



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR  
FOTOVOLTAICO OFF-GRID EN EL CONTEXTO  
DOMICILIARIO”**

Proyecto de Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título  
de Ingeniero en Electricidad

**Autores:**

Cristian Steven Ayala Díaz

Livintong Vladimir Toaquiza Soto

**Tutor Académico:**

Ing. MSc. Diego Jiménez

**LATACUNGA - ECUADOR**

**AGOSTO-2025**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Ayala Diaz Cristian Steven, con cédula de ciudadanía No. 050423401-4, Toaquiza Soto Livintong Vladimir, con cédula de ciudadanía No. 050452094-1 declaramos ser autores de la propuesta tecnológica: “IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID EN EL CONTEXTO DOMICILIARIO”, siendo el Ing. Jiménez Diego Leonardo M.Sc., tutor del presente trabajo: y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, julio 28 del 2025

Ayala Diaz Cristian Steven

C.C. 050423401-4

Toaquiza Soto Livintong Vladimir

C.C. 050452094-1



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID EN EL CONTEXTO DOMICILIARIO”, de Ayala Diaz Cristian Steven y Toaquiza Soto Livintong Vladimir, de la carrera Ingeniería en Electricidad, considero que dicha propuesta tecnológica es merecedora del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre- defensa.

Latacunga, julio del 2025

.....  
**Ing. Jiménez Diego Leonardo M.Sc.**

C.C: 050349370-2

**TUTOR DE TITULACIÓN**



## AVAL DE APROVACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente de la propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Ayala Diaz Cristian Steven** y **Toaquiza Soto Livintong Vladimir**, con el título de propuesta tecnológica **"IMPLEMENTACION DE UN SISTMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID EN EL CONTEXTO DOMICILIARIO"** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 29 julio del 2025

Ing. Roberto Salazar M.Sc.

C.C. 050284761-9

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Doc. Secundino Marrero

C.C. 175710790-7

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Yadyra Ortiz M.Sc.

C.C. 172246411-0

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**



## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abirme las puertas a la educación superior, brindándome la formación académica, los recursos y las herramientas necesarias para desarrollarme como profesional. Mi agradecimiento a mi tutor Ing.MSc. Diego Jiménez que formaron parte de mi proceso de este proyecto, por compartir sus conocimientos con dedicación y compromiso.*

*A mis padres, Olga Díaz y Alonso Ayala, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de lucha, responsabilidad y entrega. Gracias por apoyarme en cada etapa de mi vida, por sus consejos, sacrificios y por motivarme a no rendirme, aun en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su cariño, comprensión y por estar presentes cuando más los necesité. Su apoyo ha sido fundamental para mantenerme firme y enfocado durante este camino*

*A mi compañero de tesis, por su dedicación, compromiso y por ser parte activa en la construcción de este proyecto. Gracias por el esfuerzo compartido, por el trabajo en equipo y por enfrentar juntos cada desafío que se presentó.*

*Ya mi novia, Nelly Cuchi, gracias por tu paciencia, por creer en mí, por acompañarme con amor en este proceso y por estar a mi lado en los momentos de estrés, cansancio y también en los de alegría.*

**Cristian Steven Ayala Diaz**



## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto con el corazón lleno de gratitud y profundo respeto a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida académica y personal. A Dios, por darme la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesaria para continuar, incluso en los momentos más difíciles.*

*A mis padres, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de lucha, responsabilidad y honestidad. A mi madre Olga Díaz, que con su dulzura y entrega me enseñó el valor del sacrificio silencioso; y a mi padre Alonso Ayala, que con su firmeza y determinación me impulsó a nunca rendirme.*

*A mis hermanos, por su cariño y por acompañarme en este proceso, por sus bromas que aliviaban el cansancio y por recordarme siempre que el hogar es el mejor refugio en los días duros.*

*A mis docentes, quienes con paciencia y compromiso sembraron conocimiento en mí. Su guía no solo me ayudó a crecer como profesional, sino también como ser humano.*

*A mis amigos, verdaderos compañeros de este camino, por compartir tantas horas de estudio, de desvelo, de dudas, y también de risas. A ti Nelly Cuchipe por estar cuando los ánimos flaqueaban, por escucharme y por celebrar cada pequeño logro conmigo.*

**Cristian Steven Ayala Diaz**



## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme las puertas a la educación superior, brindándome la formación académica, los recursos y las herramientas necesarias para desarrollarme como profesional. Mi agradecimiento a mi tutor Ing.MSc. Diego Jiménez que formaron parte de mi proceso de este proyecto, por compartir sus conocimientos con dedicación y compromiso.*

*A mis padres, Lourdes Soto y José Toaquiza, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de lucha, responsabilidad y entrega. Gracias por apoyarme en cada etapa de mi vida, por sus consejos, sacrificios y por motivarme a no rendirme, aun en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su cariño, comprensión y por estar presentes cuando más los necesité. Su apoyo ha sido fundamental para mantenerme firme y enfocado durante este camino*

*A mi compañero de tesis, por su dedicación, compromiso y por ser parte activa en la construcción de este proyecto. Gracias por el esfuerzo compartido, por el trabajo en equipo y por enfrentar juntos cada desafío que se presentó.*

*Y a mi novia, Lizeth Camacho, gracias por tu paciencia, por creer en mí, por acompañarme con amor en este proceso y por estar a mi lado en los momentos de estrés, cansancio y también en los de alegría.*

**Livintong Vladimir Toaquiza Soto**



## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto con el corazón lleno de gratitud y profundo respeto a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida académica y personal. A Dios, por darme la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesaria para continuar, incluso en los momentos más difíciles.*

*A mis padres, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de lucha, responsabilidad y honestidad. A mi madre Lourdes Soto, que con su dulzura y entrega me enseñó el valor del sacrificio silencioso; y a mi padre José Toaquiza, que con su firmeza y determinación me impulsó a nunca rendirme.*

*A mis hermanos, por su cariño y por acompañarme en este proceso, por sus bromas que aliviaban el cansancio y por recordarme siempre que el hogar es el mejor refugio en los días duros.*

*A mis docentes, quienes con paciencia y compromiso sembraron conocimiento en mí. Su guía no solo me ayudó a crecer como profesional, sino también como ser humano.*

*A mis amigos, verdaderos compañeros de este camino, por compartir tantas horas de estudio, de desvelo, de dudas, y también de risas. A ti Lizeth Camacho por estar cuando los ánimos flaqueaban, por escucharme y por celebrar cada pequeño logro conmigo.*

***Livintong Vladimir Toaquiza Soto***



## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	iii
AVAL DE APROVACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iv
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	v
<i>DEDICATORIA</i> .....	vi
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	vii
<i>DEDICATORIA</i> .....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	1
2.1. El problema .....	3
2.1.1. Situación problemática .....	3
2.1.2. Formulación del problema .....	4
2.2. Objeto y campo de acción .....	4
2.2.1. Objeto: .....	4
2.2.2. Campo de Acción para el proyecto: .....	4
2.3. Beneficiarios .....	4
2.3.1. Beneficiarios directos .....	4
2.3.2. Beneficiarios indirectos .....	4
2.4. Justificación .....	4
2.5. Objetivos .....	5
2.5.1. General .....	5
2.5.2. Específicos .....	5
2.6. Tareas por objetivo .....	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
3.1. Antecedentes .....	6
3.2. Energía solar y su importancia .....	9
3.3. Ventaja y desventajas de la energía solar fotovoltaica .....	10
3.3.1. Ventajas .....	10
3.3.2. Desventajas .....	11



3.4. Tipos de radiación solar .....	12
3.4.1. Radiación solar directa .....	12
3.4.2. Radiación solar difusa .....	12
3.4.3. Radiación solar reflejada .....	13
3.5. Sistemas fotovoltaicos off-grid .....	13
3.6. Paneles solares .....	14
3.7. Modelos de paneles solares .....	15
3.7.1. Monocristalinos .....	15
3.7.2. Policristalinos .....	15
3.8. Batería .....	16
3.9. Regulador de carga .....	16
3.9.1. Tipo de reguladores .....	17
3.10. Inversor .....	18
3.11. PVsyst .....	18
4. METODOLOGÍA .....	20
4.1. Métodos de investigación .....	20
4.1.1. Método Exploratorio .....	20
4.1.2. Método Analítico .....	20
4.1.3. Método Descriptivo .....	20
4.2. Tipos investigación .....	20
4.2.1. Investigación Documental .....	20
4.2.2. Investigación Experimental .....	21
4.2.3. Investigación de Campo .....	21
4.3. Flujograma del desarrollo metodológico del proyecto .....	21
4.4. Fórmulas para el dimensionamiento DE LOS ELEMENTOS Y PARÁMETROS DEL SISTEMA .....	22
4.4.1. Potencia aparente .....	22
4.4.2. Inversor .....	23
4.4.3. Paneles solares .....	23
4.4.4. Controlador .....	24
4.4.5. Batería .....	25
4.4.6. Conductor .....	25
4.5. Fórmulas para el cálculo de protecciones .....	26
4.5.1. Paneles .....	26
4.5.2. Batería .....	27



4.5.3.	Inversor.....	27
4.5.4.	Puesta a tierra .....	28
4.6.	Fórmula de la inclinación.....	28
4.7.	Técnicas e instrumentación.....	28
4.7.1.	Ubicación del proyecto en Google Earth .....	28
4.7.2.	Registro de la energía solar en la zona .....	29
4.7.3.	Datos medidos por el piranómetro .....	30
4.8.	Planos de la vivienda.....	31
4.9.	Cálculo y diseño del sistema FV .....	32
4.9.1.	Identificación de la demanda eléctrica para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	32
4.9.2.	Dimensionamiento del número de paneles solares.....	33
4.9.3.	Dimensionamiento del controlador .....	34
4.9.4.	Dimensionamiento del banco de baterías .....	34
4.9.5.	Dimensionamiento del inversor.....	34
4.9.6.	Dimensionamiento del conductor desde el módulo fotovoltaico hasta el regulador..	35
4.9.7.	Dimensionamiento del conductor del regulador hacia la batería .....	35
4.9.8.	Dimensionamiento de protecciones para el sistema.....	36
4.9.9.	Cálculo de la inclinación .....	37
4.9.10.	Angulo Azimut.....	37
4.9.11.	Elementos principales del sistema.....	37
4.9.12.	Módulos Solares .....	37
4.9.13.	Inversor.....	39
4.10.	Plano del sistema FV.....	40
5.	Análisis de resultados .....	41
5.1.	Análisis de la instalación del sistema fotovoltaico mediante el software PVsyst.....	41
5.2.	Resumen de los resultados del sistema por el software PVsyst.....	41
5.3.	Parámetros de diseño del sistema FV .....	42
5.4.	Pérdidas del sistema fotovoltaico.....	44
5.5.	Análisis del consumo energético en función del uso doméstico.....	45
5.5.1.	Producción estandarizada por cada kilovatio instalado, relación de rendimiento y balances de resultados. ....	46
5.5.2.	Análisis de los resultados de las gráficas definidas.....	49
5.6.	Análisis del funcionamiento del sistema.....	51
5.7.	Validación operativa del sistema .....	51



5.7.1.	Carga de la batería .....	51
5.7.2.	Descarga de la batería.....	52
5.7.3.	Sistema en operación con las cargas .....	53
5.8.	Impacto social, técnico y económico .....	55
5.8.1.	Impacto social.....	55
5.8.2.	Impacto técnico .....	56
5.8.3.	Impacto económico .....	56
5.8.4.	Impacto ambiental .....	56
5.9.	PRESUPUESTO .....	57
5.9.1.	Recuperación de la inversión .....	57
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
6.1.	CONCLUSIONES .....	58
6.2.	RECOMENDACIONES .....	59
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	60
8.	ANEXOS .....	65



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. La superficie del sol llega a los 5500 °C [10].	10
Figura 3.2. Paneles solares ubicados en el techo de una vivienda [12].	11
Figura 3.3. Tipos de radiación [14].	13
Figura 3.4. Componentes del sistema fotovoltaico [16].	14
Figura 3.5. Componentes de un panel solar [18].	14
Figura 3.6. Panel solar monocristalino [19].	15
Figura 3.7. Paneles policristalinos [20].	15
Figura 3.8. Batería de litio recargable Ultracell 100Ah-12V [22].	16
Figura 3.9. Regulador de carga [24].	17
Figura 3.10. Inversor de onda pura 3000 W [26].	18
Figura 3.11. Interfaz del Software PVsyst [28].	19
Figura 4.1. Flujograma del desarrollo del proyecto.	22
Figura 4.2. Latitud y longitud de la ubicación del proyecto a través de Google Earth.	29
Figura 4.3. Gráfica del comportamiento mensual promedio de la radiación solar del 2023.	30
Figura 4.4. Registro del comportamiento de irradiación solar del mes de agosto del 2024.	31
Figura 4.5. Plano de iluminación de la residencia.	31
Figura 4.6. Plano de fuerza de la residencia.	32
Figura 4.7. Implementación de paneles solares en el techo de la vivienda.	38
Figura 4.8. Controlador de carga instalado en el hogar piloto.	39
Figura 4.9. Instalación del inversor Cantonape.	39
Figura 4.10. Conexión del banco de baterías.	40
Figura 4.11. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.	41
Figura 5.1. Fracción de energía diaria de las cargas del sistema.	46
Figura 5.2. Representación gráfica de la producción normalizada por kW del PVsyst.	46
Figura 5.3. Relación de rendimiento calculado por PVsyst.	47
Figura 5.4. Resultados de la irradiación solar horizontal y efectiva en PVsyst.	48
Figura 5.5. Resultados de los diferentes tipos de energía del sistema en PVsyst.	48
Figura 5.6. Resultados de la fracción solar en la zona en el PVsyst.	49



Figura 5.7. Comportamiento de la energía diaria de salida del conjunto. ....	50
Figura 5.8. Comportamiento de la distribución diaria del estado de carga. ....	50
Figura 5.9. Comprobación del funcionamiento del sistema FV. ....	51
Figura 5.10. Radiación solar registrada durante la observación de la carga de la batería. ....	52
Figura 5.11. Comportamiento de la corriente durante la carga de batería. ....	52
Figura 5.12. Comportamiento de la corriente de la demanda del sistema. ....	53
Figura 5.13. Comportamiento del voltaje de descarga de la batería. ....	53
Figura 5.14. Comportamiento de la radiación solar del día de registro de datos. ....	54
Figura 5.15. Comportamiento de las corrientes de batería y demanda del sistema. ....	55
Figura 5.16. Comportamiento del voltaje de la batería con las cargas conectadas. ....	55
Figura 8.1. Instalación de paneles solares. ....	65
Figura 8.2. Instalación del gabinete metálico. ....	65
Figura 8.3. Instalación de equipos. ....	66
Figura 8.4. Cableado de los equipos. ....	66
Figura 8.5. Instalación de la varilla copperweld. ....	66
Figura 8.6. Conexión del conductor a la puesta a tierra. ....	67
Figura 8.7. Conexión de la puesta a tierra en los equipos. ....	67
Figura 8.8. Sistema fotovoltaico complementado. ....	67
Figura 8.9. Mediciones generales del sistema. ....	68
Figura 8.10. Factura de compra de los elementos principales del sistema. ....	68
Figura 8.11. Resultados principales del sistema FV por PVsyst. ....	69
Figura 8.12. Resultados generales del sistema FV por PVsyst. ....	70



