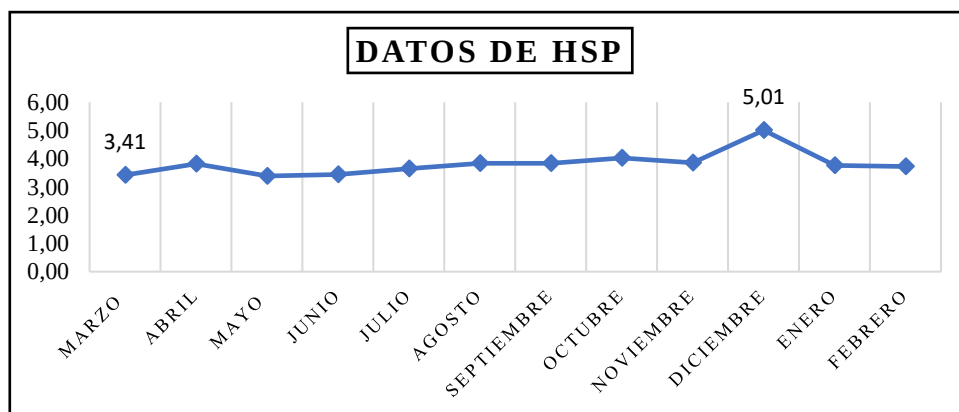


Figura. 13 Indicador de comportamiento de HSP anual.

Permite determinar la disponibilidad diaria del recurso solar disponible en la zona de estudio y, posteriormente, calcular la energía eléctrica que pueden generar los paneles solares.

4.3.1 Primer caso

Para este caso se obtuvo con el mes de menos irradiación:

Irradiación (marzo): $3413,39 \text{ Wm}^2$

Constante de irradiación: $1kW = 1000 \text{ Whm}^2$

Por lo tanto (HSP): 3.41 h

4.3.2 Segundo caso

Para este caso se eligió el mes con más irradiación:

Irradiación (diciembre): 5008,41 Wm^2

Por lo tanto (HSP): 5.01 h

El valor de la HSP se obtuvo a partir de la integración de los registros de irradiancia solar registrados durante las 24 horas del día, dividida para una irradiancia de referencia de 1000 W/m^2 .

4.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DEL DISPENSARIO MÉDICO.

El diseño del sistema fotovoltaico se fundamenta en el análisis detallado de los elementos que consumen energética dentro y fuera del establecimiento, para cubrir las necesidades de iluminación del Dispensario Médico. Con base en esta demanda, se procede a seleccionar y dimensionar de manera adecuada los componentes principales del sistema.

4.4.1 CARGA INSTALADA

Inicialmente se identifica las cargas eléctricas existentes del dispensario médico Tabla 15, de acuerdo a su potencia nominal unitaria.

Tabla 15: Detalles de elementos que hacen parte de la carga instalada.

POTENCIA INSTALADA					
ITEM	Descripción	Número Circu.	Cantidad	Pn (W)	CI (W)
1	Iluminación parque	1	8	40	320
2	Iluminación dispensario	1	7	40	280
3	Iluminación parque	1	27	10	270
4	Rúter	1	1	5	5
5	Iluminación patio	1	8	20	160
6	tomacorriente	1	2	65	130
7	cámara	1	1	35	35
TOTAL (W)					1200

Como resultado de este análisis se define una carga instalada de 1200 W, con circuitos independientes, tanto de fuerza e iluminación. Fue necesario considerar el factor de simultaneidad y el factor de sobredimensionamiento que se establece en la norma ecuatoriana de la construcción, Tabla 16, dado que permite determinar una demanda de diseño que complete el funcionamiento simultaneo de las cargas, y posibles variaciones en el consumo energético.

Tabla 16: Detalle de Energía que consume el dispensario médico.

ITEM	Descripción	Número Círculo	Cantidad	Pn (W)	CI (W)	FFUn(%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU(W)	ENERGÍA
1	Il. parque	1	8	40	320	70%	224	60%	134,4	672
2	Il. dispensario	1	7	40	280	70%	196	40%	78,4	392
3	Il. parque	1	27	10	270	70%	189	70%	132,3	661,5
4	Rúter	1	1	5	5	100%	5	100%	5	120
5	Il. patio	1	8	20	160	60%	96	60%	57,6	288
6	tomacorriente	1	2	65	130	40%	52	60%	31,2	156
7	cámara	1	1	35	35	100%	35	100%	35	840
TOTAL (W)				1200		797		473,9		
TOTAL (kWh)				3,12						

Mediante esas especificaciones cumplidas se verifica un consumo diario energético de 3,12 kWh, y se puede plantear la adquisición de los equipos de acuerdo a parámetros que cumplan con las magnitudes necesarias, de esta manera se asegura que los componentes operen dentro de sus rangos nominales, proporcionando un óptimo funcionamiento del sistema fotovoltaico.

4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.5.1 Cálculos para los módulos fotovoltaicos

Una vez establecida la demanda energética diaria del Dispensario Médico, (2695 Wh/día), se determina la energía de diseño requerida para el sistema. Para dicho análisis se considera un margen de sobredimensionamiento de 20% más a la energía consumida debido a que el sistema en si presentara pérdidas durante la generación, por condiciones climáticas, suciedad u otras condiciones adversas, de forma alterna también se puede hacer uso del factor de eficiencia energética solar 80%, correspondiente a la eficiencia en sistemas fotovoltaicos, ambos métodos permiten obtener una energía corregida para la selección de componentes,

mediante esta condición se desarrolla el siguiente cálculo analítico para establecer la energía diaria de diseño del sistema.

Parámetro de sobredimensionamiento

$$E_{dimensionamiento} = 1.20 * E_{consumida} \quad (9)$$

$$E_{dimensionamiento} = 3129 * 1.20$$

$$E_{dimensionamiento} = 3754 \text{ Wh/día}$$

Vamos a encontrar la potencia solar fotovoltaica necesaria.

$$PSFV = \frac{E_d}{HSP} \quad (10)$$

$$PSFV = \frac{3754 \text{ Wh}}{3.41 \text{ h}}$$

$$PSFV = 1100 \text{ W}$$

En función a la energía diaria que debe producir el sistema, se determina el cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos que necesita el sistema para su funcionamiento, para este análisis se considera paneles con una potencia de 580W.

$$N_p = \frac{PSFV}{P_p} \quad (11)$$

Donde:

$PSFV = \text{potencia fotovoltaica}$

$P_p = \text{potencia del panel}$

$HSP = \text{hora solar pico}$

$$N_p = \frac{1100W}{580W}$$

$$N_p = 1.89 \approx 2$$

$$N_p = 2 \text{ unidades.}$$

De acuerdo a la potencia y energía requerida con anterioridad se necesita una cantidad de 2 paneles fotovoltaicos de 580W, en base a la HSP de 3.41, que ayude a cubrir dicha demanda.

4.5.2 Cálculo de las baterías o banco de baterías

Se establece la demanda eléctrica de cada uno de los circuitos, fundamental para el dimensionamiento respectivo del sistema de respaldo de nuestro sistema fotovoltaico, deberá satisfacer la energía demandada de todo el establecimiento en las horas que no se presenten irradiación solar, una autonomía adecuada que ayude a preservar la vida útil del equipo, brindando un funcionamiento correcto y eficiente.

Mediante la siguiente ecuación se obtiene la capacidad del banco de batería.

$$C_{bateria} = \frac{E_d * N_a}{V_{bat} * PD * \eta_{bat}} \quad (12)$$

Donde:

$C_{bateria}$ = capacidad requerida del banco de baterías

E_d = energía diaria consumida por las cargas

N_a = número de horas de autonomía requeridos.

V_{bat} = voltaje nominal del banco de baterías.

PD = profundidad máxima de descarga permitida de la batería.

$$C_{bateria} = \frac{3754 * 1}{51.2 * 0.81 * 0.90}$$

$$C_{bateria} = 100.25 \text{ Ah}$$

$$C_{bateria} \approx 100 \text{ Ah}$$

Entonces para cubrir con toda la demanda energética que necesitan los circuitos de nuestro sistema, en base a iluminación del dispensario, se requiere de un banco de baterías que proporcione una capacidad de 100 Ah.

4.5.3 Calculo para seleccionar el inversor

Constituye una de las etapas más importantes dentro del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, este equipo es el encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los módulos fotovoltaicos y del banco de baterías en corriente alterna (CA), permitiendo el correcto funcionamiento de las cargas eléctricas. Además, en un sistema híbrido sincronizado con la red, el inversor administra el flujo de energía entre los paneles solares, las baterías, la red eléctrica y las cargas, optimizando el aprovechamiento de la energía generada y garantizando la continuidad del suministro.

Para determinar la potencia nominal del inversor se considera la potencia máxima de la demanda instalada, un factor de seguridad que permita absorber incrementos temporales de carga y el rendimiento propio del equipo, tal como se expresa en la ecuación (25).

$$P_{Inversor} = \frac{P_{instalada} * F_s}{\eta_{inversor}} \quad (13)$$

Donde:

$P_{Inversor}$ = potencia mínima requerida del inversor

$P_{instalada}$ = potencia total de las cargas eléctricas

F_s = factor de seguridad o sobredimensionamiento

$\eta_{inversor}$ = eficiencia de conversión del inversor

$$P_{Inversor} = \frac{1200 * 1.25}{0.85}$$

$$P_{Inversor} = 1764 \text{ W}$$

El resultado indica que la potencia mínima requerida del inversor es de 1,764 kW. Sin embargo, debido a que los inversores se comercializan en capacidades normalizadas y con el propósito de garantizar una operación confiable frente a futuras ampliaciones del sistema, picos momentáneos de consumo y pérdidas adicionales durante la operación, se selecciona un equipo de mayor capacidad.

Se selecciona un inversor híbrido de 3000 W (3 kW), debido a que corresponde a una potencia comercial disponible, proporciona una reserva de capacidad del 44 % respecto a la potencia máxima calculada (1764 W) y permite cubrir futuros incrementos de carga, además de mejorar la confiabilidad y estabilidad operativa del sistema fotovoltaico híbrido sincronizado con la red.

4.6 CÁLCULO DE CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

4.6.1 Cable conductor del módulo fotovoltaico al regulador de carga e inversor.

Para hacer el dimensionamiento correcto del conductor se considera la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico, en este caso viene a ser de 14,25 A respectivamente, este dato nos permite conocer la corriente de diseño, el conductor debe ser capaz de mantenerse en operación en condiciones no previstas.

Corriente de diseño:

$$I_{Diseño} = 1.25 * I_{sc} \quad (14)$$

Donde:

$I_{Diseño}$ = corriente de diseño.

I_{sc} = corriente de cortocircuito del módulo o arreglo fotovoltaico.

1.25 = factor de seguridad del 125 %.

$$I_{Diseño} = 1.25 * 14,25A$$

$$I_{Diseño} = 17.81$$

Caída de tensión permitida (U) $\pm 3\%$

$$U = 50.90 * 0.03$$

$$U = 1.52 V$$

Diámetro de conductor:

$$S = 2 * \frac{L * I_{Diseño}}{k * U} (mm^2) \quad (15)$$

Donde:

$I_{Diseño}$ = corriente de diseño.

I_{sc} = corriente de cortocircuito del módulo o arreglo fotovoltaico.

1.25 = factor de seguridad del 125 %.

$$S = 2 * \frac{10 * 17.81}{56m/\Omega mm^2 * 1.52} (mm^2)$$

$$S = 3.59 (mm^2)$$

CONDUCTOR UTILIZADO: #10 AWG

De acuerdo al cálculo se tiene una sección de 3.59 (mm^2), correspondiente al conductor #10 AWG, cuya sección es de 5.26 (mm^2), entonces el conductor que se debe colocar del panel fotovoltaico al equipo de protección es el conductor del calibre ya mencionado, garantizando una adecuada capacidad de conducción y una menor caída de voltaje.

4.6.2 Cable conductor del regulador o inversor al banco de baterías.

Corriente de diseño:

$$I_{Diseño} = 1.25 * I_{controlador} \quad (16)$$

$$I_{Diseño} = 1.25 * 60A$$

$$I_{Diseño} = 75 A$$

Caída de tensión permitida $\pm 2\%$

$$U = 51.2 * 0.02$$

$$U = 1.024V$$

Diámetro de conductor:

$$S = 2 * \frac{L * I_{Diseño}}{k * U} (mm^2) \quad (17)$$

$$S = 2 * \frac{4m * 75A}{56m/\Omega mm^2 * 1.024} (mm^2)$$

$$S = 10.46 (mm^2)$$

CONDUCTOR UTILIZADO: #4 AWG

El cálculo desarrollado para la sección del conductor arrojó un valor de 10,46 mm². Debido a que esta sección no corresponde a una medida comercial normalizada y supera la sección de 10 mm², se seleccionó un conductor de 16 mm² de cobre, correspondiente al conductor # 4 AWG, garantizando una capacidad de conducción de corriente adecuada, menores pérdidas eléctricas y el cumplimiento de los criterios de seguridad establecidos para el diseño del sistema fotovoltaico.

4.6.3 Cable conductor del inversor a la carga

Para este apartado no olvidarse de la caída de tensión permitida que va de $\pm 3\%$. Esta conexión debe asegurar un buen funcionamiento a razón de que el sistema solar entrara en sincronismo con la red.

Corriente nominal

$$I_{Nominal} = \frac{P_{Instalada}}{V_{AC}} \quad (18)$$

$$I_{Nominal} = \frac{1200W}{127V}$$

$$I_{Nominal} = 9.45A$$

Corriente de diseño

$$I_{Diseño} = 1.25 * I_{Nominal} \quad (19)$$

$$I_{Diseño} = 1.25 * 9.45 A$$

$$I_{Diseño} = 11.81$$

Caída de tensión

$$U = 127 * 0.03$$

$$U = 3.81 V$$

Sección del conductor:

$$S = 2 * \frac{L * I_{Diseño}}{k * U} (mm^2) \quad (20)$$

$$S = 2 * \frac{15m * 11.81 A}{35m/\Omega mm^2 * 3.81V} (mm^2)$$

$$S = 3.54 (mm^2)$$

CONDUCTOR UTILIZADO: #12 AWG

La sección de conductor nos da en $3.54 mm^2$, la cual la normativa establece que se debe utilizar el calibre de conductor #12 AWG, pero desde el punto de vista técnico y operativo se opta por el uso de calibre #6, en justificación que se eligió el material del conductor de aluminio, de esta manera proporcionar una mejor fluidez de energía por dicho conductor, ayuda a mantener un flujo de corriente más amplio y por ende las cargas consumirán energía de manera segura y óptima.

4.7 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS

4.7.1 Paneles fotovoltaicos 580W TOPCon

Permiten aprovechar al máximo la energía solar al captarla desde ambos lados del panel. Esta característica única asegura un rendimiento óptimo incluso en condiciones de luz difusa. Además, la tecnología TOPCon se destaca por su rentabilidad excepcional en términos de costo-beneficio, ofreciendo a los usuarios finales una inversión inteligente y sostenible en energía renovable.



Figura. 14 Panel solar de 580 W.

En la Tabla 17 se presenta la descripción técnica del panel fotovoltaico.

Tabla 17: Especificaciones técnicas del panel solar.

Parámetro	Valor
Código	P40229L-36
Descripción	Panel solar 580 W TOPCon Bifacial
Potencia máxima del panel (Pmpp)	580 W
Tensión de salida (Vmpp)	42.52 V
Tensión de circuito abierto (Voc)	50.90 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	14.25 A
Corriente máxima (Im)	13.64 A
Corriente del fusible	25 A
Número de diodos	3
Vida útil del panel	30 años
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C
Tolerancia de potencia	0 a ±3 %
Eficiencia del módulo	22.45 %
Tensión máxima del sistema	1500 V/DC
Coefficiente de temperatura Isc	+0.043 %/°C

Coeficiente de temperatura Voc	-0.24 %/°C
Coeficiente de temperatura Pmpp	-0.30 %/°C
Temperatura de operación de la célula	45 ± 2 °C
Garantía	15 años

4.7.2 INVERSOR OFF-GRID 3kw

Este tipo de inversor es ideal para aplicaciones residenciales y comerciales en zonas fuera de la red eléctrica, proporcionando energía confiable y compatible con dispositivos que operan en configuraciones de 110 Vac y 220 Vac. Figura 15.



Figura. 15 Inversor Off grid Sistema fotovoltaico.

Características

- Inversor de fase dividida doble entrada y salida
- Salida de onda sinusoidal pura
- Frecuencia 60 Hz

En la Tabla 18 presentada a continuación se describe las características de inversor.