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de tareas .....	5
Tabla 3.1. Importantes aportes .....	7
Tabla 4.1. Promedio de datos mensuales de la radiación solar del año 2023.....	29
Tabla 4.2. Cargas específicas de la vivienda rural. ....	33
Tabla 4.3. Especificaciones técnicas de los paneles solares.....	38
Tabla 4.4. Características técnicas del controlador de carga.....	38
Tabla 4.5. Distinciones del Inversor Cantonape.....	39
Tabla 4.6. Características técnicas de la batería ULT. ....	40
Tabla 5.1. Resumen de resultados del PVsyst.....	42
Tabla 5.2. Características de los elementos del sistema en PVsyst.....	43
Tabla 5.3. Pérdidas del sistema determinado por PVsyst.....	44
Tabla 5.4. Factor de pérdida por incidencia angular IAM por PVsyst.....	45
Tabla 5.5. Necesidades detalladas del usuario en el PVsyst. ....	45
Tabla 5.6. Balance de resultados obtenidos de la simulación por PVsyst.....	48
Tabla 5.7. Tabla de los costos totales por secciones. ....	57
Tabla 5.8. Cálculo del retorno de inversión del proyecto.....	58



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD

#### TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID EN EL CONTEXTO DOMICILIARIO.”

**Autor:**

Livintong Vladimir Toaquiza Soto

Cristian Steven Ayala Díaz

#### RESUMEN

La presente propuesta tecnológica tiene como objetivo implementar un sistema fotovoltaico Off-Grid para abastecer parcialmente de energía eléctrica a una vivienda rural ubicada en la parroquia Aláquez, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. La necesidad de contar con un suministro energético confiable ante la falta del servicio eléctrico convencional y la intención de reducir la dependencia de fuentes convencionales, motivaron esta iniciativa orientada también a promover el uso de energías renovables. Se realizó un levantamiento preciso de las cargas eléctricas, determinando un consumo promedio diario de 1,17 kWh, lo que permitió dimensionar adecuadamente los componentes del sistema, como paneles solares, baterías, regulador PWM e inversor. La factibilidad técnica y energética del sistema, se validó a través del programa PVsyst, el cual indicó una energía solar útil de 365,90 kWh/año, conjuntamente con un promedio diario de 5,10 kW/m<sup>2</sup> de las horas solar pico medidos con el piranómetro. La implementación física se llevó a cabo a base del dimensionamiento del sistema conjuntamente con las pruebas que demostraron que el sistema es capaz de alimentar de forma autónoma las cargas básicas de la vivienda alrededor de 9 horas continuas, sin depender de la red eléctrica. Los resultados confirman que este tipo de soluciones es viable y sostenible, ya que mejora la calidad de vida de los habitantes, reduce costos a largo plazo, y contribuye activamente a la transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente en zonas rurales.

**Palabras clave:** Radiación solar, sistema fotovoltaico, autonomía energética, PVsyst, dimensionamiento.



# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL

### ELECTRICAL ENGINEERING CAREER

**TITLE: "IMPLEMENTATION OF AN OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM IN A DOMESTIC CONTEXT."**

**Authors:**

Livintong Vladimir Toaquiza Soto

Cristian Steven Ayala Díaz

### ABSTRACT

The objective of this technological proposal is to implement an off-grid photovoltaic system to partially supply electricity to a rural home located in the Aláquez parish, Latacunga canton, Cotopaxi province. The need for a reliable energy supply in the absence of conventional electricity service and the intention to reduce dependence on conventional sources motivated this initiative, also aimed at promoting the use of renewable energy. A precise survey of electrical loads was conducted, determining an average daily consumption of 1.17 kWh, which allowed for the appropriate sizing of system components, such as solar panels, batteries, PWM regulator, and inverter. The technical and energy feasibility of the system was validated through the PVsyst program, which indicated a useful solar energy of 365.90 kWh/year, along with a daily average of 5.10 kW/m<sup>2</sup> during peak solar hours measured with a pyranometer. The physical implementation was carried out based on system sizing in conjunction with testing, which demonstrated that the system is capable of autonomously supplying the home's basic loads for approximately nine continuous hours, without relying on the electrical grid. The results confirm that this type of solution is viable and sustainable, as it improves residents' quality of life, reduces long-term costs, and actively contributes to the transition to a cleaner and more efficient energy matrix in rural areas.

**Keywords:** Solar radiation, photovoltaic system, energy autonomy, PVsyst, sizing.

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del proyecto:** Implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico Off-Grid en el Contexto Domiciliario.

**Modalidad de Titulación:**

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

**Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:** Desarrollo de sistemas inteligentes aplicados a la ingeniería eléctrica.

**Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:**

- Cristian Steven Ayala Díaz
- Livintong Vladimir Toaquiza Soto
- Ing. MSc. Diego Jiménez

**Área de Conocimiento:** 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

Durante las últimas décadas, el aumento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la demanda de energía han generado de forma urgente la necesidad de buscar fuentes de energía renovables y sostenibles. Como tal, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una alternativa viable, limpia y renovable que puede ser empleada en diferentes

escalas. En aquellos contextos donde el acceso a la red eléctrica convencional es insuficiente o inestable, los sistemas solares fotovoltaicos autónomos (Off-Grid) constituyen una solución eficaz para garantizar el abastecimiento energético, en particular en regiones rurales o alejadas de las ciudades.

El presente trabajo tiene como propósito implementar un sistema solar fotovoltaico Off-Grid en una vivienda, con el fin de cubrir su demanda energética mediante el aprovechamiento de la energía solar. El problema central radica en la dependencia de fuentes energéticas no renovables y en la utilización de sistemas eléctricos poco confiables, lo que se traduce en una baja calidad de vida y un impacto ambiental significativo. En este contexto, una alternativa tecnológica eficiente es la energía solar, que permite a los habitantes de una vivienda acceder a una fuente de energía limpia, constante y segura, sin depender de la red eléctrica convencional.

Desde un punto de vista social, este tipo de implementación incide en la mejora de la calidad de vida, promueve la autonomía energética y favorece la inclusión de tecnología en aquellas vertientes donde las políticas de electrificación no llegan totalmente. Desde el ámbito económico, la inversión inicial en tecnologías fotovoltaicas queda compensada en el ahorro a largo plazo en consumo eléctrico. Desde un punto de vista técnico, el proyecto permite aplicar los criterios de dimensionado, diseño y simulación con el uso de PVsyst, garantizando la eficiencia del sistema en condiciones reales de uso y de clima.

Los propósitos que marcan la dirección de este trabajo están orientados a diseñar, dimensionar e implementar un sistema de energía solar Off-Grid que responda a las necesidades energéticas de una vivienda ubicada en una zona con alta disponibilidad de radiación solar, las cargas eléctricas a satisfacer, las características técnicas de los componentes y la posibilidad de simular el comportamiento del sistema como manera de evaluar su viabilidad operativa y económica.

Los límites que definen esta investigación son el ámbito residencial unifamiliar, tomando como referencia un perfil de consumo medio diario y una zona geográfica determinada. Se entienden como límites el presupuesto, las condiciones climáticas existentes en el lugar, así como la disponibilidad de algunos componentes en el mercado nacional. Por otro lado, la metodología utilizada en el trabajo establece el análisis de la radiación solar, el dimensionado del sistema, la simulación energética con el programa PVsyst y la interpretación de los resultados, la cual se lleva a cabo para comprobar el rendimiento y justificar la solución final.

Este documento se estructura de la siguiente manera: la primera sección presenta la problemática, objetivos y justificación del proyecto; la segunda sección muestra el marco teórico relacionado con la energía solar y los sistemas Off-Grid; en la tercera sección se presenta la metodología utilizada, en la cuarta sección se define el diseño y el dimensionado del sistema; en la quinta sección se muestran los resultados de la simulación y el análisis técnico; finalmente se exponen las conclusiones y las recomendaciones del estudio.

## **2.1. EL PROBLEMA**

### **2.1.1. Situación problemática**

El acceso a la electricidad confiable y asequible es un factor crucial en el desarrollo socioeconómico y la calidad de vida en las zonas rurales. Sin embargo, en áreas remotas de la parroquia de Aláquez, muchas familias tienen problemas al no tener el servicio de suministro eléctrico debido a la falta de infraestructura de la red eléctrica y las dificultades económicas y desconocimiento de los procedimientos para el acceso a este servicio. Esta situación restringe usos comunes que dependen de la energía eléctrica, tales como la iluminación del hogar, que afectan directamente a la seguridad, comodidad y el progreso de la población.

Aunque la energía renovable, como la energía solar fotovoltaica, es una solución viable para estas áreas, su introducción fuera de los sistemas de red enfrenta problemas técnicos y socioeconómicos. Por un lado, se generaliza la incertidumbre del diseño, la instalación y el mantenimiento de estos sistemas por parte de la comunidad. Por otro lado, el costo inicial de los equipos y la falta de financiamiento evitan su grabación masiva. Además, no hay estudios detallados en el área que evalúen el potencial de la energía solar y las necesidades energéticas de los hogares, creando desconfianza de su efectividad.

En este contexto, se propone la implementación de un sistema fotovoltaico off-grid en una vivienda de la parroquia Aláquez, con lo cual se busca no solo garantizar el suministro de electricidad autónomo y sostenible, sino también generar datos técnicos confiables sobre el rendimiento del sistema. Sin embargo, para su éxito, será clave superar los obstáculos, como la falta de recursos financieros, la resistencia a los cambios tecnológicos y la necesidad de ajustar el diseño de los requisitos reales de los usuarios.

### **2.1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son los principales desafíos técnicos, económicos y sociales en la implementación de sistemas solares fotovoltaicos off-grid en el contexto domiciliario y cómo pueden ser superados para promover su adopción y garantizar su viabilidad a largo plazo?

## **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.2.1. Objeto:**

Sistema Fotovoltaico.

### **2.2.2. Campo de Acción para el proyecto:**

3311 Tecnología de la Instrumentación / 331101 Tecnología de Automatización.

## **2.3. BENEFICIARIOS**

### **2.3.1. Beneficiarios directos**

Los mayores beneficiarios serán las personas que conforman la familia que habitará en la casa en la que se ubicará el sistema FV en la parroquia de Aláquez, con acceso a energía eléctrica, asequible y constantes, lo que redundará en una mejora de su calidad de vida al poder hacer uso de la luz, los electrodomésticos y otros servicios básicos del hogar.

### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

Las familias de las zonas cercanas también pueden aprovecharse del sistema en sus respectivas viviendas. Se podrá aprovechar también por estudiantes, ya que el proyecto sirve como modelo para iniciativas de energías eléctricas renovables. A la larga, esto ayudará a reducir los combustibles fósiles y a los generadores contaminantes.

## **2.4. JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo puede proporcionar información valiosa para la formulación de políticas y la planificación del uso del suelo, promoviendo un enfoque integral que contemple la integración de sistemas de generación distribuida de energía renovable. Esto puede facilitar la creación de normativas y planes de ordenamiento territorial más efectivos y sostenibles.

Mejorar el acceso a la electricidad en el hogar es muy importante para mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en ella, para que la familia goce de los derechos como la

igualdad de oportunidad en el ámbito de la salud y de la educación. En este caso cabe destacar que el acceso a la energía eléctrica es por la ubicación del domicilio, la cual es un limitante para poder proveer de la energía eléctrica pública del estado. Esta tesis tratará de buscar una solución sostenible tanto económica como ecológica para poder llevar electricidad al domicilio, analizando el buen vivir de las personas quienes habitan el domicilio. Además, esta implementación de un sistema solar fotovoltaico nos ayudará a orientar de la mejor manera el servicio de una energía limpia y libre de contaminación en los hogares del Ecuador.

## 2.5. OBJETIVOS

### 2.5.1. General

Implementar un sistema solar fotovoltaico mediante el uso de tecnología electrónica para el abastecimiento de un hogar en la parroquia Aláquez cantón Latacunga.

### 2.5.2. Específicos

- Obtener datos de entrada para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico off-grid.
- Diseñar el sistema fotovoltaico en el software PVsyst incluyendo un estudio de carga.
- Implementar el sistema fotovoltaico en el domicilio ubicado en la parroquia Aláquez cantón Latacunga.
- Realizar distintas pruebas de funcionamiento del sistema fotovoltaico en el lugar establecido.

## 2.6. TAREAS POR OBJETIVO

Tabla 2.1. Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Obtener datos de entrada para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico off-grid.	Página oficial de la NASA del año 2023. Aplicación de un software para realizar el dimensionamiento del sistema FV.	Archivo ejecutable de la NASA de todo el año 2023 Informe del dimensionamiento de sistema fotovoltaico	Registros de mediciones. Software especializado.

Diseñar el sistema fotovoltaico en el software PVsyst incluyendo un estudio de carga.	Realizamos un estudio de los equipos eléctricos para definir un estudio de carga. Aplicación del software PVsyst para el diseño del sistema FV.	Archivo ejecutable para el caso de estudio de carga. Informe de diseño del sistema de energía solar.	Registros de mediciones. Software especializado
Implementar el sistema fotovoltaico en el domicilio ubicado en la parroquia Aláquez cantón Latacunga.	Buscar el sitio un sitio óptimo para instalar el sistema. Implementar el sistema FV en el domicilio.	Mediante datos obtenidos al estudio de carga. Informe de implementación del sistema de energía solar.	Registros de mediciones. Software especializado.
Realizar distintas pruebas de funcionamiento del sistema fotovoltaico en el lugar establecido.	Verificar si el sistema fotovoltaico está implementado de manera adecuada. Realizar las pruebas necesarias del funcionamiento del sistema FV.	Archivo ejecutable para verificar la implementación. Informe de funcionamiento del sistema de energía solar.	Registros de mediciones. Software especializado.

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1. ANTECEDENTES

En el marco del desarrollo energético en áreas rurales, se ha observado un problema complejo en la implementación de medidas prácticas con el propósito de responder al acceso del servicio eléctrico en zonas aisladas. La energía solar fotovoltaica es una energía renovable que se destaca por su bajo impacto ambiental y la capacidad para operar de forma autónoma. Con base en esta energía, los sistemas fotovoltaicos Off-Grid son una respuesta viable para cubrir las necesidades básicas en viviendas apartadas de la red de distribución eléctrica. Sin embargo, la falta de recursos técnicos siempre limita el acceso para todas las viviendas que requieren de este recurso básico.

La Tabla 3.1 proporciona un amplio estudio de distintas fuentes académicas, tesis, artículos científicos, investigaciones técnicas y proyectos de implementación, los cuales constituyen de la fundamentación teórica respecto a los sistemas solares fotovoltaicos autónomos Off-Grid. Este estudio incluye ejemplos internacionales, nacionales y locales para familiarizarse con el contexto de la tecnología, así como con su aplicación en el país y comunidades del entorno.

Tabla 3.1. Importantes aportes

Referencia	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
[1]	Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica Aislada	Universidad Politécnica de Madrid	Este proyecto se centra en el diseño y el cálculo de una instalación fotovoltaica aislada destinada a entregar energía a las comunidades indígenas de la selva Colombia. La contribución más importante es la prevención de la deficiencia de agua potable al introducir la producción y el sistema de purificación de agua utilizando un dispositivo de compresión mecánico simple para la condensación y la purificación. Para el desarrollo técnico del sistema se emplearon herramientas especializadas como el software PVSyst y la hoja de cálculo de Victron, que permitieron simular y dimensionar con precisión la instalación fotovoltaica. La metodología propuesta, aunque diseñada para una zona específica, resulta replicable en otras regiones del mundo donde el acceso a recursos básicos es limitado.
[2]	Diseño de un sistema de generación fotovoltaico para el proceso productivo de una huerta de media hectárea de hortalizas en el distrito Los Aquijes-Ica, 2023	Universidad Continental	Este trabajo muestra el diseño de un sistema FV utilizado para la agricultura, especialmente para suministrar de energía eléctrica a una electrobomba en un huerto de Perú. Usando el método I+P+P3 y el software PVSyst, se diseña el sistema de energía solar, reemplazando el movimiento de combustión, lo que reduce los costos operativos y el impacto ambiental. Las tecnologías como los paneles solares monocristalinos, las bombas eléctricas eficientes y los controladores solares, muestran la viabilidad técnica y económica de estos sistemas en las áreas rurales y agrícolas, donde el acceso a la energía normal es limitado.
[3]	Estudio de factibilidad técnica económica para implementar sistema solar fotovoltaico en Proyecto Parque Urbano Cerro La Virgen, Yumbel.	Universidad del Bío-Bío	Se determina la viabilidad técnico-económica para implementar un sistema solar fotovoltaico en el parque urbano Cerro La Virgen, en Yumbel, con el propósito de cubrir la iluminación total y parte de la demanda energética interna. Para lo cual ocuparon el software online Explorador Solar para obtener datos de la irradiación y dimensionaron los componentes principales de dos tipos de sistemas uno autónomo off-grid y otro conectado on-grid, valorando la producción de energía y utilizando las tarifas de Coelcha como referencia. Los resultados revelaron que la instalación fotovoltaica on-grid es económicamente buena, con un periodo de recuperación de 7,74 años, superando en costos a la alternativa convencional. Por otro lado, la instalación off-grid no es muy rentable en términos económicos, dado que sus costos totales de implementación exceden ligeramente las alternativas existentes y carece de recuperación de la inversión inicial, dado que esta instalación será para un parque de acceso público.

[4]	Generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico Off-Grid en la zona rural de Guayaquil	Universidad Politécnica Salesiana	La presente tesis se enfoca en determinar un sistema de energía renovable para la comunidad de La Masa 1 en Guayaquil. Este sistema busca reemplazar los generadores de combustión móviles y de esta manera ayudaron a la mejora de la calidad de vida de los habitantes al suministrar electricidad para necesidades básicas y reducir el impacto ambiental. Para cumplirlo, se desarrollaron observaciones de campo para recolectar datos y posteriormente realizar un análisis de carga con el fin de asegurar el correcto funcionamiento conjuntamente con el Software PVsyst. El diseño del sistema incluye cálculos detallados para todo el sistema fotovoltaico y se elaboraron planos técnicos como la estructura del sistema diseñado y la arquitectura de la vivienda. Además, utilizaron equipos de medición y monitoreo para verificar el correcto funcionamiento de todos los equipos instalados.
[5]	Simulación de un sistema de generación fotovoltaico aislado para zonas rurales del Ecuador	Escuela Politécnica Nacional	Este trabajo de investigación embarca la simulación de un sistema de generación fotovoltaico aislado para zonas rurales en Ecuador, que propone el desarrollo de un caso de estudio detallado mediante el uso de softwares como MATLAB y PVsyst. Su propósito es simular un sistema para determinar los requisitos relevantes, dimensiones, desarrollo del algoritmo de control de carga y ejecución de la simulación en Matlab-Simulink. Este estudio permite conocer el comportamiento de la generación eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica, buscando la máxima potencia para satisfacer la demanda y asegurar un acceso a dicho sistema de manera segura y eficiente con el ambiente.
[6]	Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para los sistemas de iluminación, circuito cerrado de televisión y sistemas de datos en oficinas de la empresa ENGINSMART S.A.	Universidad Técnica de Cotopaxi	Se aborda el desarrollo, el diseño e instalación de un sistema de energía solar para el abastecimiento de energía eléctrica en oficinas de la empresa ENGINSMART S.A., con el objetivo de dar un servicio estable, y promover las energías renovables. Para esto, la investigación analiza el potencial de la energía solar en la zona, considerando condiciones climáticas y el aprovechamiento de la radiación solar. Se detalla el diseño, dimensionamiento y selección de componentes como paneles solares, baterías, reguladores, inversor, el tablero eléctrico y los cálculos para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. El análisis lo realizan mediante softwares como PVsyst con lo cual evalúan el rendimiento y eficiencia del proyecto. Los resultados confirman la solución como viable y sostenible, mejorando la calidad de vida y economizando costos.

### 3.2. ENERGÍA SOLAR Y SU IMPORTANCIA

La radiación solar se conoce con una energía emanada por el sol en forma de ondas electromagnéticas, cuya propagación por el espacio permite producir energía fotovoltaica, así este proceso se realiza por medio de equipos llamados paneles fotovoltaicos los cuales contribuyen a transformar la energía emitida por el sol en corrientes eléctricas constantes, empleando semiconductores de silicio.

La energía producida se almacena en bancos de batería para convertirla posteriormente en corriente alterna a base del inversor, de esta manera se crea un sistema de energía solar completo. La energía solar ha enmarcado un desarrollo amplio en los últimos años, por la disminución de costos, mejoras tecnológicas y el aumento de la demanda de energías renovables y sostenibles. Para el año 2020, se implementaron vastas energías limpias a nivel global y un 91% de dicha instalación responde a los sistemas fotovoltaicos y eólicos, resaltando su aporte en el cambio energético a nivel mundial [7].

Dentro del Ecuador, la radiación solar ronda en un rango de 4.5 a 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, convirtiéndose de esta manera en un país privilegiado para implementar proyectos basados en los sistemas fotovoltaicos. De la misma manera, esta fuente se puede aplicar en varios campos, como en los sistemas de la red que son aislados de las comunidades rurales. Este sistema posee varias ventajas como el bajo impacto ambiental, costos regulares de implementación y el desarrollo de energías renovables [8].

El desarrollo de sistemas de energía solar, basados en radiación solar, representa una contribución importante en el combate contra el cambio climático, ya que promueven una fuente de energía abundante, limpia y no contaminante. Estos sistemas fotovoltaicos permiten tanto reducir la emisión de gases de efecto invernadero como contribuir al desarrollo económico y social de las comunidades, generando trabajo en la fabricación, instalación, operación y mantenimiento de energías renovables; y también ofrecen una solución correcta contra el importante problema de la falta de acceso a la energía eléctrica de las zonas rurales, comunidades que se encuentran geográficamente aisladas de la red eléctrica convencional. En la medida en que aseguran el suministro energético en esos sectores, logran mejorar la calidad de vida de sus habitantes, favorecen el desarrollo de actividades educativas, productivas y domésticas, así como su independencia frente a los costosos y contaminantes combustibles fósiles [9].



Figura 3.1. La superficie del sol llega a los 5500 °C [10].

### **3.3. VENTAJA Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La sostenibilidad económica que persiguen los gobiernos es su principal razón para seguir generando energía de cualquier forma por el lucro que este deja. Sin embargo, las personas podemos optar por implementar nuestro propio sistema de generación eléctrica, siendo uno de los más implementados la energía solar fotovoltaica [11]. A continuación, se describen las ventajas y desventajas de esta energía.

#### **3.3.1. Ventajas**

##### **3.3.1.1. Menor costo**

Últimamente, y con el pasar de los años, la planilla de luz aumenta. Esto ha generado un descontento por parte de la población y ha despertado el interés por la energía fotovoltaica. En parte, es verídico que la implementación del sistema tiene un costo, pero este contribuye a reducir notablemente el pago de la planilla de luz, por lo que la inversión realizada se amortiza en algunos años y después se logra disfrutar de una energía limpia y sostenible sin rubro [11].

##### **3.3.1.2. Reduce la contaminación ambiental**

La contaminación ambiental es la suma de los gases de efecto invernadero que produce una empresa. En el caso particular de los hogares, esta contaminación es alta debido al uso de gas doméstico y energía eléctrica convencional. Sin embargo, si se elige instalar un sistema FV, se contribuye al medio ambiente, ya que esta energía es limpia y no emite gases de efecto invernadero [11].

### **3.3.1.3. Mantenimiento**

Estos sistemas fotovoltaicos, al poseer placas de silicio, pueden aparentar un complejo mantenimiento, pero es todo lo contrario, los mantenimientos son muy sencillos y simples de realizar. En la mayoría de casos basta con realizar una limpieza sobre la superficie de los paneles para aprovechar al máximo la absorción de la radiación solar. Por otro lado, es evidente comprobar el estado de los elementos del sistema [11].

### **3.3.1.4. Excedente de energía**

De acuerdo a las leyes de cada país, generalmente en Ecuador existe un decreto de remuneración el cual detalla que los excedentes de generación de energía que produzca un sistema FV y los cuales sean suministrados a la red, se descontará el costo de la planilla de luz de acuerdo a la energía suministrada a la red [11].

## **3.3.2. Desventajas**

### **3.3.2.1. Energía variable**

La energía fotovoltaica es renovable, pero también variable, porque de acuerdo con la ubicación geográfica y el clima del lugar a instalarse, los paneles recibirán más o menos energía solar. Es decir, si la zona en donde es implementado el sistema pasa notablemente nublado, el sistema no será eficiente [11].

### **3.3.2.2. Espacio**

Uno de los motivos principales por los cuales estos sistemas no son siempre instalados es por la gran cantidad de espacios que estos requieren. Los paneles poseen dimensiones grandes, lo que los hace accesibles en azoteas y techos con gran espacio [11].



Figura 3.2. Paneles solares ubicados en el techo de una vivienda [12].

### **3.3.2.3. Aprovechamiento**

Es un tema muy controversial que al día de hoy se sigue investigando para mejorarlo, ya que actualmente estos sistemas de generación eléctrica a través de la energía solar no aprovechan toda la energía que captan. El rendimiento es del 20 % del total que se obtiene al absorber la energía, es decir, solo se aprovecha una cuarta parte de la energía obtenida [11].

### **3.3.2.4. Conexión a la red**

En un caso ideal, si los paneles solares de mejor calidad y con condiciones climáticas muy favorables estuvieran presentes, sería perfecto. Sin embargo, el clima es variable y no siempre se cuenta con los recursos necesarios para implementar lo más costoso, por ello es indispensable no desconectarse de la red y usarlo siempre y cuando este sistema se quede sin energía para abastecer la vivienda [11].

## **3.4. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR**

La radiación solar se divide con relación a cómo ingresa a la superficie del planeta y los tipos de rayos solares que la integran. Esta división es relevante para comprender de qué forma funciona la radiación solar y su empleo óptimo para la generación de electricidad a través de paneles solares [13]. De acuerdo con lo mencionando, la radiación se subdivide en:

### **3.4.1. Radiación solar directa.**

Esta radiación se dirige de manera directa a la superficie terrestre sin existir ningún obstáculo que lo desvíe en su trayectoria por la atmósfera. Este tipo es el más aprovechado a través de los paneles solares por su gran intensidad y cantidad pasiva aprovechable [13].

### **3.4.2. Radiación solar difusa**

La radiación difusa penetra en la tierra después de haber sido difundida por partículas presentes en la capa de la atmósfera tales como nubes, gases o presencia de polvo. A pesar de ser menos intensa, es útil para la producción de energía fotovoltaica, porque las placas solares suelen capturar la radiación, aunque en mínimas cantidades. En otro contexto, en días con presencia de nubes, este tipo de radiación está más presente [13].

### 3.4.3. Radiación solar reflejada

La radiación reflejada, o también nombrada como albedo, es un tipo de radiación, que se refleja en la superficie terrestre de la tierra. Esta reflexión se da ya sea en el suelo, agua o en superficies como edificaciones y vías [13].

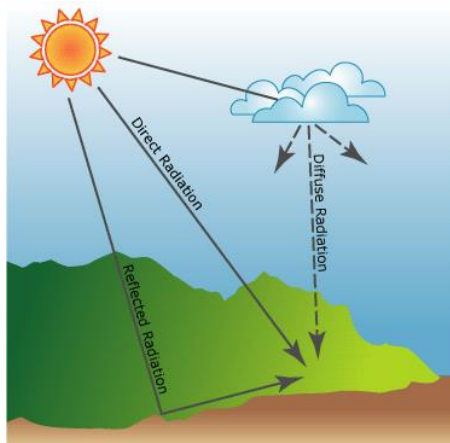


Figura 3.3. Tipos de radiación [14].

### 3.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-GRID

Los sistemas de generación solar Off-Grid también son conocidos como sistemas fotovoltaicos aislados porque operan de manera independiente a la red eléctrica convencional. Estos sistemas son eficientes para generar energía eléctrica en zonas rurales o aisladas donde la infraestructura eléctrica es complicada implementarla, ya sea por la dificultad del acceso o por falta de inversión de los gobiernos. Los elementos fundamentales que integran a estos sistemas son los paneles solares, baterías de almacenamiento, regulador de carga y principalmente un inversor para transformar la corriente continua en corriente alterna [15].

Los hogares que utilizan este sistema, lo ocupan necesariamente para usos básicos de bajo consumo de energía eléctrica como el uso de las luminarias, televisores, celulares, radio, ordenadores y tomas simples. Una de las ventajas primordiales de este sistema Off-Grid es la capacidad de proveer energía confiable en dichas zonas aisladas, lo que viene siendo una brecha radical al acceso de la energía eléctrica. Además, esta energía se acopla a la necesidad de cada persona, ya que estos pueden ser más robustos con mayor capacidad de cargabilidad [15].

En los primeros años de la aparición de esta novedosa manera de generación eléctrica, los sistemas fotovoltaicos eran costosos, pero al pasar del tiempo, hoy en día estos costos se han reducido notablemente, ya que el 2005 una sola placa solar costaba alrededor de 1200 dólares

lo que para el año 2022 se redujo cinco veces su valor nominal es decir que para 2022 cada panel solar llegó a costar aproximadamente 240 dólares [15].

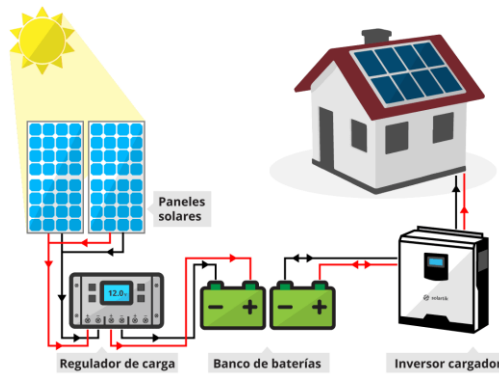


Figura 3.4. Componentes del sistema fotovoltaico [16].

### 3.6. PANELES SOLARES

Los paneles fotovoltaicos o también conocidos como módulos fotovoltaicos son los elementos fundamentales dentro de los sistemas fotovoltaicos, ya que estos equipos aprovechan todos los tipos de radiación solar existentes en la superficie terrestre, estos se encuentran desarrollados con muchas celdas fotovoltaicas que son su unidad base. Las celdas fotovoltaicas son mecanismos integrados con metales susceptibles a la radiación solar que se posicionan sobre estos, una vez que ocurre esto se produce la energía eléctrica. Estos están compuestos por un marco de aluminio, cristal, encapsulante, celdas solares, lámina posterior y una caja de conexiones [17].