Tabla 18: Especificaciones técnicas del inversor de 3 kW.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	3000 W
Potencia pico (20 ms)	3000 W
Forma de onda	Onda sinusoidal pura
Frecuencia	60 Hz
Eficiencia del inversor (pico)	>85 %
Temperatura de operación	10–40 °C
Voltaje de batería	48 Vdc
Tipo de batería	Batería de litio
Entrada AC	L + N = 110 Vac a 60 Hz L1 + N + L2 = 220 Vac a 60 Hz
Salida AC	L1 + N = 110 Vac a 60 Hz L2 + N = 110 Vac a 60 Hz L1 + L2 = 220 Vac a 60 Hz
Corriente de carga AC máxima	30 A
Potencia máxima de entrada FV	2880 W
Entrada máxima de voltaje solar	60–160 Vdc
Controlador solar MPPT	60 A
Tipo de montaje	Pared
Grado de protección	IP20 interior
Dimensiones (Al × An × Prof)	50 × 32 × 21 cm
Peso	23 kg

La configuración recomendada por el fabricante establece los límites máximos de conexión de módulos fotovoltaicos, considerando la capacidad de procesamiento del inversor y las restricciones de tensión, corriente y potencia de entrada del controlador MPPT. Estas configuraciones permiten garantizar que el sistema opere dentro de los parámetros eléctricos de diseño, evitando condiciones de sobrecarga o funcionamiento inestable. La selección de la configuración adecuada constituye un criterio fundamental para optimizar el rendimiento energético, maximizar la eficiencia de conversión y preservar la vida útil tanto del inversor como de los módulos fotovoltaicos.

4.7.3 BATERÍA DE LITIO DE BAJO VOLTAJE (LV) 5.12 kWh

La batería de litio es un dispositivo de almacenamiento de energía diseñado para aplicaciones residenciales y comerciales, especialmente en sistemas de energía renovable y almacenamiento energético. Ofrece alta densidad energética, larga vida útil y mayor seguridad en comparación con otras tecnologías, destacándose por su eficiencia en ciclos de carga y descarga, peso reducido y bajo mantenimiento.



Figura. 16 Banco de baterías.

En la Tabla 19 presentada a continuación se describe las características del banco de baterías.

Tabla 19: Especificaciones técnicas del banco de baterías.

Parámetro	Valor
Voltaje nominal (Vdc)	51.2
Capacidad (Ah)	100
Capacidad nominal (kWh)	5.12

Capacidad utilizable (kWh)	4.608
Voltaje de carga (V)	40–48
Voltaje de descarga (V)	40–48
Tipo de comunicación	RS-485
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 40 °C
Dimensiones (Al × An × Prof)	34.8 × 59.8 × 16.3 cm
Peso (kg)	42.1
Ciclos	> 4000
Grado de protección	IP20 (interior)

Esta batería es solo compatible con inversor off-grid 3kW, para cada sistema de 3kW se recomienda el uso de 1 banco de batería de 5.12kWh LV de litio conectadas en paralelo. La instalación debe ser en un lugar seco y con temperatura controlada sin exceder los parámetros nominales.

4.8 SIMULACION DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La simulación del sistema de iluminación se realiza con la finalidad de comprobar que los niveles de iluminancia sean adecuados en cada una de las áreas consideradas dentro del proyecto. Para ello, se ingresan las dimensiones de los espacios, la altura de instalación de las luminarias, el tipo de lámpara, su potencia y la distribución propuesta, permitiendo observar de manera anticipada el comportamiento de la iluminación antes de realizar la instalación definitiva.

4.8.1 Diagrama unifilar del circuito existente

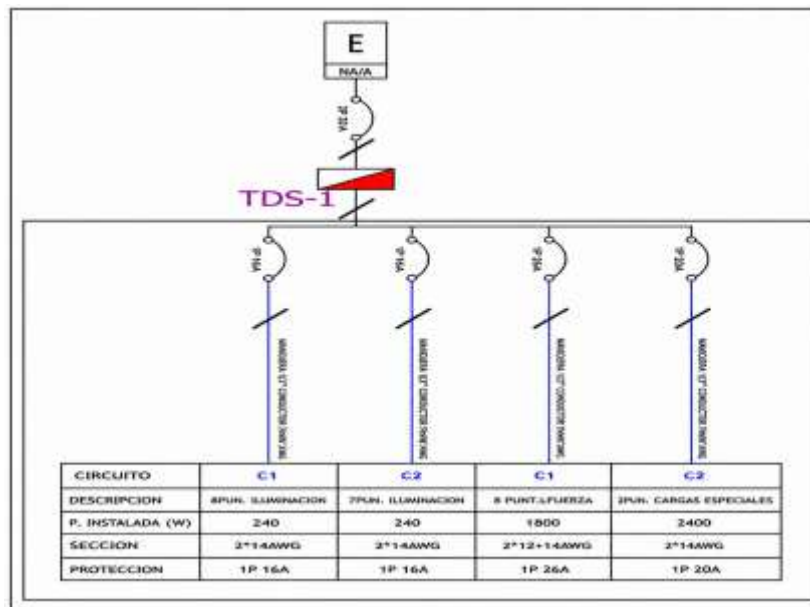


Figura. 17 Diagrama unifilar del dispensario médico del circuito existente.

De acuerdo al diagrama unifilar del circuito existente Figura. 17, muestra la configuración eléctrica del tablero de distribución principal (TDS-1), el cual recibe la alimentación desde el medidor de energía eléctrica mediante un interruptor general bipolar de 50 A. A partir del tablero se distribuye la energía hacia cuatro circuitos derivados, dos destinados a iluminación y dos para tomacorrientes de uso especial, cada uno protegido por interruptores termomagnéticos de 16 A y 20 A, respectivamente. Además, se especifica el calibre de los conductores THHN y el diámetro de la tubería utilizada en cada circuito, permitiendo verificar que la distribución de la carga y el sistema de protección cumplen con los requerimientos de seguridad y constituyen la base para la integración del sistema fotovoltaico.

4.8.2 Diagrama unifilar proyectado

El en Figura. 18, se observa el diagrama que representa la distribución de las conexiones del sistema fotovoltaico híbrido.

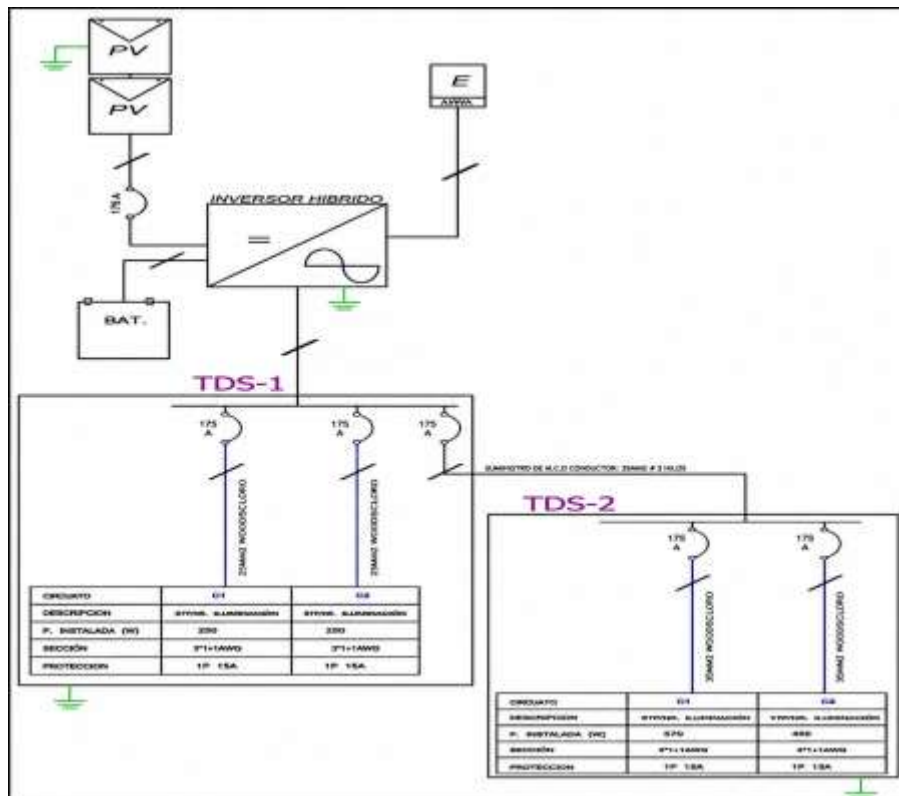


Figura. 18 Diagrama unifilar proyectado.

La energía generada es administrada por el inversor, que abastece las cargas y también permite el almacenamiento de energía en las baterías. Los tableros TDS-1 y TDS-2 son encargados de distribuir la energía a las áreas correspondientes, el tablero TDS-1 corresponde al área del dispensario médico el mismo que cubre el circuito de iluminación con una protección termomagnética adecuada, mientras que el tablero TDS-2 cubre el circuito de iluminación del parque mediante protección adecuadas y dimensionadas. En conjunto el diseño asegura un suministro eléctrico confiable y eficiente con criterios técnicos de una instalación fotovoltaica híbrido.

4.8.3 Especificaciones de distribución del sistema

De acuerdo a las especificaciones y al rápido manejo de los equipos se detalla a continuación un esquema grafico de las conexiones pertenecientes al centro de control de todo el sistema fotovoltaico, donde se muestra cómo se conectan los paneles, red eléctrica y las baterías al mismo inversor, de tal manera que una vez detallada este esquema se podrá hacer un rápido manejo de lectura de las conexiones, mediante ellos se ve reflejado el sistema de control de todo el sistema, la cual se utilizó el software AUTOCAD para el diseño.



Figura. 19 Esquema de control Fotovoltaico en AutoCAD.

El esquema multifilar indica la conexión de todo el sistema fotovoltaico off-grid, integrado por la entrada del generador FV, los dispositivos de protección, el inversor híbrido de 3 kW y el banco de baterías de 48 VDC, Figura. 16, la distribución correcta de los conductores nos permite reconocer las conexiones que van a la alimentación, las protecciones y las salidas hacia las cargas. Esta configuración garantiza una operación independiente de la red eléctrica y facilita la revisión técnica, el mantenimiento y la detección de posibles fallas en el sistema.

4.8.4 Condiciones arquitectónicas



Figura. 20 Esquema 3D del dispensario médico de san José de Alpamalag.

En la Figura. 20, se muestra una simulación 3D del sitio donde se ejecutará el proyecto.

Previo a la instalación de cada uno de los equipos que componen todo el sistema fotovoltaico, se identifica tanto el área exterior y el área interna del dispensario médico de San José de Alpamagal, se procede a diseñar el plano dentro software AUTOCAD, y para la correcta distribución del sistema de iluminación recurrimos al software DiaLux la cual nos permite hacer la distribución adecuada de iluminación.

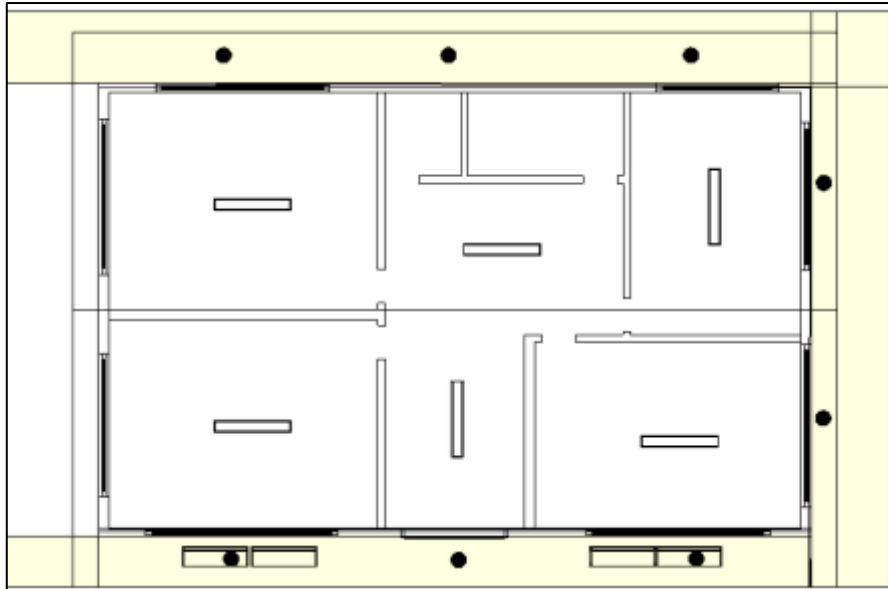


Figura. 21 Área externa del sistema de iluminación del dispensario médico.

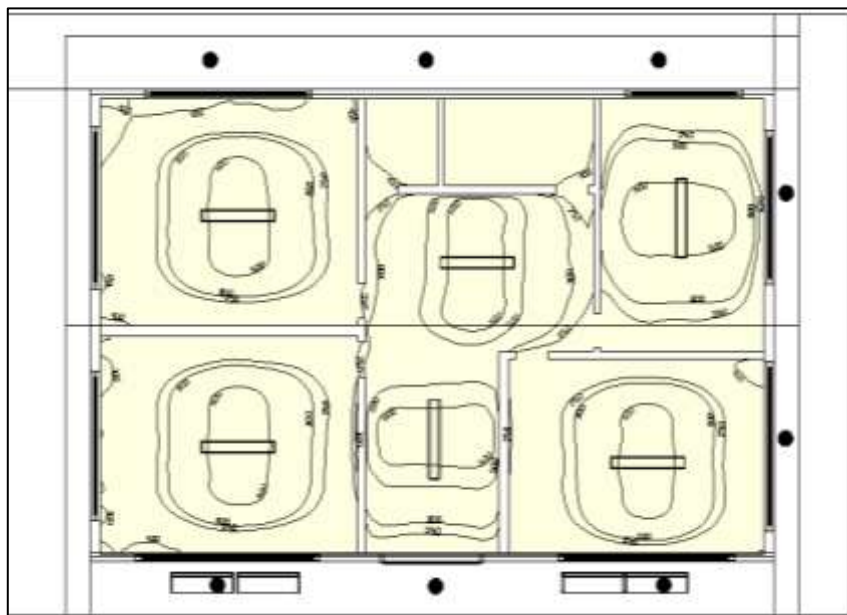


Figura. 22 Área externa del sistema de iluminación del dispensario médico.

En la Figura. 21, 22, una vez identificadas las áreas, y el propósito de cada una de ellas, se designan las lámparas de acuerdo a la potencia necesaria para cada sitio de trabajo, evaluando los parámetros de iluminancia, uniformidad lumínica conforme a los estándares técnicos.

	Parámetro	Valor
	Potencia (P)	40,0 W
	Flujo luminoso de la lámpara (Lámpara)	5350 lm
	Eficiencia de la luminaria (η)	99,89 %

Figura. 23 Tipo de iluminación interna.

	Parámetro	Valor
	Potencia (P)	10,0 W
	Flujo luminoso de la lámpara (Φ lámpara)	1055 lm
	Eficiencia de la luminaria (η)	87,55 %

Figura. 24 Tipo de iluminación externa.

Una vez concluida con las evaluaciones de cada área se dispusieron de 8 lámparas de 10 W para la parte exterior y de 7 lámparas de 40 W para la parte interna del dispensario médico del sector, independientemente de cuál sea la finalidad del área dispuesta dentro del centro médico, mostradas en la Figura 23 y 24.

Entonces recurrimos al software AutoCAD para hacer una correcta distribución de los puntos de iluminación en el plano, como se presenta en la Figura 25.