Explícitamente, los fotones que se encuentran en la superficie terrestre emiten electrones y estos, al agruparse, producen corriente eléctrica en corriente continua. Por ello, las células se fabrican generalmente de silicio y aditamentos químicos, produciendo de esta manera entre 2 y 4 amperios y una tensión 0,46 a 0,48 voltios en DC [17].

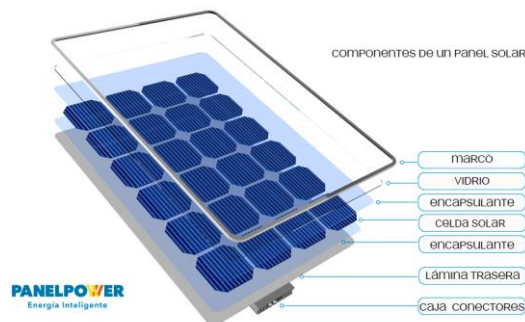


Figura 3.5. Componentes de un panel solar [18].

### 3.7. MODELOS DE PANELES SOLARES

Dentro del mercado existen una gran variedad de paneles solares y estos se clasifican de acuerdo al tipo de células y el uso al que se aplique. Entre los paneles más comunes se encuentran los siguientes:

#### 3.7.1. Monocristalinos

Los paneles monocristalinos son los más utilizados debido a que estos están fabricados con una alta pureza de silicio, y por ello poseen alrededor del 15% al 20% de eficiencia. Por lo cual, estos paneles son los más robustos que existen, con una gran eficiencia, vida útil y tamaño, además son fáciles de reconocer por sus bordes redondeados [19].



Figura 3.6. Panel solar monocristalino [19].

#### 3.7.2. Policristalinos

Estos paneles están hechos de múltiples cristales de silicio, y a diferencia de los módulos monocristalinos, estos tienen un menor espesor y, por ende, poseen un menor rendimiento cercano al 15%. Pero estos ocupan más espacio y no son una buena opción para lugares con altas temperaturas, ya que son más sensibles [20].



Figura 3.7. Paneles policristalinos [20].

### 3.8. BATERÍA

Para un sistema FV Off-Grid, el cual está especificado para funcionar sin la conexión a la red de manera autónoma, requiere fundamentalmente un elemento para almacenar la energía producida en las horas del día que aprovecha la radiación solar para su uso en la noche o en días nublados. Por tal motivo, un acumulador de energía eléctrica o batería recargable es empleado para transformar la energía eléctrica producida por los paneles en energía química y de manera inversa al momento de utilizarlo [21].

Las características principales que se determinan en una batería recargable son: La carga mínima de acuerdo al diseño, baja autodescarga, costo, simple mantenimiento, vida útil, eficiencia robusta y la durabilidad en condiciones externas. La vida útil de una batería se embarca de acuerdo con su manejo y cuidado. De acuerdo al uso, su durabilidad puede ser tres veces mayor a lo esperado, ya que el regulador de carga desempeña un rol importante en este proceso de carga, carga y sobrecarga, dando así una prolongación más larga de su vida útil [22].

Dentro de la fabricación se emplean diversos compuestos químicos en las baterías como los iones de litio, plomo ácido, níquel cadmio, níquel hierro, etc.



Figura 3.8. Batería de litio recargable Ultracell 100Ah-12V [22].

### 3.9. REGULADOR DE CARGA

El regulador se adapta a la batería conectada mediante un algoritmo específico que optimiza su funcionamiento y, por lo tanto, prolonga la vida de la batería, al mismo tiempo que puede considerarse como un sistema de protección contra las sobrecargas o tensiones excesivas, ya que se establece un nivel de energía que viene del campo fotovoltaico de acuerdo con el estado de carga de la batería en cada momento. Según el fabricante, estos reguladores pueden incorporar funciones adicionales, como pantallas externas, sistemas de comunicación, o incluso integrarse a los inversores multifunción tipo 3 en 1 [23].

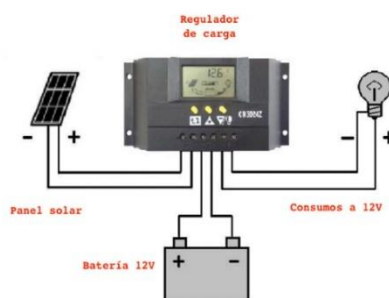


Figura 3.9. Regulador de carga [24].

### 3.9.1. Tipo de reguladores

#### 3.9.1.1. Regulador de carga PWM

El regulador de carga PWM (Modulación por Anchura de Pulso) se comporta interrumpiendo el flujo de energía del panel solar a la batería una vez que la batería ha llegado a su estado de carga completo. Para que el panel solar y la batería funcionen correctamente, deben presentar el mismo voltaje, es decir, que una batería de 12 V solamente puede ser cargada por un panel de 12 V, de lo contrario generará una serie de problemas [23].

Este regulador de carga fuerza al panel a trabajar con el voltaje que tiene la batería en cada uno de los estados en los que se va encontrando durante la carga, de modo que no se puede incorporar toda la energía disponible debido a que no se trabaja en el punto de máxima potencia del panel [23].

#### 3.9.1.2. Regulador MPPT

El regulador MPPT, comúnmente llamado maximizador, se halla estructurado para hacer un uso máximo de la producción de energía de los paneles solares. A comparación al PWM, este regulador trabaja para que el panel solar opere en su punto óptimo de rendimiento, logrando de esta manera la extracción máxima de potencia del mismo [23].

Este tipo de dispositivos cuentan con un sistema interno que transforma el voltaje superior que produce el panel en uno idóneo para poder cargar la batería, conservando la potencia total, pero elevando la corriente, lo que produce una carga más eficiente. Esta característica de adaptación hace que este regulador sea una excelente opción para alcanzar el mayor rendimiento posible de un sistema de energía solar y de este modo sería una buena opción para la gente que necesita hacer carga de baterías en sistemas de mediana o gran escala [23].

### 3.10. INVERSOR

El inversor de potencia realiza una conversión de corriente continua (DC) recibida de los paneles o almacenada en baterías en capacidad variable (AC) para que pueda usarse con equipos eléctricos. En la mayoría de los sistemas fotoeléctricos aislados, el inversor no está incluido, ya que muchos dispositivos pequeños que usan esta electricidad pueden funcionar directamente con DC. Además, los inversores están familiarizados con la reducción de la eficiencia, que es la más efectiva, que puede ofrecer una rentabilidad del 90%. En los sistemas de baja energía, la decisión de incluir o excluir a un inversor en función de los factores financieros, como los costos de los inversores, las pérdidas de energía relacionadas, la reducción de las pérdidas causadas por los altos cables, la disponibilidad y los costos de energía externos [25].



Figura 3.10. Inversor de onda pura 3000 W [26].

### 3.11. PVSYST

PVsyst es un tipo de software específico para el análisis, dimensionado y evaluación de sistemas fotovoltaicos que sirve para todo tipo de instalaciones solares, tales como sistemas conectados a la red, autónomos, de bombeo solar o redes de CC, como su propio nombre indica de corriente continua tal como ocurre en el transporte público. La potente base de datos meteorológica y la extensa base de datos de componentes fotovoltaicos que tiene lo convierten en una herramienta integral para los profesionales del sector o para la enseñanza; su interfaz y prestaciones están orientadas a arquitectos, ingenieros, investigadores y docentes que necesiten analizar el comportamiento del sistema solar con precisión [27].

PVsyst en su fase de diseño preliminar, permite llevar a cabo un dimensionado inicial del sistema a partir de la información general y sin especificar los componentes dentro de los cuales resulta sencillo realizar estimaciones rápidas de un rendimiento mensual o de estimar costos aproximados. En el caso de sistemas conectados a la red determinar el dimensionado inicial

puede proporcionar indicaciones en el trabajo de arquitectos en determinadas cuestiones como qué área, qué tecnología solar utilizar o cuál debe ser el objetivo en términos de inversión. En el caso de sistemas autónomos o de bombeo, PVsyst a partir del perfil de carga, de la demanda de agua o de la probabilidad de pérdida de carga, puede estimar el tamaño del sistema [27].

En lo que respecta a las particularidades de las aplicaciones, PVsyst proporciona la posibilidad de trabajar con sistemas interconectados con la red, asumiendo la red como una fuente de consumo ilimitado, aunque permite simular situaciones con autoconsumo, almacenamiento, recorte de picos y modo isla; dentro de los sistemas de manera autónoma, el diseño de la instalación se efectúa a partir de las exigencias del consumidor y en el caso de los sistemas de bombeo el diseño se basa en la necesidad hídrica y otros datos técnicos, por ejemplo, la profundidad de bombeo [28].

PVsyst cuenta con una base de datos meteorológica bastante completa, lo que permite por ejemplo definir sitios, crear series de datos sintéticos por horas o realizar comparativas con diferentes registros meteorológicos; el programa también incluye una base de datos de componentes fotovoltaicos que incluyen módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, bombeo, etc. También incluye herramientas gráficas y analíticas para estudiar la irradiación, optimizar la posición de los módulos o evaluar los efectos de las sombras parciales o el desajuste [28].

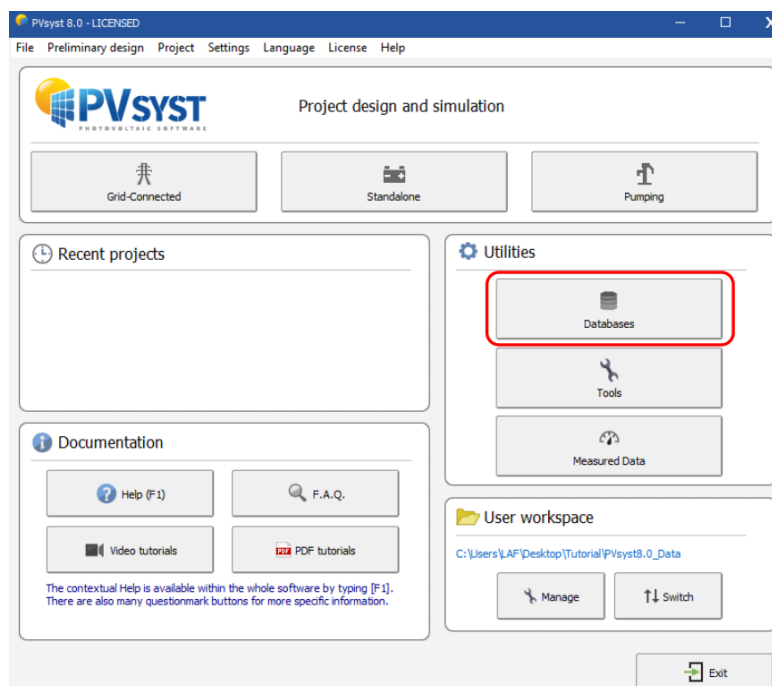


Figura 3.11. Interfaz del Software PVsyst [28].

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1.1. Método Exploratorio**

En el trabajo de investigación se ha recurrido a este método con el fin de reunir información fundamental sobre el comportamiento histórico de la radiación solar asociada a la zona de investigación. Parte de ello fue la consulta de estadísticas meteorológicas y fuentes especializadas, lo que permitió inferir sobre la viabilidad de la instalación de una planta fotovoltaica autónoma en la zona.

#### **4.1.2. Método Analítico**

Este método se empleó para realizar la descomposición de los aspectos técnicos y teóricos que basan la operativa de los sistemas fotovoltaicos autónomos. Gracias a esta metodología se estudió de manera exhaustiva el comportamiento de cada uno de los elementos del sistema fotovoltaico. Además, el análisis también incluyó una descripción crítica de la producción de energía y los principios de almacenamiento para comprender cómo las características individuales afectan el beneficio global de la instalación de la casa.

#### **4.1.3. Método Descriptivo**

Este método permitió detallar de una forma precisa las características de diseño e instalación del sistema FV a nivel de un ambiente residencial. Se detallaron aspectos como la ubicación de los paneles solares, la interconexión de los equipos eléctricos y la puesta en funcionamiento del sistema de almacenamiento. Se explicaron también sobre las instalaciones Off-Grid y el tipo de equipamiento utilizado que dieron lugar a un proceso de elección de los componentes utilizados. Esta descripción permitía a la comunidad tener una visión bastante clara acerca de la forma en que se llevó a cabo el proyecto a nivel práctico, permitiendo que a su vez esta sea reproducida.

### **4.2. TIPOS INVESTIGACIÓN**

#### **4.2.1. Investigación Documental**

Dicha investigación permitirá la recolección y análisis de la documentación bibliográfica y técnica sobre los sistemas de electricidad solar fotovoltaicos autónomos como trabajos previos, artículos científicos, documentación de los fabricantes, con el objetivo de adquirir una

fundamentación con base en los principios de funcionamiento, dimensionamiento y rendimiento de los equipos implicados. Toda esta información es determinante para establecer los criterios técnicos y normativos de referencia para el diseño del sistema a implementar.

#### **4.2.2. Investigación Experimental**

A fin de validar el rendimiento del sistema de energía solar en condiciones reales, se realizarán pruebas controladas para observar la radiación solar, el consumo eléctrico diario y capacidad de almacenamiento inciden en el propio comportamiento del sistema.

Las pruebas se llevarán a cabo manipulando parámetros como la inclinación de los paneles, autonomía de las baterías, etc., para obtener datos concretos de la eficiencia energética, capacidad de abastecimiento y respuesta a diferentes niveles de demanda domiciliaria.

#### **4.2.3. Investigación de Campo**

La investigación de campo se embarcó en la determinación de factores ambientales, disponibilidad de espacio, hábitos de consumo, características del entorno, etc. A través de esta investigación, fue posible registrar el funcionamiento del sistema en el día a día, detectar ajustes en él que pueden resultar adecuados y comprobar su viabilidad como solución para viviendas no conectadas a la red eléctrica.

### **4.3. FLUJOGRAMA DEL DESARROLLO METODOLÓGICO DEL PROYECTO**

A continuación, se presenta el flujograma en la Figura 4.1, el cual muestra de manera estructurada las fases que se desarrollarán para la implementación del sistema fotovoltaico Off-Grid en la vivienda piloto. En este esquema se describen los procesos técnicos y metodológicos que conforman el proyecto, abarcando desde la recolección de datos iniciales, incluyendo el análisis de la demanda energética, condiciones climáticas locales y características del sitio, hasta el dimensionamiento de los componentes del sistema, su instalación, y la posterior verificación del funcionamiento bajo condiciones reales de operación. Este enfoque secuencial permite asegurar la coherencia y validez técnica en cada etapa del diseño e implementación, garantizando así la eficiencia del sistema y su adaptación a las necesidades energéticas específicas de la vivienda.

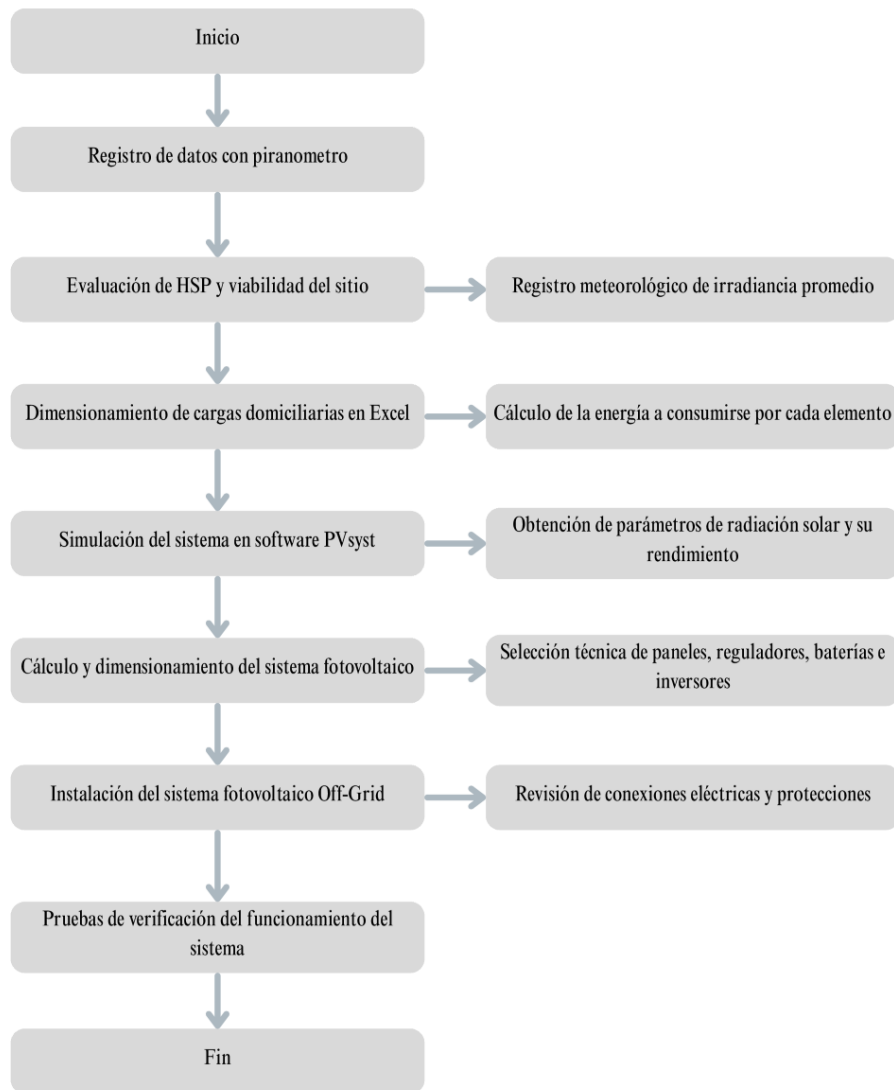


Figura 4.1. Flujograma del desarrollo del proyecto.

#### 4.4. FÓRMULAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS Y PARÁMETROS DEL SISTEMA

##### 4.4.1. Potencia aparente

La potencia aparente del sistema fotovoltaico se calcula a partir de la energía en corriente alterna que se desea cubrir, considerando las eficiencias de los componentes involucrados, como el inversor, la batería y el cableado, así como las horas solares pico disponibles (HSP). Esta relación se expresa mediante la Ecuación 1, lo que permite dimensionar adecuadamente la potencia requerida para garantizar un suministro energético eficiente y continuo [29].

$$P_A = \frac{E_{AC}}{\eta_{inv} * \eta_{bat} * \eta_{cab} * HSP} \quad (1)$$

En donde:

$P_A$ : Potencia aparente

$E_{AC}$ : Energía de la demanda

$\eta_{inv}$ : Eficiencia del inversor

$\eta_{bat}$ : Eficiencia de la batería

$\eta_{cab}$ : Eficiencia de autonomía

$HSP$ : Horas solar pico

#### 4.4.2. Inversor

La potencia del inversor se determina a partir de la potencia en corriente alterna que se requiere abastecer, considerando un factor de seguridad para cubrir posibles picos de demanda o pérdidas del sistema. Esta relación se expresa mediante la Ecuación 2, lo que garantiza un funcionamiento eficiente y confiable del inversor sin sobrecargas [29].

$$P_{in} = P_{ac} * FS \quad (2)$$

En donde:

$P_{in}$ : Potencia del inversor

$P_{ac}$ : Potencia de la demanda

$FS$ : Factor de seguridad

#### 4.4.3. Paneles solares

El número mínimo de módulos necesarios se determina tomando como base la potencia de generación ajustada a la evolución futura de la demanda, y la eficiencia del panel solar, para ello se aplica la Ecuación 3 [29].

$$N_p = \frac{P_{CA}}{P_P * Eficiencia_p} \quad (3)$$

En donde:

$N_p$ : Número de paneles solares

$P_{ac}$ : Potencia en corriente alterna

$Eficiencia_p$ : Eficiencia del panel solar

#### 4.4.3.1. Serie

Para determinar el número de paneles en serie se requiere el voltaje del controlador y el voltaje nominal del panel, para ello se aplica la Ecuación 4.

$$N_{ps} = \frac{V_C}{V_{np}} \quad (4)$$

En donde:

$N_{pp}$ : Número de paneles en paralelo

$V_C$ : Voltaje de la batería

$V_{np}$ : Voltaje nominal de los paneles

#### 4.4.3.2. Paralelo

Para obtener el número de paneles en paralelo se necesita la corriente del controlador y del panel, en base a esto se tiene la ecuación 5.

$$N_{pp} = \frac{I_C}{I_p} \quad (5)$$

En donde:

$N_{ps}$ : Número de paneles en serie

$I_C$ : Corriente del controlador

$I_p$ : Voltaje nominal de los paneles

#### 4.4.4. Controlador

La corriente máxima que debe soportar el regulador, se obtiene de la siguiente forma: multiplicando el número de paneles en paralelo por la corriente de cortocircuito de cada uno, utilizando su vez un factor de seguridad, asegurándose que el regulador no opere al límite e impidiendo que potencias cortas puedan ser la causa del sobrecalentamiento. Este cálculo se fundamenta a través de la Ecuación 6 [29].

$$I_{\text{máximaregulador}} = N_{pp} * I_{SC} * FS \quad (6)$$

En donde:

$I_{\text{máximaregulador}}$ : Máxima corriente del regulador

$N_{pp}$ : Cantidad de paneles solares en paralelo

$I_{SC}$ : Corriente de cortocircuito

$FS$ : Factor de seguridad

#### 4.4.5. Batería

La capacidad de la batería se determina en función de la energía en corriente alterna que se desea respaldar, considerando los días de autonomía, el voltaje nominal del banco de baterías y la profundidad máxima de descarga permitida. Esta relación se expresa mediante la Ecuación 7, lo que permite dimensionar correctamente el almacenamiento necesario para asegurar el suministro energético durante los periodos en los que no hay generación solar [29].

$$C_{bat} = \frac{E_{AC} * A}{V_{bat} * DoD} \quad (7)$$

En donde:

$C_{bat}$ : Capacidad de la batería

$E_{AC}$ :Energía de la demanda

$V_{bat}$ : Voltaje de la batería

$A$ : Autonomía

$DoD$ : Profundidad de descarga

#### 4.4.6. Conductor

Para empezar a determinar la sección de los conductores, tanto en corriente continua como alterna hay que tener en cuenta los límites máximos permisibles por caída de tensión y por límite térmico de conducción de corriente, es decir, la capacidad de conducción de corriente del conductor, de acuerdo con el tipo de cable seleccionado. Para poder llevar a cabo el cálculo para todos los casos ya descritos, se indicarán en las próximas fórmulas a utilizar.

Para ajustar el mínimo calibre en los conductores del lado de corriente continua, no se puede eludir la caída de tensión, teniendo así que este valor no debe superar el 3 % [30]. Dicha caída se calcula mediante la Ecuación 8.

$$S = 2 * \frac{l * I_{regulador}}{k * U} \quad (8)$$

En donde:

$S$ : Calibre del conductor

$I_{regulador}$ : Corriente del regulador

$U$ : Caída de tensión entre extremos

$K$ : El coeficiente de conductividad del material

En la Ecuación 9 se puede determinar la máxima caída de voltaje en tanto por ciento:

$$U = V_b * \mu \quad (9)$$

En donde:

$U$ : Caída de tensión

$V_b$ : Voltaje de la batería

$\mu$ : Umbral de caída de tensión

## 4.5. FÓRMULAS PARA EL CALCULO DE PROTECCIONES

### 4.5.1. Paneles

Para dimensionar adecuadamente la protección de los paneles solares, se calcula la corriente máxima que puede circular por el regulador. Esta corriente se multiplica por un factor de seguridad (FS) para garantizar que el sistema soporte sobrecargas eventuales sin comprometer la integridad del regulador. La Ecuación 10 permite seleccionar correctamente el calibre del fusible o disyuntor en el lado de los paneles [31].

$$I_p = FS * I_{máxima\ regulador} \quad (10)$$

Donde:

$I_p$ : Corriente de paneles

$FS$ : Factor de seguridad

$I_{m\acute{a}xima\ regulador}$ : Corriente máxima del controlador

#### 4.5.2. Batería

La protecci3n en el circuito de baterías se basa en la corriente máxima que el inversor puede demandar, la cual se obtiene al dividir su potencia nominal entre el voltaje del banco de baterías [31]. Posteriormente, se aplica un factor de seguridad para determinar la corriente de protecci3n final la cual se representa en la Ecuaci3n 11.

$$I_{m\acute{a}xima\ inversor} = \frac{P_{inversor}}{V_{bateria}}; I_b = FS * I_{m\acute{a}xima\ inversor} \quad (11)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}xima\ inversor}$ : Corriente máxima del inversor

$P_{inversor}$ : Potencia del inversor

$V_{bateria}$ : Voltaje de la batería

$I_b$ : Corriente de la batería

$FS$ : Factor de seguridad

#### 4.5.3. Inversor

La corriente máxima de carga del inversor se calcula dividiendo la potencia total del sistema entre el voltaje de entrada del inversor. Para seleccionar la protecci3n adecuada, se considera un margen adicional mediante un factor de seguridad, dando lugar a la Ecuaci3n 12, que asegura el correcto dimensionamiento del interruptor termomagnético del inversor [31].

$$I_{m\acute{a}xima\ carga} = \frac{P_s}{V_{inversor}}; I_{in} = FS * I_{m\acute{a}xima\ carga} \quad (12)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}xima\ carga}$ : Corriente máxima de carga

$P_s$ : Potencia del sistema

$V_{inversor}$ : Voltaje del inversor

$I_{in}$ : Corriente del inversor

$FS$ : Factor de seguridad

#### 4.5.4. Puesta a tierra

La resistencia del sistema de puesta a tierra se calcula para garantizar una descarga segura de corrientes de falla o descargas atmosféricas. Esta resistencia (SPT) se determina dividiendo el voltaje del sistema entre la corriente de falla esperada, asegurando que el sistema cuente con una referencia a tierra efectiva que minimice riesgos eléctricos para los usuarios y los equipos. Esta se determina por la Ecuación 13 [31]:

$$SPT = \frac{V_s}{I_s} \quad (13)$$

Donde:

$SPT$ : Resistencia de la puesta a tierra

$V_s$ : Voltaje del sistema

$I_s$ : Corriente del sistema

#### 4.6. FÓRMULA DE LA INCLINACIÓN

Para optimizar la captación de la radiación solar en un sistema fotovoltaico, es fundamental determinar el ángulo de inclinación adecuado de los paneles solares. Este ángulo influye directamente en el rendimiento energético, ya que permite maximizar la incidencia de los rayos solares sobre la superficie del módulo durante todo el año. La Ecuación 14 permite el cálculo de la inclinación [32].

$$\beta = 3.7 + (0.69 * LT) \quad (14)$$

Donde:

$\beta$ : Ángulo de inclinación

$LT$ : Latitud

#### 4.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN

##### 4.7.1. Ubicación del proyecto en Google Earth

Google Earth es una herramienta que permite la visualización del planeta en forma tridimensional, lo que también permite la exploración interactiva de diferentes partes del planeta. De esta plataforma, se tomó las coordenadas 0°51'49" S; 78°37'16" W, que es el punto específico donde se va a desarrollar la propuesta tecnológica.



Figura 4.2. Latitud y longitud de la ubicación del proyecto a través de Google Earth.

#### 4.7.2. Registro de la energía solar en la zona

Para la caracterización solar de la zona en la cual se establecerá el sistema, se han utilizado los datos satelitales de la NASA del año 2023. Estos datos permitieron reconocer aquellos períodos del año marcados por la mayor irradiación solar, siendo de vital importancia para estimar la energía energética disponible y asegurar un dimensionamiento correcto del sistema a implementar. En la tabla 4.1 se presentan los promedios de irradiación solar por cada mes del año 2023 y en la Figura 4.3 se apreció de mejor manera el comportamiento de este parámetro.

Tabla 4.1. Promedio de datos mensuales de la radiación solar del año 2023.

Año	Mes	Radiación Solar Promedio (kWh/m <sup>2</sup> -mes)
2023	Enero	3,88
	Febrero	3,92
	Marzo	3,64
	Abril	3,95
	Mayo	3,86
	Junio	4,06
	Julio	4,12
	Agosto	4,59
	Septiembre	4,92
	Octubre	4,35
	Noviembre	4,34
	Diciembre	3,84

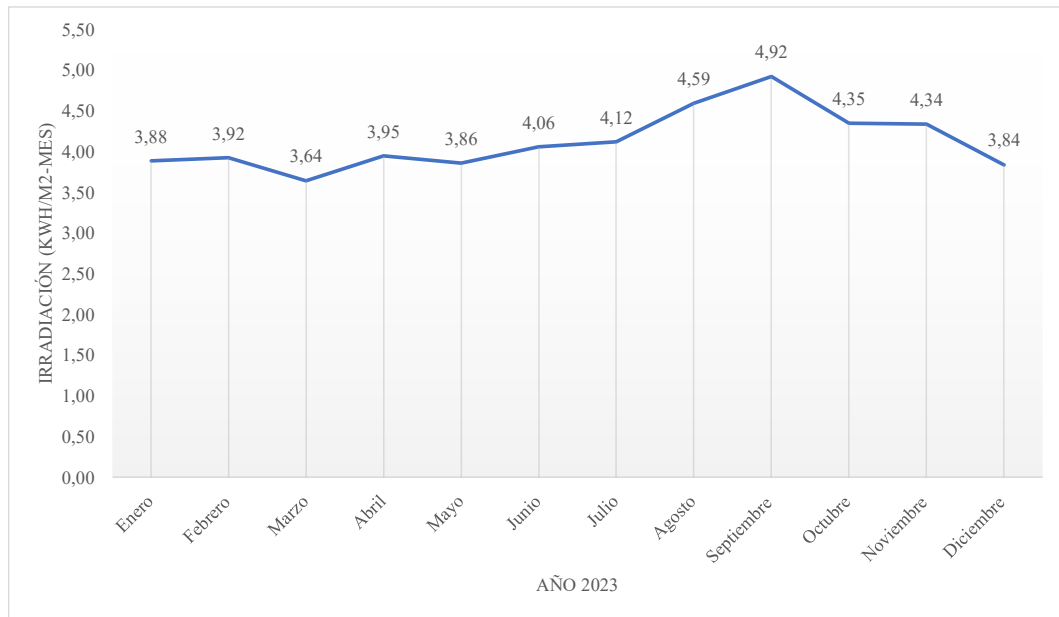


Figura 4.3. Gráfica del comportamiento mensual promedio de la radiación solar del 2023.