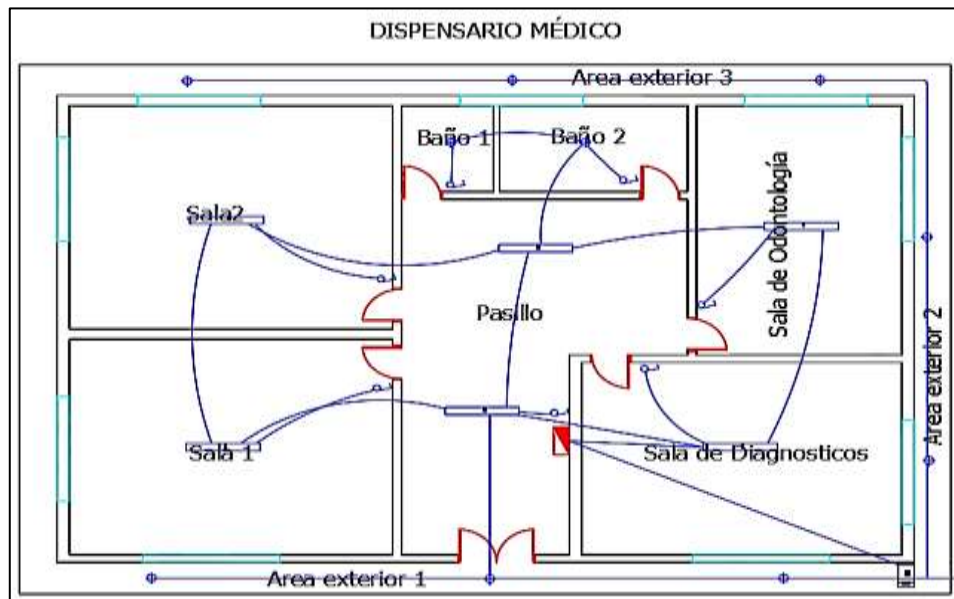


Figura. 25 Distribución eléctrica del sistema de iluminación en el dispensario médico.

El sistema de iluminación externa, ayudara a mejorar la calidad lumínica de ese lugar, dado que es un sitio estratégico donde los moradores de la localidad realizan reuniones comunales, esto permitirá que las actividades realizadas en el área les brinde más confort y seguridad.



Figura. 26 Modelo en 3D del sistema de iluminación externa del dispensario médico.

La distribución de los puntos de iluminación uniforme Figura 26, favorece la funcionalidad del establecimiento durante horarios nocturnos, presentado un espacio más seguro y accesible para usuarios y personal médico.

4.9 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.9.1 Adaptación de puntos eléctricos de conexión

Para este punto se necesita hacer una óptima adecuación del sistema eléctrico de modo que podamos tener una eficiencia plena del sistema fotovoltaico, por ello se necesita hacer una revisión exhaustiva de los puntos de distribución de red.

4.9.2 Verificación y mejoramiento del sistema eléctrico ELEPCO del dispensario medido.

Se constatan las instalaciones existentes del dispensario médico para una toma de decisiones, verificando que existen conexiones en mal estado y áreas sin acceso al circuito de iluminación.

Como se muestra en la Figura 27, se empieza con una revisión exhaustiva de los puntos de conexión provenientes de la red eléctrica, dado que este sistema off-grid con inversor híbrido, necesitamos alimentación de la red eléctrica por lo cual se opta por la adaptación de una caja de conexión o comúnmente conocido como caja de paso, de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo que aseguren un buen funcionamiento del sistema.



Figura. 27 Levantamiento de información de conexión de la red eléctrica.

En la figura 28, se evidencia, como se encontró el cableado antes del diseño de la caja de paso, por lo que se implementó un centro de borneros que va a ser la alimentación de energía de red al inversor tal como se observa.



Figura. 28 Instalación de la caja de distribución.

Como siguiente punto se refleja en la parte izquierda la energía que llega de la red, y la parte derecha salen hacia el inversor figura 29.

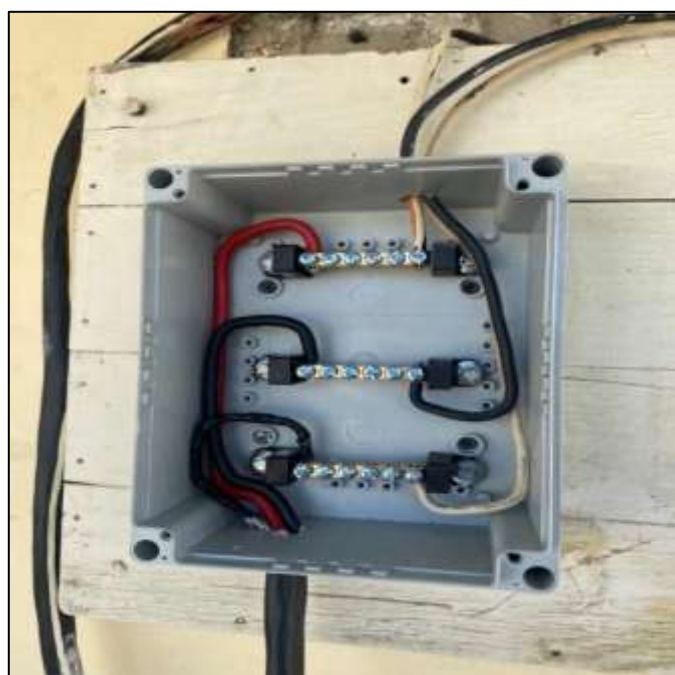


Figura. 29 Caja de distribución para el sistema FV.

Para esta conexión se utilizó cable antihurto 3*6 de aluminio, la misma que se utiliza para las acometidas que proporciona la empresa proveedora del suministro eléctrico, cada línea se identifica por código de colores, tanto las líneas y el neutro del circuito, se identifican las líneas con conductor color negro y el neutro con un color rojo, prácticamente ya definido la entradas, se referencian las salidas, de tal forma se lleva las dos líneas y el neutro complementando un voltaje de 220 V, de la misma situación se utilizó el conductor de aluminio para llevar el suministro hasta el inversor.

4.9.3 Instalación del sistema de iluminación externa del dispensario medico

En la figura 30, el rediseño del sistema eléctrico, se ve como están instalados los cajetines octogonales y los puntos de conexión para el sistema de iluminación externa del dispensario médico, estas están bien sujetas a la viga, dándonos un sistemas seguro y protegido.



Figura. 30 Iluminación externa del dispensario médico.

De acuerdo a lo establecido cabe mencionar que se utilizó el conductor número #14 flexible THHN para todo el sistema de iluminación, y para proteger el conductor se implementó el manguereado con manguera corrugada de ½” con el propósito de mantener seguro el sistema y ayude a mejorar la fachada del Dispensario Médico.

4.9.4 Colocación de estructuras y paneles fotovoltaicos del sistema

De acuerdo a la figura 31, se definió el sitio más adecuado para poder instalar los paneles solares, en base a criterios fotovoltaicos, considerando la dirección del sol y en qué posición se aprovecharía de mejor manera la energía producida por el sol, entonces se ubican los soportes de forma alineada y precisa a una misma distancia y de forma paralela de modo que se mantengan firmes y aguanten el peso de los paneles, como se mencionó en capítulos anteriores los rieles con se rápido montaje y desmontaje, este tipo de herrajes son muy prácticos y fáciles de maniobrar.



Figura. 31 Ubicación de herrajes para los paneles solares.

Una vez instaladas cada uno de los rieles se ubican los paneles de forma delicada y precisa sobre las mismas dado que los rieles y los paneles cuentan con ranuras estandarizadas los paneles se empotran de forma sencilla figura 32, una vez colocados los paneles ajustamos las vinchas que sujetan los paneles asegurando que estas se queden fijas y no se muevan.



Figura. 32 Montaje de paneles solares en herrajes de aluminio.

Hacemos una revisión detallada figura 33, y como consiguiente preparamos los puntos de empalme para hacer la adecuada conexión de los dos paneles, en este caso se conectan en serie para obtener una potencia bruta de generación instalada de 1.16 kW.



Figura. 33 Revisión e ajuste de los paneles solares.

Una vez identificadas las polaridades de los paneles, el positivo y negativo de cada una de ellas, machinamos las puntas terminales, figura 34, para poder definir una conexión en serie dado a que necesitamos que nuestro sistema capte la mayor cantidad de energía posible, ya hechas las conexiones llevamos la energía en DC hasta una protección térmica donde se distribuirá al inversor, previamente haciendo las mediciones requeridas de lo que es el voltaje DC.



Figura. 34 Machinado para la conexión de los paneles solares.

4.9.5 Instalación de equipos fotovoltaicos

Ya instalada la estructura de soporte, se procede con la colocación del tablero de control, figura 35, ubicado en el extremo izquierdo del montaje. Este elemento reúne los dispositivos de protección del sistema y permite realizar las maniobras de conexión y desconexión del panel de forma segura. Su ubicación facilita el acceso durante las inspecciones y el mantenimiento.



Figura. 35 Instalación de la caja de protección DC e AC.

Después en la figura 36, se instaló el inversor híbrido, fijándolo sobre los perfiles metálicos y verificando su correcta nivelación. Se respetó el espacio recomendado entre los equipos para favorecer la ventilación y evitar el sobrecalentamiento durante su funcionamiento. El inversor constituye el elemento encargado de administrar la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos, del banco de baterías y de la red eléctrica.



Figura. 36 Instalación del inversor en el área designada.

Finalmente, en la figura 37, se colocó el banco de baterías junto al inversor, reduciendo la distancia entre ambos equipos para minimizar la caída de tensión y las pérdidas en los conductores de corriente continua. Una vez concluida la instalación, se organizó el cableado mediante canaletas, logrando una distribución ordenada que facilita la identificación de las conexiones y mejora la seguridad y el mantenimiento del sistema.



Figura. 37 Instalación del banco de baterías en el área designada.

4.10 HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Para el desarrollo del proyecto fotovoltaico y lograr alcanzar el objetivo propuesto se hace uso de ciertos recursos técnicos y mecánicos, en si lo que son cada uno de los materiales y herramientas que ayudan alcanzar cierto propósito, con la finalidad de facilitarnos procesos en el momento de la instalación del sistema, la cual se detalla en la Tabla 20 presentada a continuación cada equipo y herramienta utilizada a lo largo del proyecto.

Tabla 20: Equipos utilizados para el desarrollo del sistema fotovoltaico.

Equipo	Fotografía	Descripción
Pinza Amperimétrica/Multímetro		Equipo encargado de medir las magnitudes eléctricas, tales como: el voltaje, corriente del sistema
Taladro inalámbrico		Equipo encargado de perforar bases sólidas como el cemento, madera, y bases metálicas, también utilizada como equipo de atornillar.
Suelda eléctrica		Equipo encargado de unir piezas metálicas mediante arco eléctrico, regulando corriente según el espesor y electrodo usado.

Estos equipos tanto de medición y de trabajo fueron de mucha ayuda de modo que permitió satisfacer las necesidades que se iban presentando al desarrollo del proyecto, haciendo que el trabajo sea más rápido y eficiente.

Tabla 21: Herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema fotovoltaico.

Herramienta	Fotografía	Descripción
Alicates		Herramienta manual usada para sujetar, doblar, cortar o manipular cables y piezas metálicas con precisión y fuerza controlada segura fácilmente.
Destornilladores		Herramienta manual de punta de estrella o plana, utilizada para ajustar o aflojar tornillos, ejerciendo una fuerza de giro
Peladora/Machinadora		Herramienta manual utilizada para pelar, cortar y prensar terminales en cables eléctricos con precisión, ejerciendo una fuerza controlada.
Ponchadora		Herramienta manual utilizada para prensar conectores en cables de red o telefonía, asegurando una conexión firme y funcional.

Chaveta



Herramienta manual utilizada para cortar cartón, plástico, cinta, cables y otros materiales livianos.

Taipe



Material adhesivo usado para cubrir, proteger y aislar conexiones eléctricas, evitando cortocircuitos y contactos accidentales.

Flexómetro



Herramienta manual de medición con cinta retráctil, utilizada para medir longitudes, utilizada para medir y calcular áreas.

En las tablas presentadas describe cada una de las herramientas que ayudaron a cumplir con el objetivo de instalar todo el sistema fotovoltaico.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

Evaluar el desempeño del sistema fotovoltaico propuesto para abastecer la demanda energética del dispensario médico y el parque de la comunidad San José de Alpamalag, el mismo que funciona de manera autónoma garantizando la prolongación del suministro eléctrico mediante el aprovechamiento de la energía solar y el almacenamiento en las baterías.

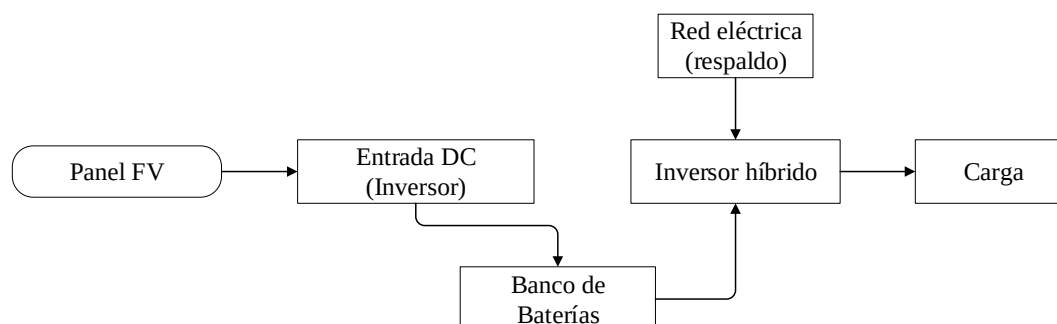


Figura. 38 Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico híbrido.

El diagrama de bloque muestra el funcionamiento del sistema fotovoltaico híbrido, donde los paneles solares generan la energía en corriente directa y almacenada en el banco de baterías. posteriormente, el inversor híbrido gestiona el suministro hacia la carga. utilizando la red como respaldo cuando la energía solar o la batería no sean suficientes. Este diseño permite garantizar la continuidad del servicio eléctrico del dispensario médico mediante el uso combinado de diferentes fuentes de energía.

5.2 DIAGRAMA UNIFILAR

El en figura 39 se observa el diagrama unifilar de un sistema fotovoltaico híbrido compuesto de dos paneles solares bifaciales de 580 W, un inversor híbrido off-grid, banco de baterías de 5.12 kWh y dos tableros de distribución. La energía generada es administrada por el inversor, que abastece las cargas y también permite el almacenamiento de energía en las baterías. Los tableros TDS-1 y TDS-2 son encargados de distribuir la energía a las áreas correspondientes.

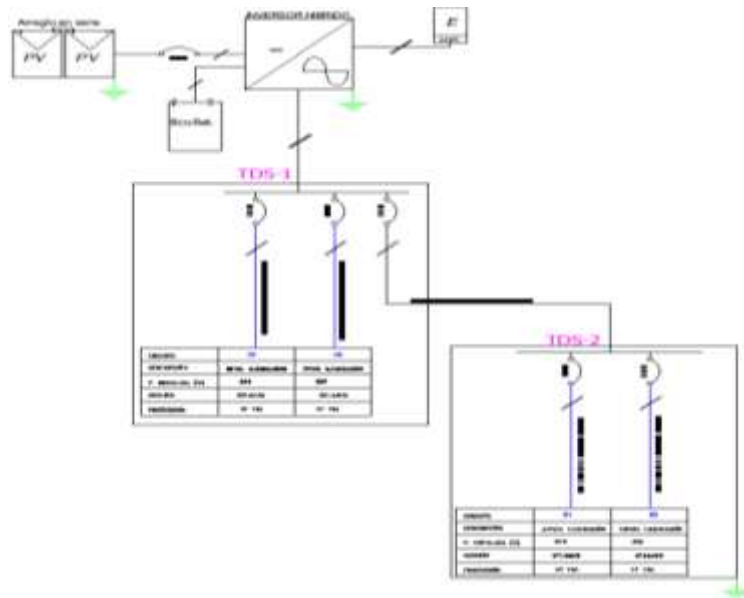


Figura. 39 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico híbrido off-grid.

5.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL SOFTWARE SAM PRIMER CASO PV-BATERIA-RED.

En este primer escenario se analiza el comportamiento del sistema fotovoltaico integrado con un banco de baterías y conexión a la red mediante el software SAM. El mismo que permite determinar la capacidad del sistema para aprovechar la energía solar disponible, almacenar el excedente y proporcionar respaldo energético cuando la red eléctrica no se encuentra disponible, demostrando la importancia de la integración entre generación fotovoltaico, batería y red mejora la confiabilidad del suministro eléctrico.

5.3.1 Configuración y orientación de los módulos FV

Tracking & Orientation

☒ Fixed
☐ 1 Axis
☐ 2 Axis
☐ Azimuth Axis
☐ Seasonal Tilt

☐ Tilt=latitude

Tilt (deg): 20

Azimuth (deg): 0

Ground coverage ratio (GCR): 0.3

Tracker rotation limit (deg): 45

Backtracking: ☐ Enable

Terrain slope (deg): 0

Terrain azimuth (deg): 0

Figura. 40 Orientación e inclinación del módulo solar.