Las cifras aportadas muestran variaciones de la irradiación solar en todo el año, con registros que se encuentran entre 3,64 kWh/m<sup>2</sup> y 4,92 kWh/m<sup>2</sup>. El máximo valor de irradiación se dio en el mes de septiembre, el cual arrojó un valor igual a 4,92 kWh/m<sup>2</sup> y, en contrapartida, el valor más bajo se presenta en el mes de marzo, cuyo valor es de 3,64 kWh/m<sup>2</sup>. Esta información nos da a entender que la zona de estudio es factible para el desarrollo de la propuesta tecnológica.

#### 4.7.3. Datos medidos por el piranómetro

Para la recolección de los datos de la irradiación solar fue necesario contar con un equipo llamado piranómetro, con el cual se logró medir la irradiación solar hora por hora y día por día, específicamente los 31 días del mes de agosto del año 2024.

En la Figura 4.4 se puede visualizar el comportamiento de la irradiación solar del mes evaluado. Donde se obtuvo un pico máximo de 1974,00 Wh/m<sup>2</sup> alrededor de las 12 pm el 28 de agosto del 2024, por lo cual es evidente, ya que al medio día es el punto máximo en el que el sol emana mayor cantidad de radiación solar. Además, a base de los datos recolectados se determinó un promedio diario de HSP de: 5,10 kWh/m<sup>2</sup>.

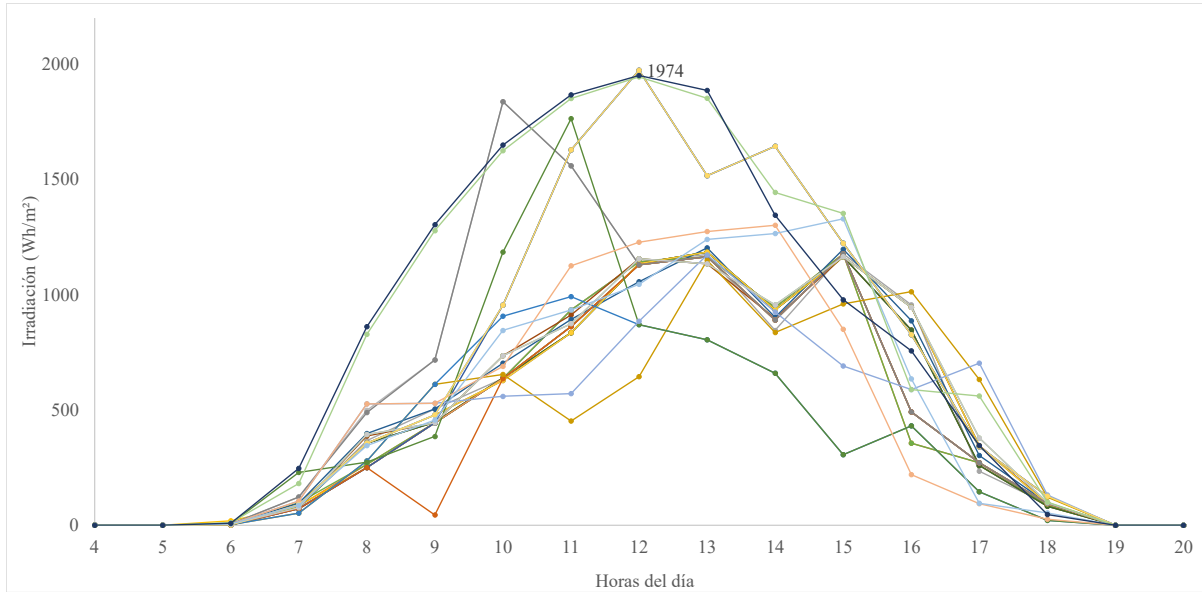


Figura 4.4. Registro del comportamiento de irradiación solar del mes de agosto del 2024.

#### 4.8. PLANOS DE LA VIVIENDA

A continuación, en las Figura 4.5 y 4.6 se muestran los planos eléctricos de la vivienda tanto de iluminación y fuerza respectivamente, además de sus circuitos y los elementos que los confirman.

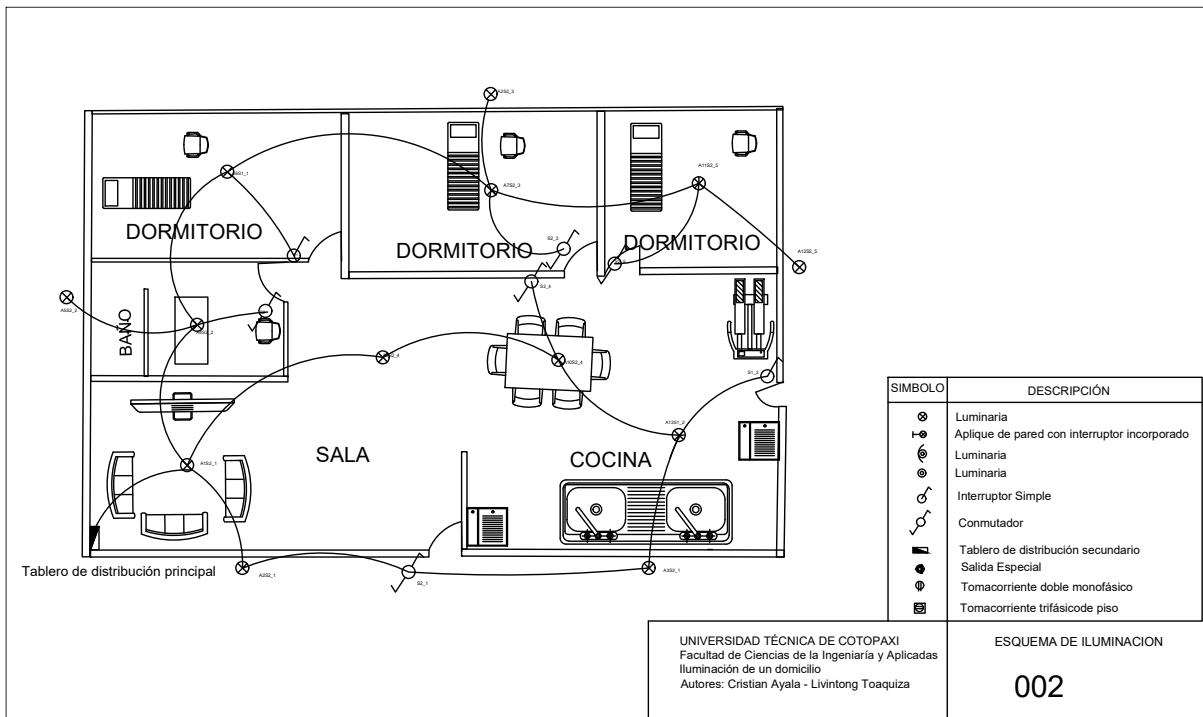


Figura 4.5. Plano de iluminación de la residencia.

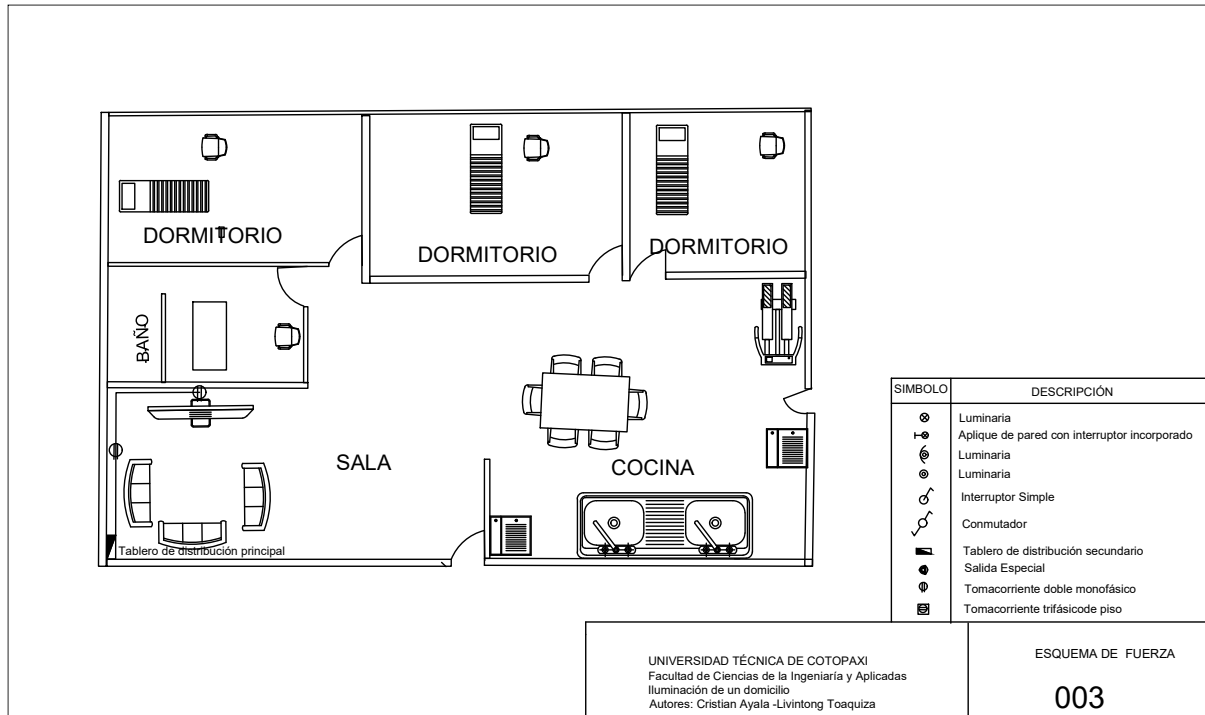


Figura 4.6. Plano de fuerza de la residencia.

La vivienda consta de un solo circuito de iluminación conformado de 13 puntos y distintos interruptores simples y dobles. Por otro lado, el sistema de fuerza se integra de 2 tomas eléctricas cada una con espacio para dos servicios.

#### 4.9. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA FV

##### 4.9.1. Identificación de la demanda eléctrica para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Con el objetivo de realizar el correspondiente dimensionamiento del sistema de manera adecuada, fue imprescindible certificar la carga eléctrica diaria correspondiente a la vivienda piloto. Para ello se realizó un inventario de los equipos eléctricos utilizados en el día a día, teniendo en cuenta su potencia unitaria, el número de unidades, el número de horas de uso medio diario y el consumo eléctrico resultante. Toda esta información se puede visualizar en la Tabla 4.2.

Los equipos que más influyen en el consumo eléctrico son las computadoras con una demanda de 360,00 Wh diarios y las televisiones con 300,00 Wh, así como otros dispositivos de menor carga y la iluminación. Esta información se determinó para el cálculo de la capacidad del banco de baterías, la potencia de los paneles solares necesarios y la autonomía del sistema eléctrico.

Tabla 4.2. Cargas específicas de la vivienda rural.

Equipos	Potencia (W)	Horas de uso	Energía (Wh)	FS	Energía*FS (Wh)
Ilu. Cocina	9,00	4,00	36,00	1,10	39,60
Ilu. Sala	27,00	3,00	81,00	1,10	89,10
Ilu. Baño	9,00	2,00	18,00	1,10	19,80
Ilu. Dormitorio	36,00	3,00	108,00	1,10	118,80
Ilu. Patio	36,00	2,00	72,00	1,10	79,20
Tv	75,00	4,00	300,00	1,10	330,00
Computadoras	90,00	4,00	360,00	1,10	396,00
Parlante	14,00	2,00	28,00	1,10	30,80
Celulares	30,00	2,00	60,00	1,10	66,00
<b>Totales</b>	<b>326,00</b>		<b>1063,00</b>		<b>1169,30</b>

A base de estos datos se determinó que la energía a consumirse es de 1,17 kWh de acuerdo con un factor de seguridad de 1,10. Con el cálculo de la demanda se dimensionan todos los elementos del sistema para garantizar el óptimo rendimiento del proyecto.

A partir del cálculo del consumo energético del sistema de 1169,30 Wh y la consideración de la eficiencia de los componentes del sistema, se estimó la potencia aparente.

$$P_A = \frac{1169,30}{0,95 * 0,90 * 1,00 * 5,10} = 268,16 \text{ W} \quad (15)$$

Para el cálculo anterior, se consideró una eficiencia del 95 % para el inversor; 90 % para el banco de baterías; el 1,00 que representa un día de autónoma y adicionalmente se consideró un promedio de 5,10 kWh/m<sup>2</sup> (HSP). De esta forma se determina la potencia aparente del sistema con un valor de 268,16 W.

#### 4.9.2. Dimensionamiento del número de paneles solares

Conociendo la potencia alterna necesaria, se procede a calcular el número de módulos solares, a base de la potencia del panel solar de 200 W con su eficiencia de 0,90. Estos módulos garantizarán el funcionamiento del sistema a lo largo del día.

$$N_p = \frac{268,16}{200,00 * 0,90} = 1,49 \approx 2,00 \quad (16)$$

Una vez determinada la cantidad de paneles solares, se procede a dimensionar la mejor configuración en cuanto al número de paneles en serie y paralelo, con un voltaje de 12 V del controlador, 18,92 V de los paneles, 30 A de la corriente del controlador y 10,57 A de la corriente nominal del panel.

$$N_{ps} = \frac{12,00}{18,92} = 0,63 \quad (17)$$

$$N_{pp} = \frac{30,00}{10,57} = 2,83 \quad (18)$$

Como se puede observar, la mejor configuración es en paralelo, ya que ahí se ajustan la cantidad de paneles solares determinados anteriormente.

#### 4.9.3. Dimensionamiento del controlador

Conociendo el número de paneles solares y su configuración se puede determinar el amperaje que debe soportar el controlador, sabiendo que el cortocircuito de los paneles es de 11,62 A y que el factor de seguridad es del 1,10.

$$I_{\text{máximaregulador}} = 2,00 * 11,62 * 1,10 = 25,56 \approx 30 \text{ A} \quad (19)$$

De esta manera es correcto implementar un controlador con una capacidad nominal de 30 amperios para que el sistema funcione adecuadamente.

#### 4.9.4. Dimensionamiento del banco de baterías

En esta sección se define la capacidad necesaria de la batería que permitirá el almacenamiento adecuado de la energía generada por el sistema. Dicho cálculo se establece por la energía de la demandada, el voltaje nominal de la batería a utilizar, la profundidad de descarga permitida y la eficiencia en días del sistema.

$$C_{bat} = \frac{1063,00 * 1,00}{12,00 * 0,80} = 110,73 \text{ Ah} \quad (20)$$

Entonces se instalará una batería en serie con una capacidad de 120 Ah.

#### 4.9.5. Dimensionamiento del inversor

Para determinar la potencia del inversor se toma en cuenta dos aspectos fundamentales para su dimensionamiento, los mismos son la potencia aparente y el factor de seguridad.

$$P_{in} = 268,16 * 1,2 = 321,79 \text{ W} \quad (21)$$

Por lo tanto, la potencia del inversor debe ser igual o superior a 321,79 W. Pero para este estudio se implementará un inversor con una potencia real de 1000 W, con el fin de garantizar un margen adecuado de seguridad, confiabilidad y capacidad de expansión futura

**4.9.6. Dimensionamiento del conductor desde el módulo fotovoltaico hasta el regulador**

En este apartado se establece la sección del conductor eléctrico que establece la conexión entre las salidas de los módulos fotovoltaicos que se encargan de la transformación de energía y el regulador de carga. Se debe tener en cuenta que el sistema posee un voltaje de 12 V y que los valores de caída de tensión no deben ser mayores al 3 %. Una correcta elección del conductor eléctrico garantizará una buena parte de la transmisión de energía, evitando pérdidas por resistencia y seguridad del sistema durante su funcionamiento.