La figura 40 muestra la configuración de la orientación e inclinación utilizando en la simulación del sistema fotovoltaico mediante el software SAM. Se adoptó una estructura fija con una inclinación de 20° y un azimut de 0°, el mismo que significa que los módulos fotovoltaicos muestran orientados hacia el norte, esta configuración fue considerando la ubicación del proyecto en Ecuador, donde la cercanía a la línea ecuatorial permite obtener un buen aprovechamiento de la irradiación solar tanto en con orientación norte como sur. La inclinación de 20° favorece la captación de la radiación solar durante gran parte del año, además, facilita el escurrimiento del agua de lluvia y la limpieza natural de la superficie de los paneles.

Finalmente, estos parámetros proporcionan una configuración adecuada para maximizar la producción de energía y mantener un funcionamiento estable del sistema fotovoltaico.

5.3.2 Características de los módulos FV

Modules	
LONGi Green Energy Technology Co. Ltd. LR5-72HPH-57	
Cell material	Mono-c-Si Bifacial
Module area	2.49 m ²
Module capacity	570.41 DC Watts
Quantity	2
Total capacity	1.14 DC kW
Total area	4 m ²

Figura. 41 Características de los paneles fotovoltaicos.

La generación eléctrica a partir de recurso solar está conformada por dos módulos LONGi Green Energy Technology LR5-72HPH-570.41 bifaciales, de 570.41Wp y una potencia nominal total de 114 Wp en condiciones ideales.

5.3.3 Características del inversor

Inverters	
Custom (Inverter Datasheet Model)	
Unit capacity	3 AC kW
MPPT Voltage Range	60 - 160 VDC
Nominal AC Voltage	220.0 VAC
Quantity	1
Total capacity	3 AC kW
DC to AC Capacity Ratio	0.38
AC losses (%)	0.00

Figura. 42 Características del inversor.

El sistema también presenta un inversor personalizado de 3 kW con un rango de MPPT de 60 a 120 VDC y una salida nominal de 220 VAC. La relación DC/AC es de 0,38 que indica que la potencia fotovoltaica instalada utiliza aproximadamente el 38 % de la capacidad del inversor.

5.3.4 Detalles del almacenamiento de la batería

Battery Specifications	
Battery capacity	5.12 kWh
Battery chemistry	Lithium ion
Battery dispatch option	Self Consumption
Minimum state of charge	0.2
Maximum state of charge	0.95

Figura. 43 Características de la batería.

En la simulación del sistema fotovoltaico se consideró un banco de baterías de ion-litio con capacidad de 5,12 kWh, configurada para operar en un modo de autoconsumo. El estado de carga se limita en 20 % y 95 %, evitando descargas profundas y cargas completas que pueden acelerar su desgaste.

5.3.5 Producción anual de energía

Metric	Value	Parámetro	Resultado
Annual AC energy in Year 1	1,316 kWh	Energía AC anual en el Año 1	1.316 kWh/año
DC capacity factor in Year 1	13.9%	Factor de capacidad DC en el Año 1	13,9 %
Energy yield in Year 1	1,214 kWh/kW	Rendimiento energético	1.214 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.65	Relación de rendimiento	0,65
Battery roundtrip efficiency	89.63%	Eficiencia de ida y vuelta de la batería	89,63 %
Battery charge energy from system	100.0%	Energía de carga de la batería desde el sistema	100 %
LCOE Levelized cost of energy nominal	42.44 ¢/kWh		
LCOE Levelized cost of energy real	34.00 ¢/kWh		
Electricity bill without system (year 1)	\$417		
Electricity bill with system (year 1)	\$208		
Net savings with system (year 1)	\$210		
Net present value	\$-2,674		
Simple payback period	NaN		
Discounted payback period	NaN		
Net capital cost	\$8,291		
Equity	\$0		
Debt	\$8,291		

Figura. 44 Producción anual de energía.

En la figura 44 se muestra los resultados obtenidos mediante la simulación en el software SAM el mismo que indica que el sistema fotovoltaico genere una producción anual de 1,316 kWh indicando un aprovechamiento adecuado del recurso solar disponible, con un factor de

capacidad del 13.9 % y un rendimiento energético de 1,214 kWh/kW. El sistema presenta una relación de rendimiento de 0,65 indica un aprovechamiento eficiente del recurso solar considerando las pérdidas propias de conversión y operación. Además, la batería alcanza una eficiencia de ciclo completo del 89,63%, demostrando una adecuada capacidad de almacenamiento y recuperación energético. El 100% de la energía utilizada para la carga de la batería proviene del sistema fotovoltaico mostrando una correcta integración entre generación renovable y almacenamiento. Estos parámetros permiten concluir que la capacidad para mejorar la autonomía energética y garantizar el suministro eléctrico durante condiciones de variables.

5.3.6 Producción mensual de energía

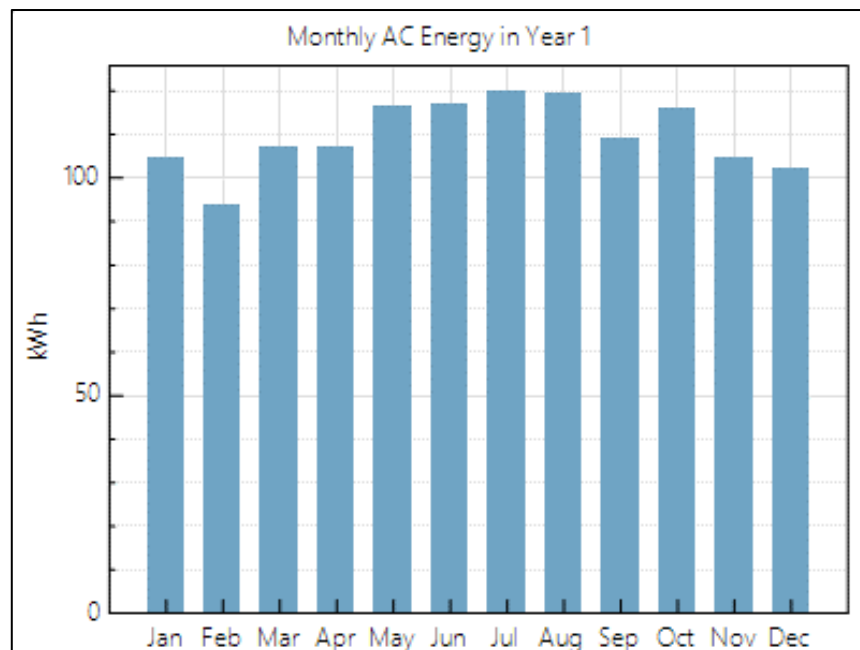


Figura. 45 Producción mensual de energía.

La figura 45 muestra la producción mensual de energía la misma que fue obtenida mediante la simulación del sistema fotovoltaico en el software SAM durante el primer año de operación. Se observa un comportamiento estable con valores que mantienen entre 90 a 120 kWh mensuales alcanzando una producción anual de 1.316 kWh. También se observa que los mayores niveles de producción de presenta entre mayo y agosto, debido a una mayor disponibilidad del recurso solar, mientras que los valores más bajos corresponden a febrero y diciembre donde las condiciones climáticas pueden reducir la capacidad solar. Por lo mismo, se recomienda aprovechar los meses de menor generación para realizar actividades de

mantenimiento preventivo, como limpieza de módulos, revisión de conexiones eléctricas y verificación del estado de baterías e inversor.

De esta manera se garantiza que el sistema opera con mayor eficiencia durante los periodos de mayor radiación y se reduzcan posibles pérdidas energéticas ocasionadas por suciedad, desgates o fallas en los componentes.

5.3.7 Pérdidas energéticas del sistema FV

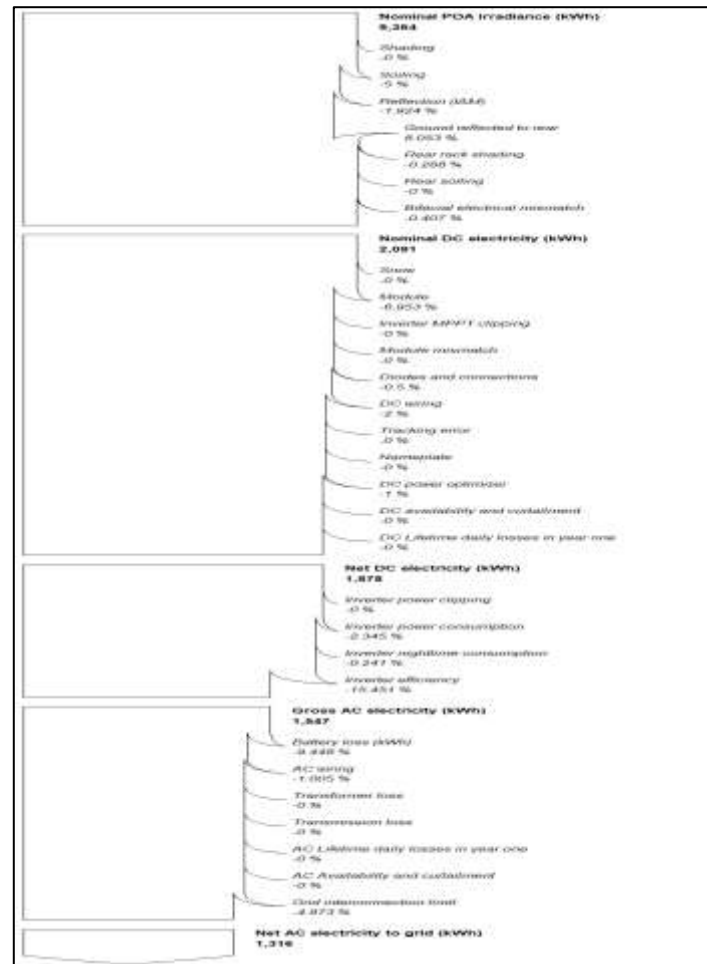


Figura. 46 Diagrama de pérdidas energéticas.

La Figura 46 presenta el análisis de pérdida del sistema fotovoltaico el mismo que permite conocer el comportamiento de la energía desde la captación solar hasta la entrega final a la carga. El sistema inicia con una irradiancia nominal de 9,364kWh, donde no se presenta pérdidas por sombra demostrando una adecuada ubicación de los módulos. La principal pérdida inicial corresponde al ensuciamiento de los paneles con un 5%, por lo que se recomienda realizar limpieza periódicamente evitando reducción en la generación. Durante la conversión a energía DC se obtiene una producción nominal de 2,091 kWh, con pérdidas

principales asociadas al comportamiento de los módulos fotovoltaicos 6,953 % cableado DC 2 % y optimizadores 1 %. Posteriormente el inversor transforma energía DC en AC presentando una pérdida de eficiencia del 15,541 % propia del proceso de conversión. Además, el sistema de almacenamiento genera una pérdida de 9,448 % debido a los procesos de carga y descarga de la batería. Finalmente, la energía neta entregada alcanza 1,316 kWh demostrando un funcionamiento adecuado del sistema. Los resultados permiten identificar que el mantenimiento debe enfocar principalmente en la limpieza de módulos, revisión del inversor y control del banco de baterías para reducir pérdidas y mejorar el rendimiento energético durante la vida útil de la instalación.

5.3.8 Análisis de comportamiento del sistema fotovoltaico en el software SAM segundo caso pv-batería-cortes prolongados a red.

En segundo caso se analiza el funcionamiento del sistema fotovoltaico cuando se presenta cortes prolongados de la red eléctrica. Durante estas interrupciones, los paneles solares abastecen las cargas y recarga la batería en las horas de radiación disponible, cuando la radiación disminuye la batería suministra la energía almacenada hasta alcanzar el límite mínimo de descarga establecido.

5.3.9 Respaldo prolongado con autonomía de la batería

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	-3 kWh
DC capacity factor in Year 1	13.8%
Energy yield in Year 1	1,206 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.64
Battery roundtrip efficiency	88.98%
Battery charge energy from system	100.0%
Battery average hours of autonomy	9.80 hours
LCOE Levelized cost of energy nominal	NaN
LCOE Levelized cost of energy real	NaN
Electricity bill without system (year 1)	\$120
Electricity bill with system (year 1)	\$120
Net savings with system (year 1)	\$-0
Net present value	\$-5,375
Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$8,994
Equity	\$0
Debt	\$8,994

Figura. 47 Autonomía promedio del banco de baterías.

5.3.10 Pérdidas energéticas del sistema FV



87

5.3.11 Flujo de energía desde la batería hacia la carga

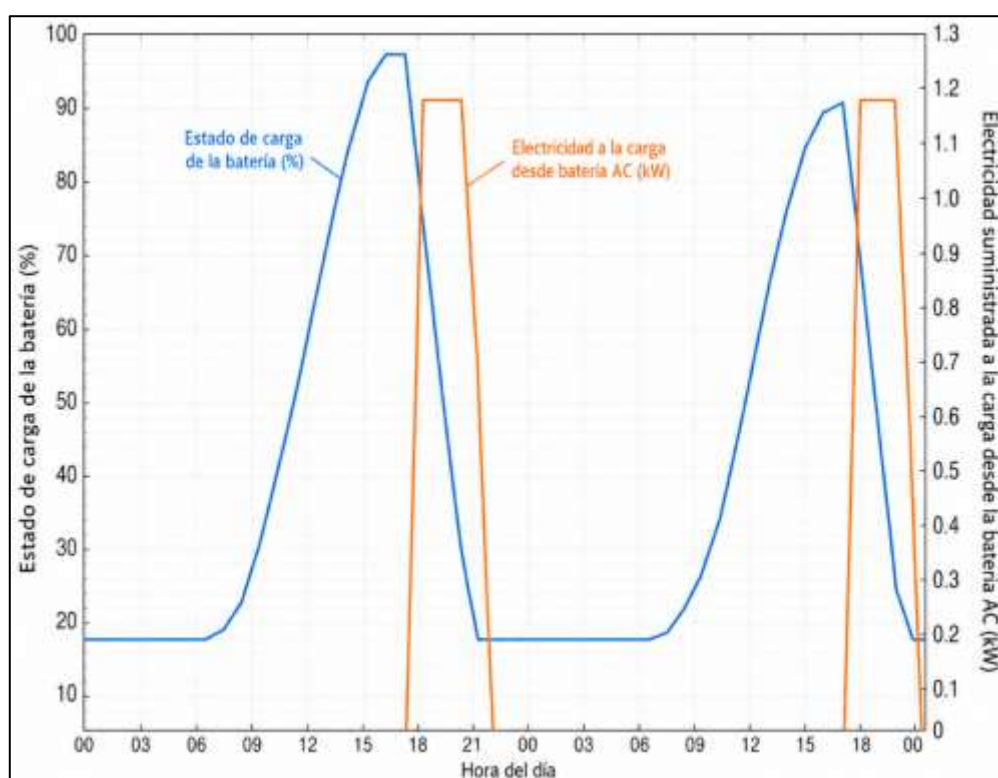


Figura. 49 Ciclo de carga y descarga de la batería y suministro de energía a la carga.

En la figura 49 se observa la curva de operación de la batería, mostrando un comportamiento variable del sistema de almacenamiento en función del consumo energético. Durante las horas con disponibilidad solar la recuperación del estado de carga de la batería, alcanzando valores superiores a 90 %. En ausencia de radiación solar, la batería suministra energía a la carga con una potencia de 1,2 kW el mismo que provoca una disminución progresiva del estado de descarga hasta el límite mínimo permitido establecido de 20 %.

6 PRUEBAS DEL VOLTAJE AC DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

6.1.1 Pruebas de voltaje de los dispositivos del sistema fotovoltaico

Para garantizar el sistema fotovoltaico híbrido Off Grid implementado en este proyecto funcione correctamente, es necesario verificar que sus componentes operen bajo condiciones normales y cumplan con la función prevista, que consiste en suministrar energía eléctrica al dispensario médico. Para ello, se realiza pruebas de medición de los niveles de voltaje del sistema, como se observa a continuación.

6.1.2 Voltaje AC de la red eléctrica Elepco S.A

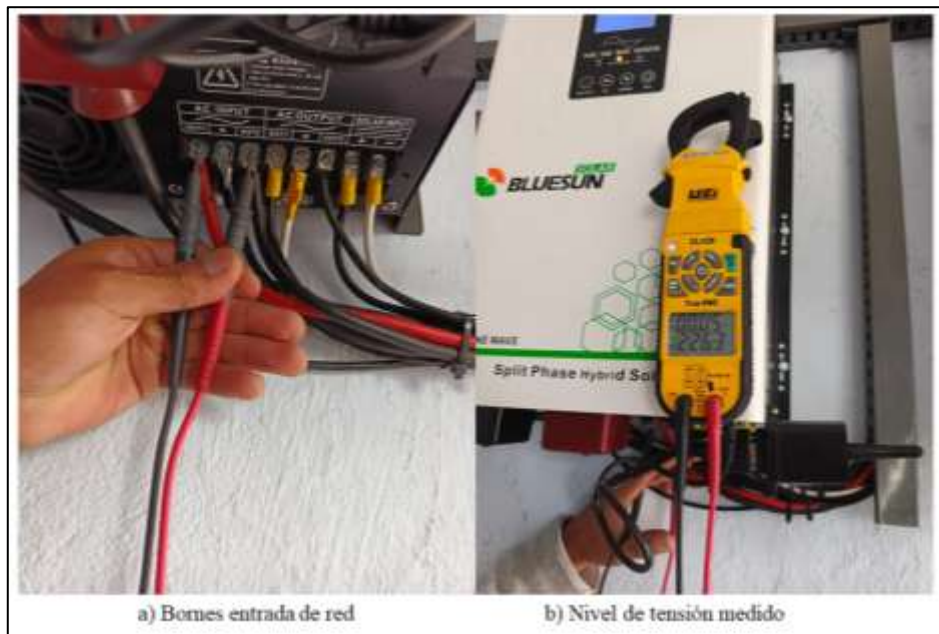


Figura. 50 Nivel de voltaje de la red eléctrica a la entrada del inversor.

En la figura 50 muestra la entrada de Elepco S.A., obteniendo un valor de 226,3 V en corriente alterna entre fases. La variación registrada corresponde al comportamiento normal de la red de distribución eléctrica.

6.1.3 Voltaje AC en la salida del inversor

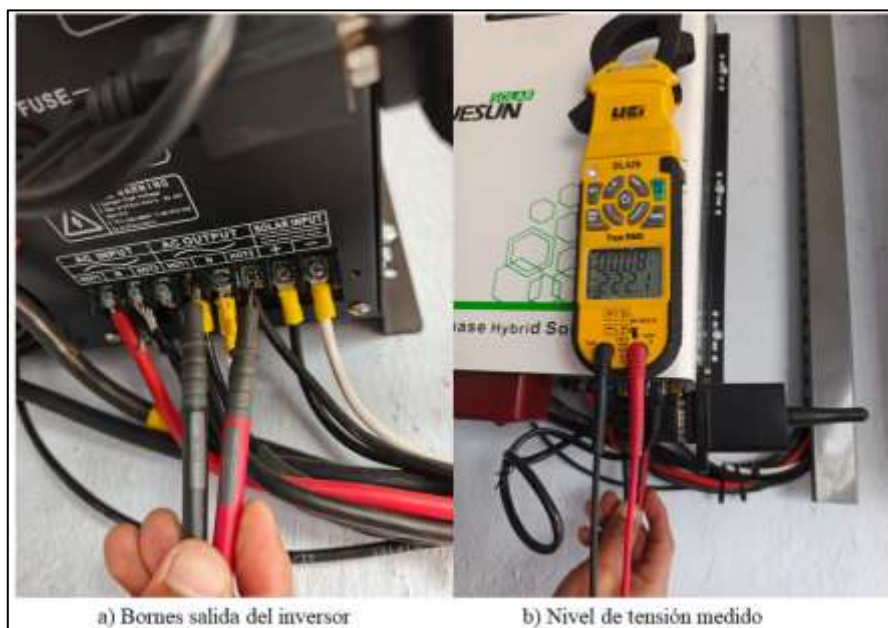


Figura. 51 Nivel de voltaje a la salida del inversor.

La figura 51 presenta la medición en la salida del inversor, registrando en un valor de 222.1 V en corriente alterna. Este resultado se encuentra dentro del rango normal para el sistema monofásico 220 V, demostrando que el inversor entrega un voltaje estable y adecuada para el funcionamiento de las cargas conectadas.

7 PRUEBAS DEL VOLTAJE DC DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

7.1.1 Voltaje DC en la salida del panel solar

El voltaje de circuito abierto representa el máximo voltaje que puede entregar un panel cuando no existe conectado una carga.

$$V_{oc} = 50.90 \times 2$$

$$V_{oc} = 101.08V$$

Este valor es importante porque debe mantener dentro del rango máximo permitido por el controlador MPPT del inversor. Es importante que cumpla para así garantizar un funcionamiento seguro del sistema y evita daños ocasionados por sobretensión.



Figura. 52 Voltaje medido a la salida del panel.

El voltaje que se observa en la figura 52 de 100.6 V de corriente directa se encuentra entre los parámetros establecidos. Este resultado muestra que los módulos fotovoltaicos están trabajando dentro del rango permitido para su funcionamiento y que las condiciones reales de irradiación y temperatura permite alcanzar un voltaje cercano al de circuito abierto, con una diferencia mínima de 1.2 V respecto al valor teórico V_{oc} (101.08V) dando una variación

aproximada del 1.2 %. Esta pequeña variación está dentro del margen de error del fabricante que es del 3% el mismo que puede atribuirse a factores como la celda de los paneles y pérdidas propias del sistema, confirmando un desempeño correcto y la adecuada conexión en serie de los módulos.

7.1.2 Voltaje DC del banco de baterías hacia el inversor



Figura. 53 Nivel de voltaje desde la batería hacia el inversor.

Como se observa en la figura 53 la medición del voltaje de corriente directa de 52,20 V correspondiente al análisis desde la batería al inversor.

7.1.3 Estado operativo del inversor



Figura. 54 Visualización del funcionamiento del sistema.

En la figura 54 permite visualizar en tiempo real el funcionamiento normal del sistema fotovoltaico. Además, no presenta ninguna alarma, se confirma una operación estable del equipo durante el suministro eléctrico a las cargas conectadas.

8 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PRIMER CASO PANEL + BATERÍAS + RED

8.1 PRIMER CASO PANEL, BATERÍAS Y SIN CORTE DE LA RED



Figura. 55 Panel fotovoltaico → regulador → batería + carga + red eléctrica.

En la figura 55 se analiza la configuración ya mencionada la misma que permite que el sistema trabaje con una fuente híbrida de respaldo energético. La energía generada por los paneles solares es controlada por el inversor y almacenada en la batería para su posterior uso. Durante el funcionamiento normal del sistema, la carga puede ser abastecida y la red eléctrica actúa como apoyo. En el caso de una falla en el suministro eléctrico, la batería entrega la energía necesaria para mantener funcionando las cargas conectadas. Así mismo, en la pantalla se observa un nivel de voltaje de la red de 228 V AC y un nivel de batería del 96 %, indicando que el sistema se encuentra disponible para operar como respaldo. Con esta configuración garantiza la continuidad del servicio eléctrico, mejora la confiabilidad del sistema y reduce la dependencia de la red convencional.

8.2 SEGUNDO CASO PANEL, BATERÍAS Y CORTE DE LA RED



Figura. 56 Panel fotovoltaico → regulador → batería + carga.

En la figura 56 se observa la configuración Panel FV, regulador, batería y carga, el mismo que permite el funcionamiento independiente del sistema fotovoltaico sin conexión a la red eléctrica. La energía generada por los paneles es regulada para controlar el proceso de carga de la batería y alimentar las cargas conectadas. En la pantalla se observa que la entrada de la red da un valor de 0 V AC y un nivel de batería del 92 %, evidenciando que el sistema trabaja mediante la energía solar almacenada. Esta configuración tiene como objetivo comprobar la capacidad del sistema para que funcione de manera autónoma, garantizando un suministro eléctrico en ausencia de la red eléctrica.

8.3 TERCER CASO BATERÍAS, INVERSOR Y CARGA



Figura. 57 Regulador → batería + carga.

En la figura 57 se observa la configuración ya mencionada que permite que la energía almacenada en la batería sea utilizada para alimentar las cargas conectadas sin depender de la

red y en ausencia de radiación solar. Esta prueba analiza el funcionamiento del sistema en modo autónomo, donde el inversor controla el flujo de energía y protege la batería durante su descarga. El nivel de batería del 84 % mostrado indica que tiene suficiente energía disponible para mantener el suministro eléctrico.

9 CARGA Y DESCARGA DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

En este instante se conoce la profundidad de descarga del banco de batería, considerando tres casos diferentes para el análisis, los mismos son iluminación externa, iluminación interna y circuito de fuerza, el sistema de almacenamiento está conformada por un banco de batería de 5,12 kWh de 100 Ah un nivel de voltaje de 51.2 V.

9.1.1 CASO 1: Iluminación externa+ iluminación interna + Tomacorrientes

Para el primer caso, se toma en cuenta la potencia de todo el sistema en funcionamiento, el mismo que da un valor de 1200 W, como se observar:

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

$$P_{AC} = 456 + 374 + 370$$

$$P_{AC} = 1200W$$

Al realizar las respectivas mediciones de corriente da un valor real de 22,8 A, de descarga del banco de baterías, tal como se observa en la figura 58.



Figura. 58 Valor medido de la corriente de banco de baterías.

$$I_{real,medida} = \frac{P_{DC}}{V_{ban.bat}}$$

$$I_{real,medida} = \frac{1200 \text{ W}}{52,6 \text{ V}}$$

$$I_{real,medida} = 22,8 \text{ A}$$

9.1.2 Profundidad de descarga de la batería

$$DoD = \frac{\text{Capacidad utilizable}}{\text{Capacidad nominal}} \times 100 \quad (23)$$

$$DoD = \frac{4.608 \text{ kWh}}{5.12 \text{ kWh}} \times 100$$

$$DoD = 90\%$$

Por lo tanto, la profundidad de carga SOC es:

$$SOC = 100\% - 90\% = 10\%$$

Se analiza que el resultado obtenido indica que la batería puede utilizarse hasta el 90% de su capacidad total, dejando una reserva de 10% como margen de protección del sistema. Corroborando con la ficha técnica este comportamiento es normal en baterías de litio, ya que el sistema de gestión (BMS) limita la descarga para prolongar la vida útil de la batería.

9.1.3 Energía útil disponible de la batería

La energía útil se calcula mediante esta ecuación:

$$E_{\text{útil}} = E_{bat} \times \eta_{bat} \quad (24)$$

$$t_{real} = \frac{E_{\text{útil}}}{P_{real}} \quad (25)$$

Donde:

E_{bat} = Capacidad nominal de la batería (kWh).

η_{bat} = Eficiencia de la batería.

$$E_{\text{útil}} = 5.12kWh \times 0.90 = 4.608kWh$$

La energía útil calculada del banco de batería fue de 4.377 kWh considerando una eficiencia del 90 %, obteniendo un valor 4.608 kWh. El mismo que coincide con el valor de la ficha técnica del fabricante.

9.1.4 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería es de:

$$t_{real} = \frac{4.608kWh}{1.2kW} = 3.84h$$

$$0.84 \times 60 = 50 \text{ minutos}$$

$$t_{real} = 3h, 50min$$

Por lo tanto, el banco de baterías puede sustentar la demanda de 1.2kW durante 3 horas con 50 minutos considerando perdidas y uso conservador de la batería. También se deja en claro que la batería funciona como respaldo de corto duración y no como una fuente principal para utilizar por largas horas de operación continua.

En la tabla 22 se analiza la energía descargado acumulada de la batería de litio del caso 1, seguido, se denota el estado de la batería SOC%, voltaje calculado, medido y el error respectivamente.

Tabla 22 Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje(V) calculado	Voltaje (V) medido	Error %
18:30 pm	100	0	52,2	52,6	0,76
19:00 pm	70	1536	51,1	51,79	1,33
20:00 pm	50	2560	49,8	50,85	2,06

21:00 pm	29	3635	49,2	50,17	1,93
22:45 pm	10	4608	48,37	48,36	2,01

Como se puede observar en la figura 59 el banco de baterías presenta un proceso de descarga hasta alcanzar un voltaje mínimo de 48,36 V con un error 2,01 %, aproximadamente en 3h con 50 minutos de funcionamiento, utilizando el 90% de su capacidad disponible. Este comportamiento muestra que la energía almacenada en las baterías no puede cubrir completamente la demanda total del sistema cuando todas las cargas se encuentran en funcionamiento de manera continua. Sin embargo, el resultado obtenido cumple con el objetivo planteado en el proyecto, debido a que el sistema fotovoltaico fue diseñado para cubrir una demanda parcial del dispensario médico, funcionando como apoyo energético y no como la única fuente de alimentación para todas las cargas existentes.

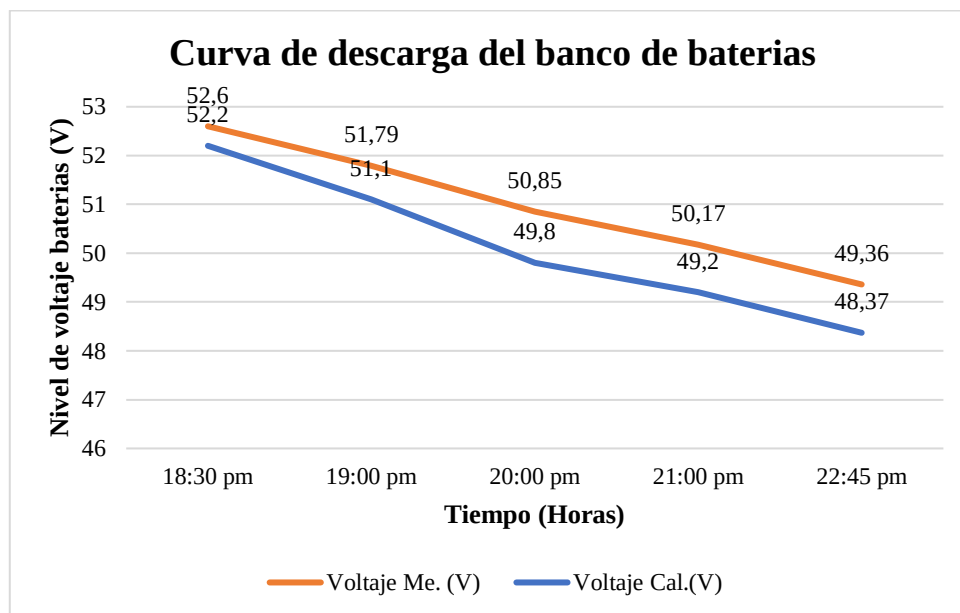


Figura. 59 Tiempo establecido para descarga de la batería.

9.1.5 Tiempo de carga de la batería

En primer lugar, se determina la potencia instalada considerando una eficiencia de $\eta = 0,90$ para los cálculos de la potencia real y la energía a reponer.

$$P_{FV} = N^{\circ}_{paneles} \times P_{panel}$$

$$P_{FV} = 2 \times 580 = 1160 \text{ W}$$

- Potencia real:

$$P_{real} = 1160 \text{ W} \times 0,90$$

$$P_{real} = 1044 \text{ W}$$

- Potencia a reponer:

$$E_{entrada} = \frac{E_{util,bateria}}{\eta}$$

$$E_{entrada} = \frac{4,608kWh}{0,90} = 5,12kWh$$

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

$$t_{real} = \frac{5,12kWh}{1044 \text{ W}} = 4,90h$$

$$0,90 \times 60 = 54 \text{ minutos}$$

$$t_{real} = 4h,54min$$

En la tabla 23 se muestra la energía almacenada acumulada de las baterías de litio del sistema fotovoltaico híbrido Off Grid, se evidencia además el estado de la batería SOC %, y su nivel de voltaje del caso 1.

Tabla 23 Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje(V) calculado	Voltaje (V) medido	Error %
8:00 am	10	0	48,37	49,2	1,58
9:00 am	35	1280	48,73	49,8	2,07
10:00 am	60	2560	49,3	50,19	1,75
11:00 am	80	3584	49,9	50,87	1,93
12:00 pm	95	4352	51,1	51,79	1,40
12:22 pm	100	4608	52,2	52,6	0,76

En la figura 60 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 52,6 V con un error de 0,76 %. Una vez completada la carga, el sistema de almacenamiento queda disponible para abastecer nuevamente la demanda parcial, conformada por la iluminación interior, exterior y los tomacorrientes.