- Caída de tensión

$$U = 12 V * 0,03 = 0,36V \quad (22)$$

- Sección del calibre

$$S = 2 * \frac{3 m * 25,56}{\frac{56m}{\Omega mm^2} * 0,36 V} (mm^2) = 7,06 (mm^2) \quad (23)$$

Entonces se determina que se requiere un cable 10 AWG y este conductor asegurara el óptimo funcionamiento del sistema.

**4.9.7. Dimensionamiento del conductor del regulador hacia la batería**

Este apartado corresponde al cálculo del calibre que se va a utilizar para el conductor que va desde el regulador al banco de baterías. En este dimensionamiento se utilizan factores como la máxima corriente de carga, la longitud, el voltaje nominal del sistema y el coeficiente de conductividad que este caso es de cobre =  $56 m/\Omega mm^2$ .

- Caída de tensión

$$U = 12 V * 0,01 = 0,12V \quad (24)$$

- Selección del calibre

$$S = 2 * \frac{1 m * 25,56}{\frac{56m}{\Omega mm^2} * 0,12 V} (mm^2) = 7,60 (mm^2) \quad (25)$$

Con ello se concluye que se necesita un conductor 10 AWG para garantizar una buena operación del sistema FV.

#### 4.9.8. Dimensionamiento de protecciones para el sistema

En esta sección de la investigación se determina la selección correcta de protecciones eléctricas para cada una de las fases del sistema fotovoltaico Off-Grid que se plantea. El dimensionado de protecciones incluye la adecuada instalación de fusibles, interruptores automáticos o disyuntores o protectores de sobretensiones, ya sean de corriente continua, alterna o bien mixtas.

##### 4.9.8.1. Protección para el módulo solar

$$I_p = 1,1 * 27,888 = 30,676 \approx 32 A \quad (26)$$

Para proteger de cualquier eventualidad el módulo solar se requiere instalar un breaker de un polo a 32 amperios.

##### 4.9.8.2. Protección para las baterías

$$I = \frac{800 W}{24 V} = 33,33A \quad (27)$$

$$I_p = 1,1 * 33,33 = 36,66 \approx 50 A \quad (28)$$

Se ubicará una protección de 50 A al banco de baterías, ya que es uno de los elementos principales del sistema. Este breaker soporta las altas corrientes y actúa de manera eficaz ante una sobrecarga.

##### 4.9.8.3. Protección del inversor a la carga

$$I = \frac{326 W}{110 V} = 2,96 \quad (29)$$

$$I_p = 1,1 * 2,96 = 3,25 \approx 4 A \quad (30)$$

La protección para el inversor es de 4 A, dado que este tipo de protecciones no existen comúnmente en el mercado se ocupará uno de 6A.

##### 4.9.8.4. Sistema puesta a tierra

$$SPT = \frac{V_s}{I_s} = \frac{110}{4,5} = 24,44 \quad (31)$$

De acuerdo con el cálculo, la resistencia es de 24,44  $\Omega$ , lo cual es aceptable para este sistema, porque este valor se encuentra en el rango admisible de SPT para las viviendas de baja tensión según la NOM-001-SEDE-2012, la cual menciona que el rango máximo de resistencia en BT es de 25  $\Omega$ .

#### 4.9.9. Cálculo de la inclinación

$$\beta = 3.7 + (0.69 * 0.51) = 4.05^\circ \quad (32)$$

En base al resultado obtenido  $4.05^\circ$  es coherente con sistemas fotovoltaicos instalados en zonas tropicales, como ocurre en gran parte de Ecuador, donde la latitud es cercana a  $0^\circ$ , facilitar la autolimpieza por lluvia, evitando acumulación de polvo o suciedad y Reduce el sombreado entre filas de paneles, permitiendo una mayor densidad de instalación en techos planos. Dado que en zonas ecuatoriales no hay una gran variación estacional de la trayectoria solar, mantener una inclinación cercana a horizontal maximiza la captación global sin necesidad de ajustar el ángulo en distintas estaciones [32].

#### 4.9.10. Angulo Azimut

Para nuestra proyección el azimut corresponde al ángulo en que está rotando, considerando el norte. Cuando se tiene un azimut igual a  $0^\circ$  se refiere a que el panel está en dirección hacia el Norte,  $90^\circ$  para el Este,  $-90$  a el Oeste y  $180^\circ/-180^\circ$  para el Sur. Los paneles solares pueden obtener la mayor cantidad de radiación solar posible [32].

#### 4.9.11. Elementos principales del sistema

#### 4.9.12. Módulos Solares

Se optó por el uso de paneles solares monocristalinos debido a su elevado nivel de eficiencia energética en comparación con otros tipos de módulos fotovoltaicos, como los policristalinos o de capa delgada. Esta tecnología permite un mejor aprovechamiento del recurso solar, especialmente en condiciones de espacio limitado, lo cual resulta ideal para aplicaciones domiciliarias. En este proyecto se implementaron dos paneles de 200 W de potencia nominal cada uno, con dimensiones aproximadas de 1,63 m de largo por 0,68 m de ancho, ocupando un área instalada total de 1,7 m de largo por 1,3 m de ancho.

La potencia conjunta de estos módulos está diseñada para cubrir la demanda energética estimada de los habitantes de la vivienda piloto, garantizando un suministro eficiente y continuo durante las horas de irradiación solar disponibles. En la Tabla 4.3 se detallan las especificaciones técnicas de los paneles empleados, evidenciando su idoneidad para el sistema fotovoltaico Off-Grid diseñado en este estudio.

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas de los paneles solares.

Especificaciones técnicas de los módulos solares	
Marca	MJLED
Peso	10 Kg
Potencia	200 W
Color	Negro
Voltaje nominal	18,92 V
Corriente	10,57 A
Dimensiones	1,63 m*68 cm
Marco	Aleación de aluminio anodizado 35 mm
Garantía	10-25 años
Conector	MC4
Tipo celdas	Monocristalino
Eficiencia de conversión	≥20%



Figura 4.7. Implementación de paneles solares en el techo de la vivienda.

#### 4.9.12.1. Controlador de carga

Se adquirió un regulador de carga de 200 W a 30 A, con base en los cálculos realizados anteriormente. Este equipo es del tipo PWM, ya que regula el flujo de energía entre los módulos solares y el banco de baterías. Sus características técnicas se hallan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Características técnicas del controlador de carga

Especificaciones técnicas del controlador de carga	
Marca	QP ELECTRÓNICA
Modelo	Genérico PWM
Tipo	Controlador Solar PWM
Voltaje nominal del sistema	12/24 V DC
Corriente carga nominal	30 A
Máxima potencia entrada fotovoltaica	200 W/ 12V
Tipo de batería compatible	AGM, GEL sellado o abierta



Figura 4.8. Controlador de carga instalado en el hogar piloto.

#### 4.9.13. Inversor

Se optó por un inversor de 1000 W de potencia nominal con una salida de voltaje de 110 V y de onda pura, ya que la vivienda contempla cargas comunes para su uso cotidiano. Este elemento cuenta con una eficiencia del 95 %, por lo cual es aceptable para garantizar un cambio de corriente continua a corriente alterna y de esta manera no interrumpir el suministro de energía. En la Tabla 4.5 se divisan las distintas características del inversor empleado para el proyecto.

Tabla 4.5. Distinciones del Inversor Cantonape.

Especificaciones técnicas del inversor	
Marca	Cantonape
Número de modelo	7,46363E+11
Voltaje nominal entrada	12 V DC
Rango voltaje entrada	12/24 V DC
Voltaje de salida	110 V AC
Potencia continua de salida	1000 W
Onda de salida	Onda sinusoidal pura
Eficiencia	95 %



Figura 4.9. Instalación del inversor Cantonape.

#### 4.9.13.1. Baterías

Para el almacenamiento de energía del sistema FV se eligió una batería de la marca ULT, de gel de ciclo profundo modelo GE120-12 la cual posee un voltaje nominal de 12 V y una capacidad de 120 Ah, diseñada para aplicaciones que requieren descargas constantes y prolongadas, de tal forma que tendrá un almacenamiento eficiente para luego poder utilizarlo.

A continuación, en la Tabla 4.6 se presentan sus características técnicas.

Tabla 4.6. Características técnicas de la batería ULT.

Especificaciones técnicas de la batería	
Marca	ULT
Número de modelo	GE120-12
Tipo	Gel ciclo profundo
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal	120 AH
Peso	32 Kg
Eficiencia	90%
Ciclo de vida útil	1200-1500 ciclos
Temperatura de operación	20°C a 50°C
Dimensiones	41 cm*17cm alto = 22cm



Figura 4.10. Conexión del banco de baterías.

#### 4.10. PLANO DEL SISTEMA FV

Bajo el dimensionamiento de paneles, baterías, controlador de carga, inversor, cables y protecciones, se diseñó el esquema unifilar, el cual muestra de forma clara cómo se conectan todos los componentes del sistema.

Este esquema es una guía técnica que permite reconocer cómo está diseñado el sistema, además se muestra el tipo de cables y protecciones eléctricas que se van a emplear. La Figura 4.11 evidencia este diagrama y contribuye también al montaje del sistema.

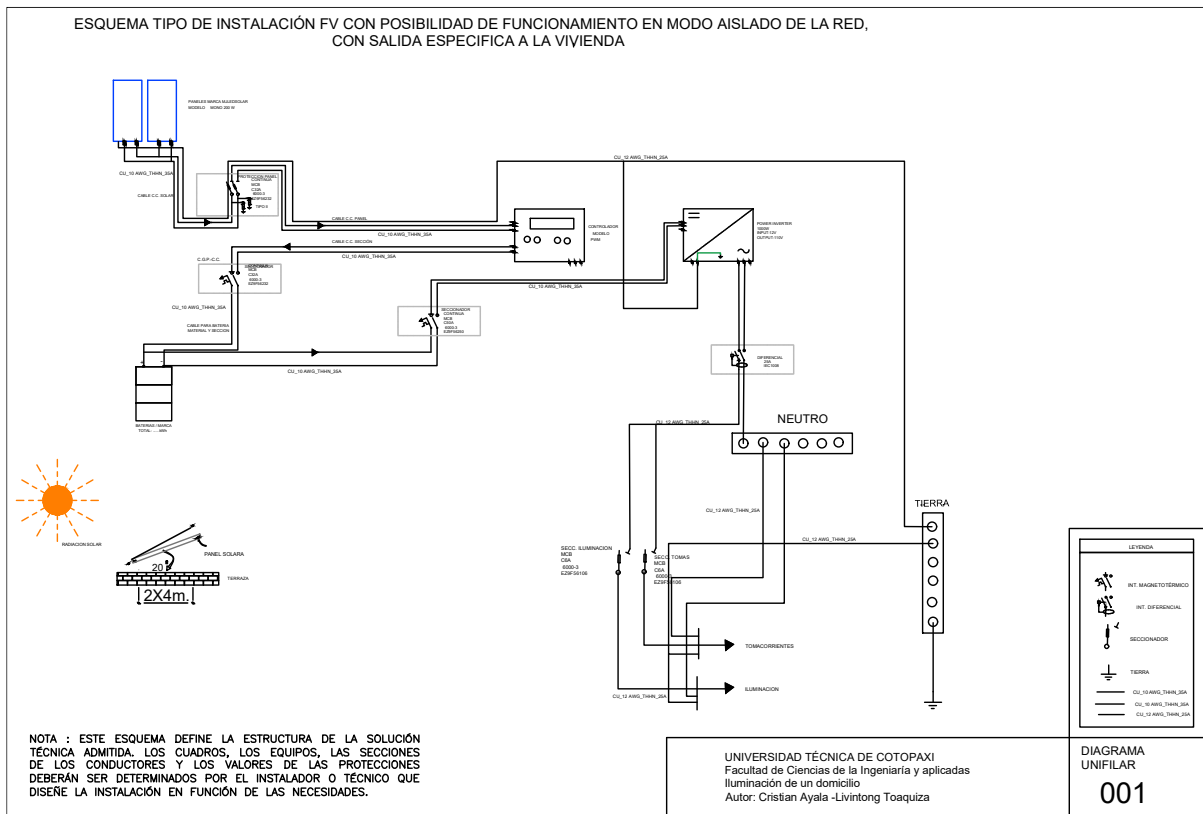


Figura 4.11. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MEDIANTE EL SOFTWARE PVSYST

El Pvsyst se utilizó por sus especificaciones avanzadas que ayudan a simular el funcionamiento de un sistema FV con diferentes datos medioambientales, por tanto, facilita la consideración técnica del rendimiento energético a base de la localización, la orientación de los paneles y la configuración del sistema, por lo tanto, es indispensable para el proyecto.

### 5.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL SISTEMA POR EL SOFTWARE PVSYST

Con la simulación que se llevó a cabo mediante el software Pvsyst, se obtuvieron los principales parámetros que nos permitieron evaluar las prestaciones del proyecto propuesto para un sistema off-grid en una vivienda sin acceso a la energía eléctrica convencional, mismos que se muestran en la Tabla 5.1.

En el caso del sistema, se obtuvo una energía útil del sol de 365,90 kWh/año y una energía solar disponible que alcanzó 484,91 kWh/año. Se observó una energía ausente de 64,80 kWh/año, equivalente a aquellos momentos en los que la producción no ha llegado a cubrir la demanda; a su vez, se vio un excedente de 85,99 kWh/año no utilizado.

La producción específica obtenida, de 915 kWh/kWp/año, se encuentra dentro de un rango aceptable para sistemas fotovoltaicos Off-Grid instalados en zonas con irradiación media, lo cual indica un aprovechamiento razonable de la energía solar disponible. La proporción de rendimiento (PR) del 60,64 % refleja el desempeño real del sistema frente a su rendimiento teórico ideal, considerando las pérdidas asociadas a factores como temperatura, eficiencia del inversor, pérdidas en cableado y almacenamiento en baterías. Aunque este valor podría parecer moderado, es característico en sistemas autónomos debido a las conversiones múltiples y limitaciones de almacenamiento energético. Por otro lado, la fracción solar (SF) del 84,95 % representa el porcentaje de la demanda energética total que fue cubierta efectivamente por el sistema fotovoltaico. Este resultado es altamente satisfactorio, ya que demuestra que el sistema diseñado logra abastecer una gran parte del consumo eléctrico de la vivienda piloto, minimizando la dependencia de fuentes auxiliares y mejorando la autosuficiencia energética.

Todo esto nos permite ver el comportamiento energético que el sistema ha mostrado en un entorno domiciliario, pudiendo comprobar la energía generada, así como el aprovechamiento de la energía solar generada.

Tabla 5.1. Resumen de resultados del PVsyst.

Resumen de resultados					
Energía solar utilizable	365.90 kWh/año	Producción específica	915 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	60.64 %
Energía faltante	64.80 kWh/año	Energía solar disponible	484.91 kWh/año	Fracción solar SF	84.95 %
Exceso (sin usar)	85.99 kWh/año				

### 5.3. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA FV

Para modelar el sistema en PVsyst se empleó elementos genéricos con características técnicas parecidas a los equipos reales del proyecto, ya que no se cuenta con el software completo. El sistema está compuesto por dos paneles tipo Aleo\_Elegante de 200 Wp cada uno, configurados en paralelo, generando de esta manera una potencia nominal de 400 Wp bajo condiciones normales. A temperaturas elevadas cerca de 50 °C, la potencia generada es aproximadamente de 360 Wp, con una tensión de 20 V y amperaje de 18 A.