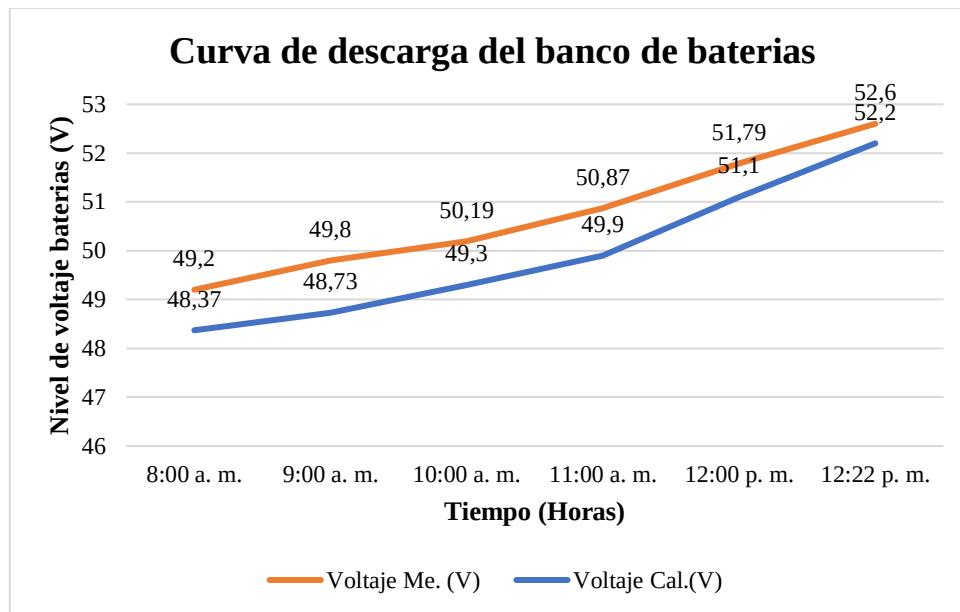


Figura. 60 Tiempo establecido para carga de la batería.

9.2 CASO 2: ILUMINACIÓN EXTERNA

Para el análisis de este caso se considera que el sistema fotovoltaico fue diseñado inicialmente para una autonomía de 12 horas de operación continuo, destinada únicamente para el circuito de iluminación interna del dispensario médico. sin embargo, debido a los requerimientos planteados por los moradores del sector, se incorporó una gestión horaria para el funcionamiento de la iluminación externa mediante temporizadores digitales previamente instalados, los mismo que están configurados para 6 horas de funcionamiento nocturno, permitiendo optimizar el uso de energía almacenada en el bando de baterías y garantizar el servicio de la iluminación exterior durante el periodo requerido.

Para el segundo caso, la potencia AC solo se considera de la iluminación internas y externas con una potencia de 456 W tal como se puede observar a continuación.

$$P_{AC} = 456 \text{ W}$$

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

$$E_{consumida,6h} = 456 W \times 6 \text{ horas}$$

$$E_{consumida,6h} = 2,736 kWh$$

9.2.1 Profundidad de descarga de la batería

$$DoD = \frac{2,736 kWh}{5,12 kWh} \times 100\%$$

$$DoD = 53,43\%$$

$$SOC = 100\% - 53,43\% = 46,57\%$$

9.2.2 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería es de:

$$t_{real} = \frac{4.608 kWh}{456 W} = 8.43 h$$

$$0.45 \times 60 = 25,8 \text{ minutos}$$

$$t_{real} = 8h, 25min$$

En la tabla 24 se analiza la energía descargado acumulado de la batería de litio del caso 2, además, se observa el estado de la batería SOC%, junto a nivel de voltaje individualmente.

Tabla 24 Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje(V) calculado	Voltaje (V) medido	Error %
18:00 pm	100	0	52,2	52,6	0,76
19:00 pm	95	256	51,6	52,02	0,81
20:00 pm	85	768	51,1	51,7	1,16
21:00 pm	79	1075	50,7	51,2	0,98
22:00 pm	65	1792	50,2	50,6	0,79

23:00 pm	55	2304	49,7	50,02	0,64
12:00 am	45	3036	48,98	49,4	0,85

La figura 61 muestra que la batería alcanza un valor de 49,4 V y un error de 0,85 % tras 8 horas y 25 minutos de descarga, utilizando cerca del 90 % de su capacidad. Esto confirma que puede abastecer la iluminación exterior sin superar su límite de descarga.

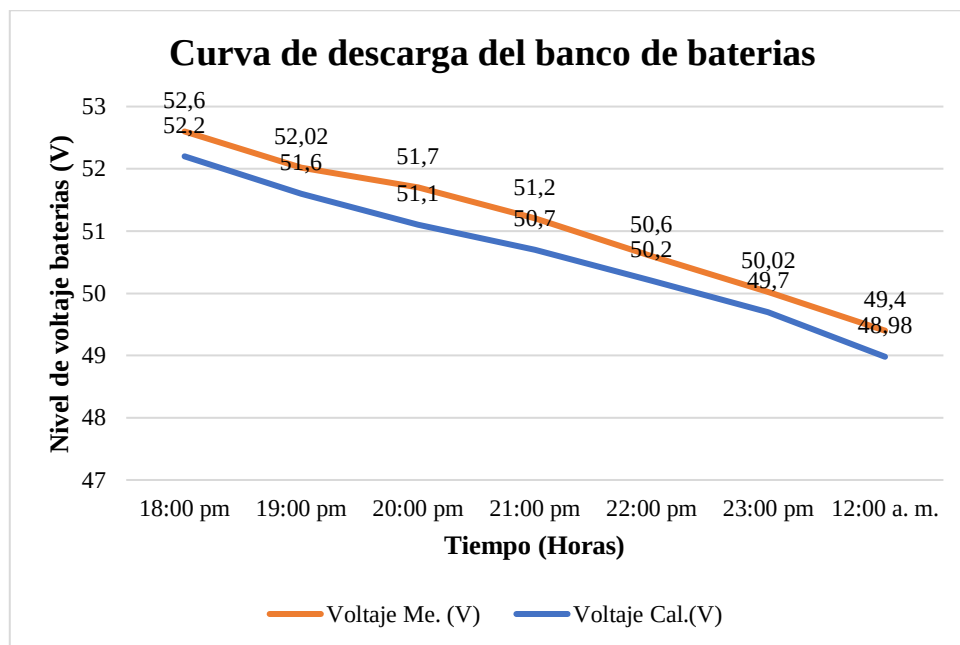


Figura. 61 Tiempo establecido para descarga de la batería.

9.2.3 Tiempo de carga de la batería

Para el caso dos el tiempo de carga de la batería en el caso 2, es de:

$$t_{real} = \frac{2,736kWh}{1044 W} = 2,62h$$

$$0.62 \times 60 = 37,2 minutos$$

$$t_{real} = 2h,37min$$

En la tabla 25 se analiza la energía descargado acumulado de la batería de litio, además, se observa el estado de la batería SOC%, junto a nivel de voltaje individualmente del caso 2.

Tabla 25 Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje(V) calculado	Voltaje (V) medido	Error %
8:00 am	45	0	48,98	49,4	0,85
9:00 am	80	1280	49,8	50,2	0,80
10:00 am	80	2560	50,5	51,3	1,56
11:00 am	95	3584	51,5	52,1	1,15
11:30 am	100	4352	52,2	52,6	0,76

En la figura 62 e muestra el comportamiento de carga de la batería, el cual se puede evidenciar el tiempo de carga de 2h con 37 minutos, alcanzando su nivel de voltaje más alto de 52,6 V con un margen de error de 0,76 %, de esta forma el sistema de almacenamiento se encuentra cargado para nuevamente abastecer la demanda parcial la cual está conformada por la iluminación externa.

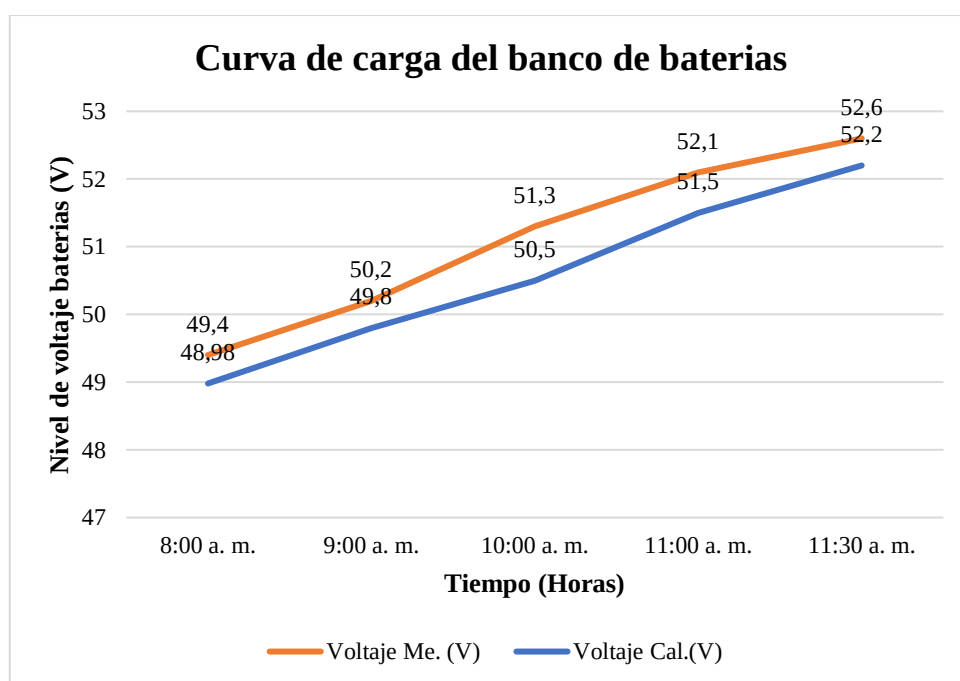


Figura. 62 Tiempo establecido para carga de la batería.

9.3 CASO 3: ILUMINACIÓN INTERNA

Para el análisis de este caso la potencia que se toma en cuenta es únicamente de la iluminación interna correspondiente al dispensario médico con un valor de 374 W tal como se puede observar a continuación:

$$P_{AC} = 374 \text{ W}$$

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

$$E_{consumida,12h} = 374 \text{ W} \times 6 \text{ horas}$$

$$E_{consumida,12h} = 2,244 \text{ kWh}$$

9.3.1 Profundidad de descarga de la batería

$$DoD = \frac{2,244 \text{ kWh}}{5,12 \text{ kWh}} \times 100\%$$

$$DoD = 43,82\%$$

$$SOC = 100\% - 43,82\% = 56,18\%$$

9.3.2 Tiempo de descarga de la batería

Posteriormente el tiempo máximo de descarga de la batería es de:

$$t_{real} = \frac{4.608 \text{ kWh}}{374 \text{ W}} = 12,32 \text{ h}$$

$$0.32 \times 60 = 19,2 \text{ minutos}$$

$$t_{real} = 12 \text{ h}, 19 \text{ min}$$

En la tabla 26 la energía descargada acumulado de la batería de litio del caso 3, además, se observa el estado de la batería SOC%, junto a nivel de voltaje individualmente.

Tabla 26 Recolección de datos para el tiempo de descarga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje(V) calculado	Voltaje (V) medido	Error %
18:00 pm	100	0	52,3	52,6	0,57
19:00 pm	90	512	51,98	52,3	0,61
20:00 pm	75	1280	51,5	51,8	0,58
21:00 pm	50	2560	50,8	51,3	0,97

Se analiza en la figura 63 el banco de baterías se descarga al límite de 51,3 con un margen de error de en 12 horas con 19 minutos, con un funcionamiento del 90 % del banco de baterías, el mismo que indica que el banco de baterías puede suministrar sin ningún problema el circuito de iluminación interna del dispensario médico sin llegar a su límite de profundidad de descarga.

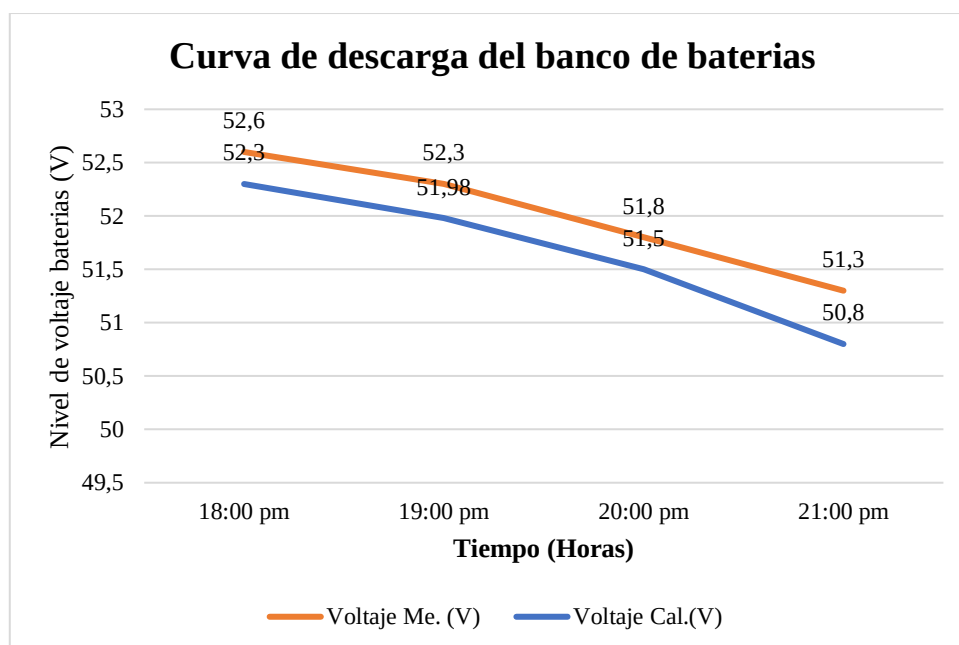


Figura. 63 Tiempo establecido para descarga de la batería.

9.3.3 Tiempo de carga de la batería

Para el caso dos el tiempo de carga de la batería en el caso 3, es de:

$$t_{real} = \frac{2,493kWh}{1044 W} = 2,38h$$

$$0.38 \times 60 = 22,8 \text{ minutos}$$

$$t_{real} = 2h,22min$$

Como lo muestra la tabla 27 la energía descargado acumulado de la batería de litio del caso 3, además, se observa el estado de la batería SOC%, junto a nivel de voltaje individualmente.

Tabla 27 Recolección de datos para el tiempo de carga del banco de baterías.

Tiempo	SOC %	Energía acumulada (Wh)	Voltaje(V) calculado	Voltaje (V) medido	Error %
8:00 am	45	0	50,7	51,2	0,98
9:00 am	80	1280	51,6	51,98	0,73
9:30 am	80	2560	52,3	52,5	0,38

En la figura 64 se muestra el comportamiento de carga de la batería, proceso que tuvo una duración de carga de 2 horas con 22 minutos, llega a su nivel de voltaje más alto de 52,5 V con un margen de error de 0,38 %. Una vez finalizada la carga, el sistema de almacenamiento queda disponible para abastecer nuevamente la demanda eléctrica del sistema.

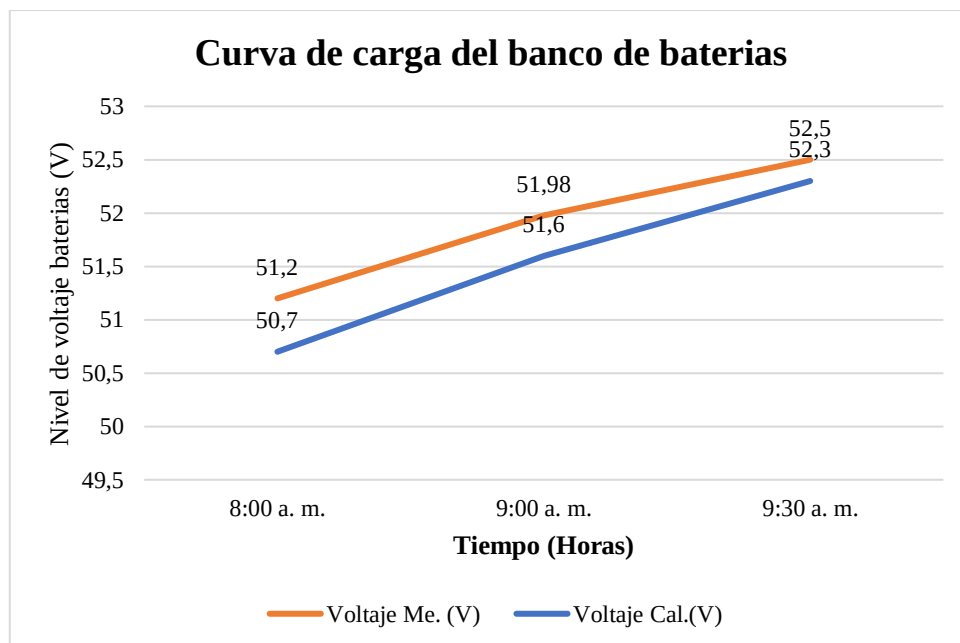


Figura. 64 Tiempo establecido para carga de la batería.

9.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO HÍBRIDO OFF GRID

9.4.1 Consumo eléctrico promedio anual del dispensario medio y parque.

Para calcular el periodo de recuperación de la inversión (PRI), se considera el consumo eléctrico promedio anual del dispensario médico y el parque de la comunidad de San José de Alpamalag. Para ello, se recopilaron los registros mensuales del consumo eléctrico del año 2025-2026 tal y como se determina en la Tabla 28.

Tabla 28 Consumo de periodo 2025-2026.

Mes	Consumo (kWh)
Junio	137 kWh
Julio	119 kWh
Agosto	149 kWh
Septiembre	207 kWh
Octubre	178 kWh
Noviembre	191 kWh
Diciembre	169 kWh
Enero	171 kWh
Febrero	162 kWh
Marzo	170 kWh
Abril	168 kWh
Mayo	129 kWh
Total	1950 kWh/año

Para el cálculo del consumo eléctrico promedio del dispensario médico se calcula con la ecuación (26) para el mismo se saca un promedio del año 2025-2026 dando como respuesta un valor de 1950 kWh/año.

$$E_{prom} = \frac{Et_{consumida}}{12 \text{ meses}} \quad (26)$$

$$E_{prom} = \frac{1950kWh/año}{12 \text{ meses}} = 162,5kWh/mes$$

Como se indicó previamente, la implementación del sistema fotovoltaico híbrido Off Grid en el dispensario médico de San José de Alpamalag, requirió una inversión de 2219,21 USD. Para el análisis se tomo la tarifa eléctrica de 0,097 USD/kWh tomada como referencia el Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica correspondiente al año 2026 este valor corresponde a la categoría residencial con un rango de consumo de 151-200 kWh/mes.

9.4.2 Costo de operación y mantenimiento

Para determinar el costo de operación y mantenimiento $CO\&M$ se consideró un valor del 1% de la inversión inicial del sistema. Este porcentaje se tomó como referencia de las recomendaciones presentadas en el 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.

Para el cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$C_{O\&M} = 1\% \times C_{inversión} \quad (27)$$

$$C_{O\&M} = 0,01 \times 2219,21 = 22,19 \text{ USD/año}$$

9.4.3 Calculo de Ahorro bruto anual

A partir de la ecuación (28) se determina el ahorro bruto correspondiente al primer y el último año del periodo de recuperación de la inversión del proyecto del sistema fotovoltaico Off Grid instalado en el dispensario médico, para este cálculo se emplea una tarifa de 0,097 USD/kWh ya estipulada.

$$A_{bruto,an(n)} = Et_{anual} \times T_{eléctrica} \quad (28)$$

$$A_{bruto,anual (1)} = 1950kWh/año \times 0,097 \text{ USD/kWh}$$

$$A_{bruto,anual (1)} = 189,15 \text{ USD/año}$$

9.4.4 Flujo neto anual

$$F_{neto (n)} = A_{bruto} - C_{O\&M}$$

$$F_{neto (1)} = 189,15 \text{ USD/año} - 22,19 \text{ USD/año}$$

$$A_{neto (1)} = 166,96 \text{ USD}$$

Los cálculos indican que una generación anual de 1 950 kWh, valorada con una tarifa eléctrica de 0,097 USD/kWh, produce un ahorro bruto de 189,15 USD por año. Al descontar el costo anual de operación y mantenimiento de 22,19 USD, se obtiene un flujo neto de 166,96 USD durante el primer año. Este valor representa el beneficio económico real que genera el sistema después de cubrir sus gastos básicos de funcionamiento.

9.4.5 Calculo de Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Seguido, se calculará el Periodo de recuperación de la inversión mediante la ecuación (29):

$$PRI = \frac{C_{total}}{A_{anual}} \quad (29)$$

Donde:

PRI = Periodo de recuperación de inversión (años)

C_{total} = Costo de inversión total (USD)

A_{anual} = Ahorro anual (USD/año)

$$PRI = \frac{2219,21 \text{ USD}}{166,96 \text{ USD/año}}$$

$$PRI = 13,29 \text{ años}$$

$$0,29 \times 12 = 3,4 \text{ meses}$$

$$PRI = 13 \text{ años}, 3 \text{ meses}$$

El cálculo muestra que la inversión de USD 2 219,21 se recupera de manera gradual con el ahorro neto que produce el sistema cada año. Al considerar un beneficio anual de USD 166,96, el tiempo estimado de recuperación es de 13 años y 4 meses. Después de este periodo, el ahorro generado empezará a representar un beneficio económico para la instalación.

9.4.6 Análisis de resultados de la entrevista del sistema fotovoltaico

En este apartado se analizan los resultados obtenidos mediante encuesta aplicada a la comunidad, donde se evidencia una aceptación favorable hacia la implementación del sistema fotovoltaico destacando su aporte para garantizar la continuidad del servicio del dispensario médico ante fallas eléctricas. Debido a que el proyecto tiene un enfoque social y comunitario, los beneficios están orientados al bienestar de las familias de la comunidad. Por lo tanto, su valor debe evaluarse desde el impacto social y no únicamente desde el aspecto económico.

Tabla 29 Matriz de categorización de la encuesta sobre el sistema fotovoltaico.

Pregunta	Categoría	Subcategoría	Evidencia obtenida
Pregunta N.º 1: ¿Cree que la instalación de paneles solares mejoraría la atención en el dispensario médico?	Impacto social	Mejora de la atención médica	La mayoría de los encuestados considera que la instalación de paneles solares mejoraría la atención brindada en el dispensario médico.
Pregunta N.º 2: ¿Cuál sería el principal beneficio de tener energía solar en el dispensario?	Beneficios del sistema	Continuidad energética	Los resultados muestran que el principal beneficio sería mantener la atención médica durante los cortes de energía.
Pregunta N.º 3: ¿Cree que tener energía en el dispensario durante los cortes eléctricos beneficiaría a las familias de la comunidad?	Beneficio comunitario	Bienestar social	La mayoría considera que disponer de energía durante los cortes beneficiaría directamente a las familias de la comunidad.
Pregunta N.º 4: ¿Está de acuerdo con la instalación de un sistema de energía solar en el dispensario médico?	Aceptación comunitaria	Aprobación del proyecto	Las respuestas reflejan una alta aceptación de la instalación del sistema fotovoltaico en el dispensario médico.
Pregunta N.º 5: ¿Alguna vez no pudo recibir atención médica por falta de energía eléctrica?	Afectación del servicio	Interrupciones eléctricas	Una parte importante de los encuestados manifestó haber tenido dificultades para recibir atención médica por falta de energía eléctrica.
Pregunta N.º 6: ¿Cree que la energía solar ayudaría a evitar interrupciones en la atención médica?	Confiabilidad energética	Respaldo eléctrico	La mayoría considera que el sistema solar ayudaría a reducir las interrupciones y mantener la atención médica durante los cortes eléctricos.
Pregunta N.º 7: ¿Qué tan importante es para la comunidad que el	Importancia social	Seguridad energética	Los encuestados consideran muy importante que el dispensario cuente con energía de respaldo para asegurar la continuidad de sus servicios.

9.4.7 Análisis cuantitativo de las preguntas

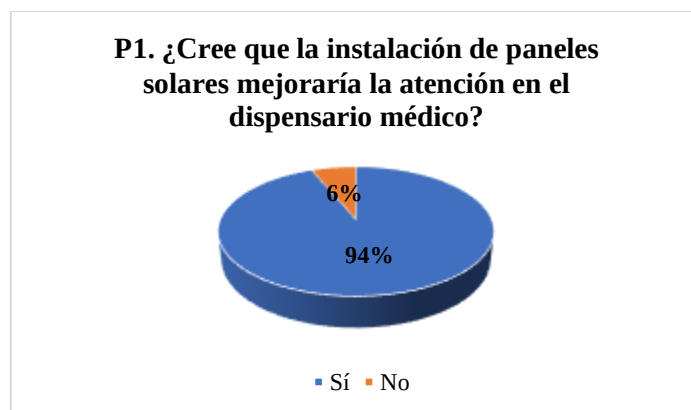


Figura. 65 Impacto social.

En la figura 65 se analiza que el 94 % de los encuestadores considera que la instalación de los paneles solares mejoraría la atención del dispensario, mientras que el 6% opinan lo contrario. Por lo tanto, mostrando que están de acuerdo por parte de la comunidad.

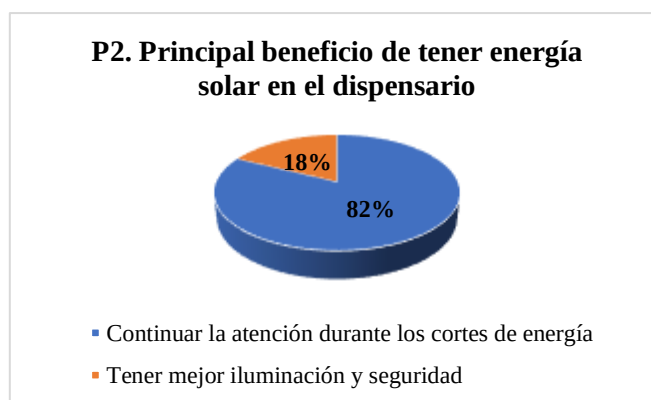


Figura. 66 Beneficios del sistema.

En la figura 66 se analiza que el 82 % consideran que el principal beneficio sería con la continuar con la atención durante los cortes de energía, mientras que el 18 % por eligió una mejor iluminación y seguridad. El resultado demuestra que la continuidad del servicio en el dispensario constituye la necesidad más importante para la comunidad.

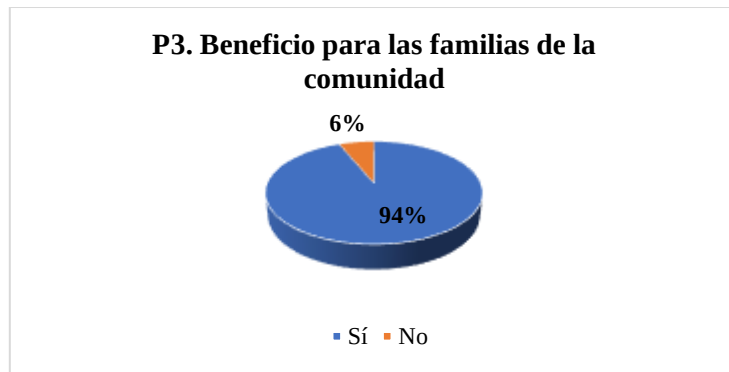


Figura. 67 Resultado de los beneficios para las familias.

En la figura 67 se analiza que el 94 % de los encuestadores afirman que el beneficio para las familias de la comunidad mejoraría, mientras que el 6% opinan lo contrario.

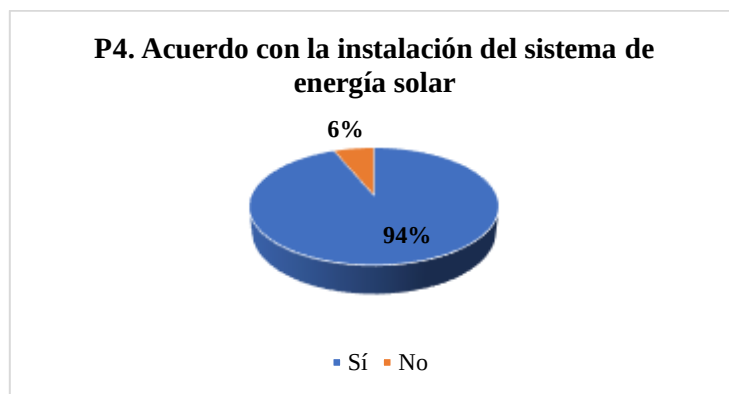


Figura. 68 Respuesta a la instalación del sistema FV.

En la figura 68 muestra que un 94 % están de acuerdo con la instalación de los paneles solares, el 6 % que no está de acuerdo. Los datos muestran un alto nivel de aceptación comunitaria del proyecto.

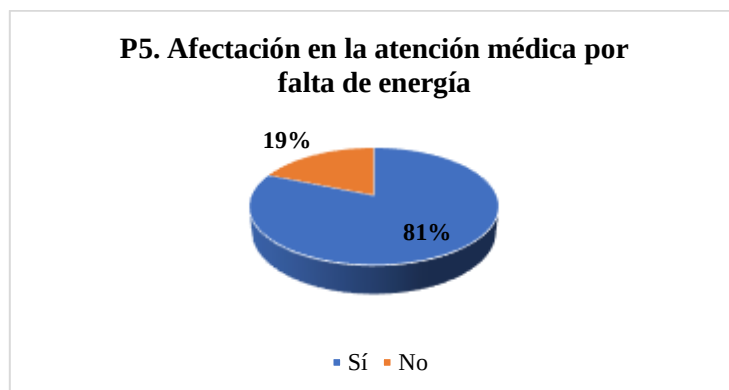


Figura. 69 Resultado de falta de atención médica.

En la figura 69 se muestra un 81 % no pudo recibir atención médica por falta de energía eléctrica, mientras que el 19 % no tuvo problemas por esta situación. Dando a conocer que los cortes eléctricos afectan directamente a la atención del servicio médico.

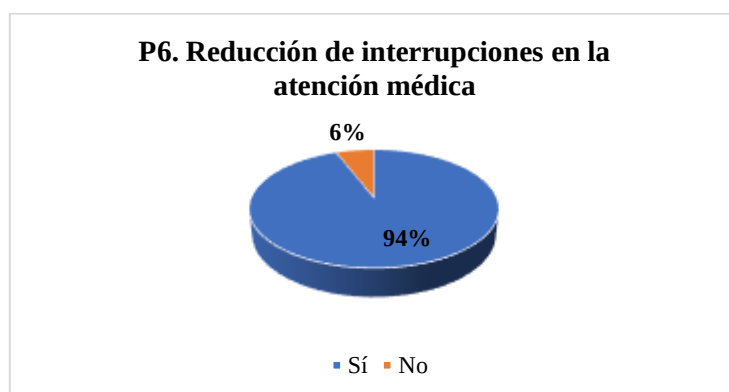


Figura. 70 Respuesta atención continua del dispensario médico.

En la figura 70 se analiza que un 94 % de los encuestados afirman que el sistema fotovoltaico ayudaría a evitar interrupciones en la atención médica y solo un 6 % dice lo contrario este puede ser por falta de conocimiento por parte del encuestado.

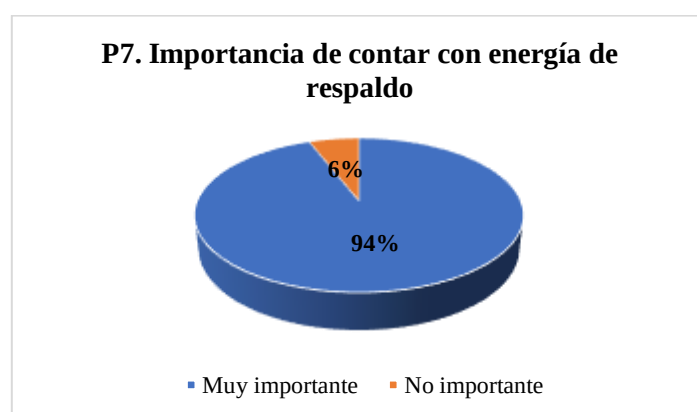


Figura. 71 Seguridad energética.

En la figura 71 se analiza que el 94 % consideran muy importante que el dispensario disponga de energía de respaldo y el 6 % menciona no importante, demostrando que la continuidad energética constituye una necesidad prioritaria para la comunidad.

10 CONCLUSIONES

En base al análisis de la demanda y del recurso solar producida en San José de Alpamalak, nos permite determinar que el sistema fotovoltaico presenta condiciones favorables para cubrir el consumo energético del establecimiento. La carga instalada alcanza 1.200 W, sin embargo, al aplicar los factores de utilización y simultaneidad, la demanda máxima se reduce a 473,9 W, equivalente al 39,5 % de la potencia total de todo nuestro sistema, con un consumo diario de 2,69 kWh, del mismo modo, la HSP mínima registrada fue de 3,41 horas en marzo, mientras que la máxima alcanzó 5,01 horas en diciembre, considerando el escenario más desfavorable y una potencia fotovoltaica instalada de 1,16 kW, se estima una generación útil aproximada de 3,16 kWh/día, superior a la demanda calculada en 0,47 kWh/día, por lo tanto, se concluye que el dimensionamiento realizado puede satisfacer el consumo previsto incluso durante el mes de menor disponibilidad solar, manteniendo un margen energético aproximado del 17,6 %.

Se obtuvo un sistema fotovoltaico de acuerdo a los parámetros energético necesarios, satisfaciendo una carga energética de 3129 Wh/día, se compensó con un sistema de respaldo o banco de baterías de 100 Ah, con una carga máxima de 5.12 kW, juntamente con un par de paneles fotovoltaicos de 580W que ayuden a satisfacer las necesidades energéticas del dispensario médico, en base al inversor se hizo la adquisición de un equipo de 3 kW, teniendo un excedente de 1800kW para futuros incrementos de carga, estos equipos trabajarán en conjunto con la red de forma más segura y generando energía eléctrica más limpia y sostenible.

El sistema de almacenamiento seleccionado garantiza continuidad del servicio eléctrico durante periodos corto sin generación solar para la demanda total, con una energía útil de 4,608 kWh considerando una profundidad de descarga del 90 %, además el análisis determina que puede sustentar la demanda de 374 W durante una autonomía de 12 horas con 19 minutos indicando que funciona como un respaldo eficiente para las cargas instaladas del dispensario médico.

Los resultados de la encuesta demuestran que la comunidad considera necesario la implementación del sistema fotovoltaico para garantizar la atención medica durante cortes de energía. Al tratar de un proyecto de beneficio social que será donado a la comunidad, no se

aplica un análisis de recuperación de la inversión, su principal aporte es al impacto social y la mejora de la calidad de vida de los beneficiarios.

11 RECOMENDACIONES

En base a los equipos adquiridos, principalmente en el inversor, me permito aclarar este contexto en relación a conexión con los paneles solares, dicho de otra forma, se recomienda conservar la configuración actual de dos paneles fotovoltaicos de 580 W conectados en serie (2S), obteniendo una potencia instalada de 1.160 W. Esta disposición se encuentra dentro de la configuración máxima recomendada por el fabricante, correspondiente a cuatro módulos de 580 W en conexión 2S2P, es decir, dos paneles en serie por cada cadena y dos cadenas conectadas en paralelo. La conexión en serie permite sumar el voltaje de los módulos sin incrementar la corriente, favoreciendo el funcionamiento del controlador MPPT integrado, además, la instalación mantiene disponible la posibilidad de incorporar posteriormente otros dos paneles de iguales características, formando una segunda cadena en serie. Antes de realizar esta ampliación, se deberá comprobar que el voltaje de circuito abierto, la corriente y la potencia total permanezcan dentro de los límites eléctricos permitidos por el inversor.

Por otro lado, también se sugiere definir la conexión del arreglo fotovoltaico en función de los límites eléctricos del controlador MPPT y no solamente por la cantidad de paneles, entender que al aumentar la potencia individual de cada módulo, disminuye el número máximo permitido y cambia la distribución entre conexiones en serie y paralelo, por esta razón, antes de instalar o ampliar el sistema se debe comprobar que la suma de los voltajes en serie permanezca dentro del rango MPPT y que la corriente de las ramas en paralelo no supere la entrada máxima del inversor, por ello se detalla los límites de conexión de los paneles que podría soportar nuestro equipo, siendo de este modo, el inversor admite un máximo de 18 paneles de 160 W en configuración 3S6P, 6 paneles de 480 W en conexión 3S2P, 4 paneles de 580 W en configuración 2S2P o 4 paneles de 580 W conectados en 4P, es tanto a lo que puedo recomendar.

Realizar mantenimiento preventivo periódico del sistema fotovoltaico principalmente en los módulos solares, conexión eléctrica, inversor y banco de baterías, se recomienda realizar estas actividades antes de los meses de menor producción energética especialmente en junio debido

a que la simulación en SAM determino una generación aproximada de 245 kWh siendo el mes con menor producción anual.

Realizar un seguimiento del consumo eléctrico y del estado de carga de la batería considerando que el inversor instalación de 3 kW trabaja actualmente solamente al 40 % de su capacidad dejando 1,8 kW disponible para futuro aumento de demanda, el mismo que permitirá aumentar nuevas cargas sin necesidad de remplazar el equipo principal siempre cuando se realice un análisis previo de la demanda.

12 REFERENCIAS

- [1] C. Peñafiel, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO/FOTOVOLTAICO PARA ALUMBRADO PÚBLICO EN VÍAS RÁPIDAS. CASO DE ESTUDIO VÍA CUENCA – AZOGUES,” Cuenca, 2024. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/18153>
- [2] V. Campoverde and A. González, “Diseño de un sistema de energía fotovoltaico híbrido para las bodegas de la compañía XURI S.A,” Guayaquil, Jan. 2025. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29813>
- [3] J. E. Ureña Erazo and A. J. Martínez Peralta, “Enfoque técnico para la implantación de sistemas híbridos de energías renovables: retos, posibilidades e implicaciones,” *Reincisol.*, vol. 3, no. 5, pp. 1428–1446, Jun. 2024, doi: 10.59282/reincisol.V3(5)1428-1446.
- [4] C. Quintero Ávila, E. R. Poblano Ojinaga, A. Valles Chávez, A. Woocay Prieto, and J. R. Rodríguez Mejía, “Revisión de literatura en el diseño de sistemas híbridos de energía para minimizar costos, emisiones y maximizar producción,” *Revista NeyArt*, vol. 2, no. 4, pp. 118–130, Nov. 2024, doi: 10.61273/neyart.v2i4.78.
- [5] L. Jacho, “IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO CONECTADO Y DESCONECTADO DE LA RED ELÉCTRICA PARA UN CLIENTE REGULADO EN BAJO VOLTAJE,” Cuenca, Aug. 2025. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/31571>
- [6] A. Yépez and J. Flores, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO CONSIDERANDO LA REGULACIÓN ECUATORIANA Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico,” Guayaquil, Mar. 2024. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28221>

- [7] D. A. Figueroa, J. F. Culqui, M. D. Nuñez, and O. D. Cruz, “Smart Grid y Micro Grid,” 2021. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/85691439/Smart_Grid_y_Micro_Grid.pdf
- [8] J. Najely and P. Ureña, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA ELÉCTRICA.”
- [9] A. Mosquera and P. Celleri, “Repotenciación del sistema eléctrico a nivel de distribución del sector VÍA-SALITRE con ingreso de una subestación de transformación en sistema radial,” Apr. 2026. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/32376/1/UPS-GT006932.pdf>
- [10] R. Ulloa, “Planificación óptima de sistemas eléctricos de distribución en zonas rurales mediante la integración de micro-redes,” Mar. 2021, Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21472/1/UPS-CT009446.pdf>
- [11] F. Aman and B. Casa, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD,” 2025.
- [12] H. León, “El Efecto de la Interrupción del Servicio de Energía Eléctrica Sobre la Salud en Colombia,” May 2020, Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/28b92937-be57-4dae-b7e2-cf027937677b/content>
- [13] N. A. Beltrán Robayo *et al.*, *Aplicaciones Inteligentes en la Ingeniería del Futuro*. Editorial Hambatu Sapiens, 2025. doi: 10.63862/ehs-978-9942-7415-4-7.
- [14] M. A. Laborde and R. J. J. Williams, *Energía Solar EDITORES*. 2016. [Online]. Available: www.ancefn.org.ar
- [15] G. A. Gómez-Ramírez, C. Meza, and S. Morales-Hernández, “Oportunidades y desafíos para la integración de almacenamiento electroquímico en las redes eléctricas centroamericanas,” *Revista Tecnología en Marcha*, Jun. 2021, doi: 10.18845/tm.v34i3.5352.

- [16] R. Basurto, H. Canchari, J. Polo, I. Poma, and R. Valenzuela, “Evaluación de generación de energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento de energía con baterías (BEES- Storage) en la zona sur del país,” 2022.
- [17] L. Jacho and S. Inga, “IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO CONECTADO Y DESCONECTADO DE LA RED ELÉCTRICA PARA UN CLIENTE REGULADO EN BAJO VOLTAJE,” 2025. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/31571/1/UPS-CT012427.pdf>
- [18] P. Andrey Quiroga Tapasco, P. D. en Ingeniería, and E. Mirledy Toro Ocampo, “Revisión del Estado del Arte en el Nexo Energía-Agua-Carbono: Desalinización, Energías Renovables y Desarrollo en Colombia,” 2025.
- [19] R. F. Criollo Enríquez, D. P. Guailas Domínguez, and D. Ochoa Correa, “Evolución tecnológica de la generación solar fotovoltaica: una revisión de la literatura en la última década,” *Revista Tecnológica - ESPOL*, vol. 36, no. 2, pp. 13–31, Dec. 2024, doi: 10.37815/rte.v36n2.1158.
- [20] C. G. Villegas-Mier, J. Rodriguez-Resendiz, J. M. Álvarez-Alvarado, H. Rodriguez-Resendiz, A. M. Herrera-Navarro, and O. Rodríguez-Abreo, “Artificial Neural Networks in MPPT Algorithms for Optimization of Photovoltaic Power Systems: A Review,” *Micromachines (Basel)*, vol. 12, no. 10, p. 1260, Oct. 2021, doi: 10.3390/mi12101260.
- [21] J. Vásquez, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI,” Jun. 2024. Accessed: Jul. 05, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/57717d00-2af2-4395-a673-e492379149fa/content>

13 ANEXOS

Anexo A:

MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,35	19,62	19,08	14,87	11,91	14,1	25,96	40,35	48,86	37,70	13,84	9,83
102,77	142,52	117,36	111,99	108,55	120,5	144,62	165,18	184,67	199,53	114,69	104,42
234,53	303,14	231,28	235,71	234,10	259,5	289,27	316,18	338,79	398,22	255,97	247,88
346,59	417,75	330,66	334,64	354,18	388,0	411,62	437,93	415,72	565,23	385,01	370,23
440,99	478,99	420,36	434,65	461,96	485,2	492,86	515,99	488,12	661,44	459,77	457,57
504,54	525,39	461,20	482,31	517,01	540,0	536,24	595,80	528,47	701,06	503,01	527,48
537,13	545,65	471,79	485,01	517,60	549,3	569,19	592,87	516,59	677,90	523,22	545,73
419,82	485,77	434,90	443,52	469,12	495,6	478,98	496,72	460,96	606,61	475,60	484,84
340,66	377,73	381,69	383,84	408,06	424,1	396,87	388,60	381,76	500,06	411,36	391,63
258,73	287,97	295,80	287,65	314,66	308,1	282,57	284,92	290,87	376,19	328,61	315,66
154,16	172,14	168,91	170,15	185,85	180,8	162,77	158,07	161,04	212,27	202,94	191,63
58,53	60,66	54,40	60,17	69,39	68,2	53,38	37,96	40,04	71,58	80,02	78,21
3,58	0,11	0,00	0,00	1,76	1,2	0,00	0,00	0,00	0,60	5,32	6,54
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ANEXO B

DESCRIPCION	CANT.	P. UNIT	P. TOT
SISTEMA OFF GRID - INVERSOR SPLIT FHASE 3KW (PV INPUT 2880W) + 1 BATERIA LIFEPO4 LITIO 5.12 KWH	1	1380,00	1380,00
PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 580W TOPCON BIFACIAL NEGRO 2278X1134X30MM, 31KG, 51.43V, 14.34 A, SUNPRO	2	127,00	254,00
SET HERRAJE ARREGLO PARA PANELES SOLARES	2	60,00	120,00
CONECTOR FOTOVOLTAICO MC4 PARA 6MM2	2	2,00	4,00
ACCESORIO PARA CONECTOR FOTOVOLTAICO MC4	2	2,00	4,00
BREAKER FOTOVOLTAICO 2P 20AMP 1000VDC	1	40,00	40,00
		SUBTOTAL	1802,00
		IVA	270,30
		TOTAL	2072,30
DESCRIPCION	CANT.	P. UNIT	P. TOT
TUBO LED 18W 120CM	8	1,50	12,00
TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO VETO PLATA	2	2,10	4,20
FOCO LED LEDEX 10W	8	1,25	10,00
BOQUILLA PLASTICA VETO	8	1,45	11,60
CAJETIN OCTOGONAL PLATIGAMA	8	0,82	6,56
INTERRUPTOR SIMPLE VETO PLATA	7	1,85	12,95
GASTOS ADICIONALES			
Viáticos	6	3,50	21,00
Combustible	1	60,00	60,00
		SUBTOTAL	57,31
		IVA	8,5965
		TOTAL	146,9065
		TOTAL	2219,21

ANEXO C



MANUAL DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO DE 3 kW

Instalación para suministro eléctrico autónomo y respaldo de cargas críticas

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema fotovoltaico híbrido de 3 kW convierte la energía solar en electricidad para alimentar las cargas del dispensario médico. Cuenta con almacenamiento en baterías y utiliza la red eléctrica como respaldo para garantizar la continuidad del servicio.

Componentes principales

Elemento	Función
 Paneles solares FV	Captan la radiación solar y generan energía en corriente continua (DC).
 Relé 50 A	Protege y permite la conexión de la energía proveniente de los paneles hacia el inversor.
 Banco de baterías	Almacena energía para uso cuando no hay radiación solar o como respaldo.
 Inversor híbrido	Recibe energía solar, de baterías y de la red, convierte DC en AC para alimentar las cargas.
 Red eléctrica	Fuente de respaldo cuando la energía solar o las baterías no son suficientes.

2. SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

A) Modo diurno (presencia solar)



- Los paneles solares generan energía en corriente continua.
- La salida de los paneles pasa por un relé de 50 A antes de ingresar al inversor.
- El inversor recibe además el respaldo del banco de baterías y de la red eléctrica.
- Finalmente, el inversor alimenta las cargas en corriente alterna (AC).

B) Modo nocturno o baja irradiancia



- Cuando no existe suficiente radiación solar, el sistema utiliza la energía almacenada en baterías.
- Si el nivel de batería disminuye, la red eléctrica actúa como fuente de respaldo.
- El inversor gestiona automáticamente la entrega de energía a las cargas.

3. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

Encendido

1. Verificar que los interruptores DC y AC estén habilitados.
2. Comprobar el estado del relé de 50 A y las conexiones de paneles.
3. Encender el banco de baterías.
4. Activar el inversor híbrido.
5. Confirmar en la pantalla del inversor el estado de entrada solar, batería, red y salida a cargas.

Apagado

1. Desconectar las cargas principales si se requiere mantenimiento.
2. Apagar el inversor.
3. Desconectar el banco de baterías.
4. Abrir los interruptores DC y AC cuando corresponda.

4. INDICADORES DE OPERACIÓN NORMAL

Parámetro	Estado esperado
Generación FV	Variable según irradiancia solar
Relé 50 A	Operación normal y sin sobrecalentamiento
Voltaje batería	Dentro del rango establecido por el fabricante
Red eléctrica	Disponible como respaldo
Inversor	Sin alarmas activas
Estado de carga	Cargas alimentadas correctamente

5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Frecuencia	Actividad
Semanal	Revisar pantalla del inversor y verificar ausencia de alarmas.
Mensual	Inspeccionar conexiones del relé, baterías y cableado general.
Trimestral	Limpiar módulos fotovoltaicos y revisar estructuras.
Semestral	Verificar apriete de conexiones y estado del banco de baterías.
Anual	Realizar mantenimiento general del sistema.

6. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- No manipular conexiones eléctricas durante la operación.
- No cubrir los módulos fotovoltaicos.
- Verificar periódicamente el estado del relé de 50 A.
- Mantener libre de obstáculos el área de instalación.
- Utilizar equipos de protección personal durante mantenimiento.
- Ante una alarma del inversor, revisar primero conexiones, batería y red.

7. ATENCIÓN ANTE FALLAS COMUNES

Problema	Posible causa	Acción
No hay suministro AC	Inversor apagado o protección actuada	Revisar inversor, relé de 50 A y estado de batería.
Baja generación solar	Suciedad, sombreado o falla en paneles	Limpiar módulos y verificar conexiones.
El sistema no conmuta correctamente	Falla en red, batería o relé	Comprobar entradas al inversor y estado del relé.
Alarma del inversor	Protección activada o parámetro fuera de rango	Registrar código y verificar manual del fabricante.

NOTA

Este manual corresponde a un sistema fotovoltaico híbrido de 3 kW con entrada desde paneles solares mediante relé de 50 A, banco de baterías y red eléctrica, cuya salida es gestionada por el inversor para alimentar las cargas críticas.



Energía limpia



Seguridad



Continuidad