Por otro lado, el módulo de baterías está formado por una batería tipo gel de plomo-ácido sellada, modelo S12-160 AGM, conectadas en serie al sistema, de modo tal que presentan una capacidad total nominal a 12 V del orden de 122 Ah. Con este sistema se obtiene una energía útil de 1.3 kWh para una tasa de descarga (SOC) mínima del 10%.

El regulador empleado durante la simulación es un controlador EcoBoost MPPT EB, con un coeficiente de temperatura de  $-5,0 \text{ mV}/^\circ\text{C}/\text{elemento}$ , y eficiencias de 96 % y 95,4 % para MAXI y EURO, respectivamente. Además, la gestión del estado de carga (SOC) queda determinada por los siguientes umbrales: carga a 15,2/12,4 V y descarga a 11,1/12,0 V. En la tabla 5.2 se especifican estos datos técnicos.

Tabla 5.2. Características de los elementos del sistema en PVsyst.

Características del generador FV			
Módulo PV		Controlador	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	Aleo_Elegante / 200	Modelo	EcoBoost MPPT EB-MPPT-30M 12V
(Base de datos PVsyst original)		Tecnología	Convertidor MPPT
Unidad Nom. Potencia	200 Wp	Coef. temp.	-5.0 mV/°C/Elem.
Número de módulos FV	2 unidades	Convertidor	
Nominal (STC)	400 Wp	Eficiencias máxi y EURO	96.0/95.4 %
Módulos	2 cadena x 1 En serie	Control de gestión de la batería	
En cond. de funcionam. (50°C)		Comandos de umbral como	Cálculo SOC
Pmpp	360 Wp	Cargando	SOC = 0.96/0.80
U mpp	20 V	aprox.	15.2/12.4 V
I mpp	18 A	Descarga	SOC = 0.10/0.35
Batería		aprox.	11.1/12.0 V
Fabricante	Generic		
Modelo	S12-160 AGM		
Tecnología	Plomo-ácido sellado AGM		
Núm. de unidades	1 Unidad		
Descarga mín. SOC	10.0 %		
Energía almacenada	1.3 kWh		
Características del paquete de baterías			
Voltaje	12 V		
Capacidad nominal	122 Ah (C10)		
Temperatura	Temperatura ambiente exterior		
Potencia FV total			
Nominal (STC)	0.400 kWp		
Total	2 módulos		
Área del módulo	3.0 m <sup>2</sup>		

#### 5.4. PÉRDIDAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En el diseño del sistema de energía solar simulado con PVsyst, se detectaron diferentes problemas que afectan a la generación; una de ellas, de las más importantes, fue la pérdida térmica, que es una consecuencia del incremento de la temperatura que sufren los módulos solares cuando reciben la irradiación.

La pérdida más significativa es la pérdida por el diodo en serie, que equivale a un 3,2 %, debido a una caída de tensión de 0,7 V cuando la corriente fluye a través del sistema. Esta pérdida es perfectamente normal, ya que ocurre debido al diseño interno del módulo para protegerlo de daños causados por la sobrecarga. Las pérdidas por cableado en corriente continua son del 1,5 %, datos que son razonables si tenemos en cuenta las características del sistema y la resistencia total del arreglo es de 18 mΩ. Las pérdidas por desajuste de módulos se sitúan en un 0,5 %, por lo que podemos afirmar que los paneles tienen buena uniformidad a la hora de suministro de energía. El análisis evidencia una pérdida negativa del -0,63 % por calidad del módulo, lo que implica que los paneles fotovoltaicos superan levemente su rendimiento nominal, algo que contribuirá de forma positiva al rendimiento global del sistema. En la tabla 5.3 se muestran estos resultados.

Tabla 5.3. Pérdidas del sistema determinado por PVsyst.

Pérdidas del conjunto					
Factor de pérdida térmica		Pérdidas de cableado CC		Pérdida diodos serie	
Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	18 mΩ	Caída de tensión	0.7 V
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. de pérdida	1.50 % at STC	Loss Fraction	3.2 % at STC
Uv (viento)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s				
Pérdida de calidad módulo		Pérdidas de desajuste de módulo		Pérdidas de desajuste de cadenas	
Frac. de pérdida	-0.63 %	Frac. de pérdida	0.00 % at MPP	Frac. de pérdida	0.50 % at MPP

Con base en los resultados obtenidos en el informe de simulación de PVsyst, se evidenció que las pérdidas asociadas al ángulo de incidencia de la radiación solar (IAM) aumentan considerablemente cuando el ángulo entre los rayos solares y la superficie del panel se aleja de la perpendicular. A 0° de incidencia, el factor IAM es de 1.000, lo que indica un aprovechamiento completo de la radiación solar. Sin embargo, a 70°, dicho valor disminuye a 0.862, y a 90° se reduce a 0, reflejando una pérdida total de energía aprovechable. En este contexto, se decidió instalar los paneles con una inclinación de 20° respecto al suelo, ya que esta configuración representa un compromiso técnico adecuado entre el ángulo óptimo de

captación solar y las condiciones físicas del lugar de instalación. Esta inclinación permite minimizar las pérdidas por efecto IAM durante la mayor parte del día y del año, asegurando una captación eficiente de la irradiancia directa y difusa. La Tabla 5.4 muestra los factores de pérdida por ángulo de incidencia, lo que respalda la decisión tomada y demuestra que el diseño ha sido optimizado para reducir pérdidas ópticas y maximizar la eficiencia del sistema.

Tabla 5.4. Factor de pérdida por incidencia angular IAM por PVsyst.

Factor de pérdida IAM								
Efecto de incidencia (IAM): Vidrio liso Fresnel, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.402	0.000

### 5.5. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN FUNCIÓN DEL USO DOMÉSTICO

En la vivienda seleccionada para la ejecución del proyecto se identificaron los principales elementos que están constituyendo la carga diaria de la electricidad. En total fueron detectadas 13 lámparas con tecnología LED de 9 W de uso, durante 4 horas en promedio a diario, constituyendo, así, un total de 468 Wh/día. Para el sistema de entretenimiento se considera la utilización de un televisor de 75 W, también con un uso de 4 horas diarias, lo que da un consumo de 300 Wh/día. En la zona de trabajo o estudio, encontramos dos equipos informáticos con una potencia de 45 W cada uno, que son utilizados en 4 horas diarias, resultando en 360 Wh/día.

Además, se identificó un parlante que es utilizado durante 2 horas al día, con una potencia de 14 W, lo que representa un consumo de 28 Wh diarios. Por último, la energía total diaria es de 1180 Wh/día (1,180 kWh), teniendo esto en cuenta para el dimensionado del sistema FV off-grid. Esta demanda se considera para identificar el tamaño del banco de baterías, el número de módulos fotovoltaicos y la potencia del inversor. Además, en la Figura 5.1 se presenta el comportamiento de la fracción de energía diaria con relación a la distribución horaria del día.

Tabla 5.5. Necesidades detalladas del usuario en el PVsyst.

Necesidades detalladas del usuario				
	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o flúor)	13	9/lámpara	4.0	468
TV	1	75/apar.	4.0	300
Computadora	2	45 apar.	4.0	360
Parlante	1	14 tot	2.0	28
Energía diaria total				1180

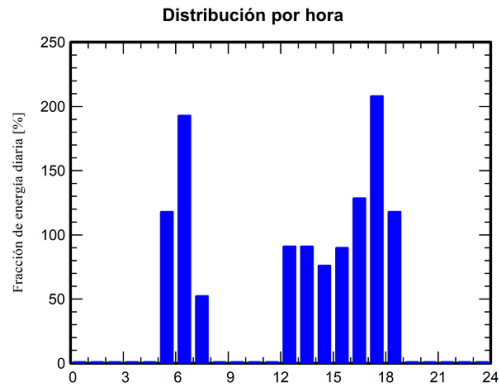


Figura 5.1. Fracción de energía diaria de las cargas del sistema.

### 5.5.1. Producción estandarizada por cada kilovatio instalado, relación de rendimiento y balances de resultados.

La Figura 5.2 ilustra cómo se ha ido dando la producción energética normalizada para cada kWp instalado a lo largo de los 12 meses, separando diferentes partes del subsistema. La mayor parte de la producción energética se dirige al consumo de los usuarios, la cual se representa en marrón y tiene un valor promedio de 2.51 kWh/kWp/día. Esta es la energía útil del lugar.

Al margen de la energía útil también existe el componente de la pérdida y este último se divide en tres partes. En primer lugar, existe la pérdida de captación, que aparece en lila, de 0.68 kWh/kWp/día y que obedece a aspectos del proceso de conversión de la energía que llega de los paneles. En segundo lugar, el componente de pérdida del sistema y del proceso de carga del sistema, que aparece en verde y suma un total de 0.36 kWh/kWp/día. Y, en tercer lugar, la energía no utilizada cuando la batería está llena, que se observa en azul, es de 0.59 kWh/kWp/día.

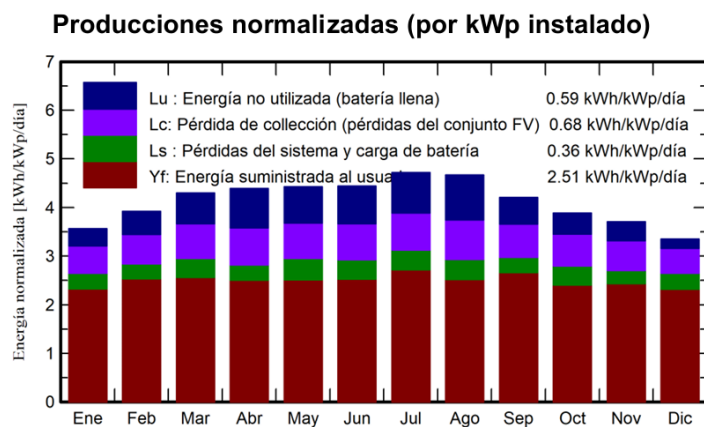


Figura 5.2. Representación gráfica de la producción normalizada por kW del PVsyst.

La Figura 5.3 muestra la secuencia que sigue de forma mensual la proporción de rendimiento (PR) con la fracción solar (SF) del sistema autónomo de energía fotovoltaica basado en todo el año. El PR de color marrón mide la eficiencia global del sistema, considerando las pérdidas internas del propio sistema. Promediando el año, este indicador toma un valor de 0,606; esto significa que el sistema es capaz de aprovechar un 60,6 % de su energía potencial. La fracción solar (SF) en color verde mide la proporción de la demanda energética cubierta con energía solar, que registra un promedio de 0,850; es decir, el 85,0 % de la carga total es suministrada con energía solar. Los meses con un mejor rendimiento general son enero, febrero, noviembre y diciembre, los cuales alcanzan ambos indicadores con unas oscilaciones por encima del promedio anual, lo que indica una mayor disponibilidad solar y, además, de los mejores rendimientos de los sistemas.

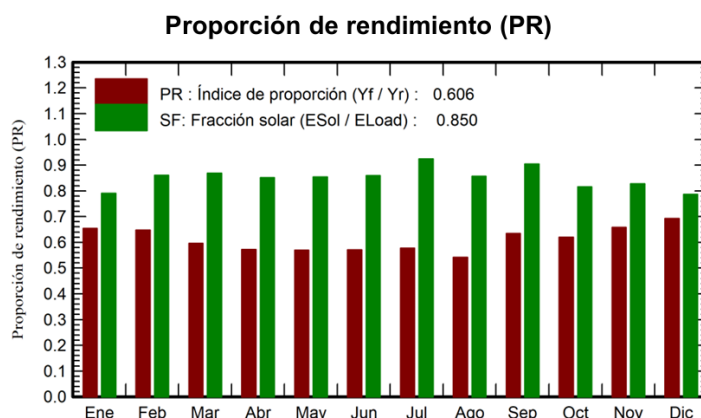


Figura 5.3. Relación de rendimiento calculado por PVsyst.

En la tabla 5.6 se puede observar el aprovechamiento de la energía solar en un año completo. El sistema generó un total de 484.91 kWh durante el año, de los que se emplearon 365.90 kWh y los 85.99 kWh se perdieron debido a que ya estaban llenas las baterías y la misma no se empleó en el sistema. Asimismo, la energía que faltaba para cubrir la demanda fue de 65.80 kWh, con un total de carga de 430.7 kWh. La fracción solar anual promedio fue 0.85, con un valor más elevado de meses en julio (0.924) y enero (0.787) como el mes con la menor cobertura solar. En las Figuras 5.4, 5.5 y 5.6 se muestran gráficamente estos resultados por meses de acuerdo con sus unidades.

Tabla 5.6. Balance de resultados obtenidos de la simulación por PVsyst.

	<b>GlobHor kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>GlobEff kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>E_Avail kWh</b>	<b>EUnused kWh</b>	<b>E_Miss kWh</b>	<b>E_User kWh</b>	<b>E_Load kWh</b>	<b>SolFrac Proporción</b>
Enero	128,3	104,9	35,68	4,28	7,69	28,89	36,58	0,79
Febrero	121,8	105,2	35,79	5,33	4,62	28,42	33,04	0,86
Marzo	141	128,4	42,81	7,85	4,79	31,79	36,58	0,869
Abril	129,9	127,5	41,98	9,67	5,25	30,15	35,4	0,852
Mayo	127,7	133,4	44,16	9,21	5,36	31,22	36,58	0,853
Junio	120,6	129,7	42,76	9,23	5,01	30,39	35,4	0,859
Julio	132,4	142,3	47,33	10,3	2,77	33,81	36,58	0,924
Agosto	138,3	140,6	46,15	11,4	5,25	31,33	36,58	0,856
Septiembre	128,1	122	40,64	6,5	3,41	31,99	35,4	0,904
Octubre	131,4	115,5	38,41	5,3	6,74	29,84	36,58	0,816
Noviembre	129	105,9	35,52	4,58	6,12	29,28	35,4	0,827
Diciembre	123,4	98,6	33,66	2,32	7,79	28,79	36,58	0,787
Año	1552	1454,1	484,91	85,99	64,8	365,9	430,7	0,85

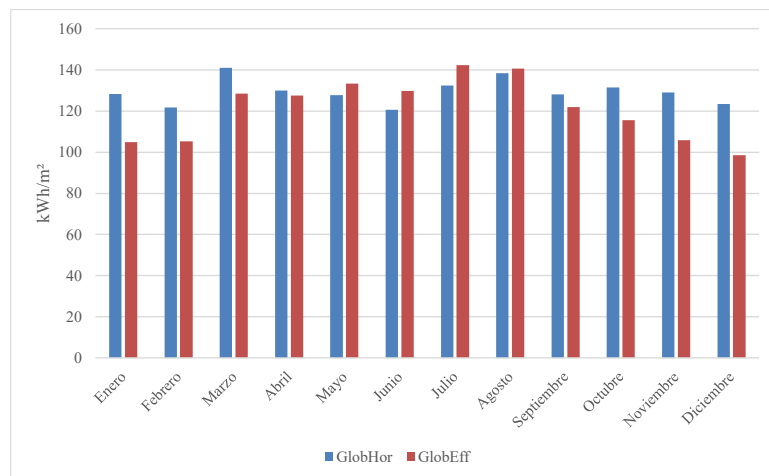


Figura 5.4. Resultados de la irradiación solar horizontal y efectiva en PVsyst.

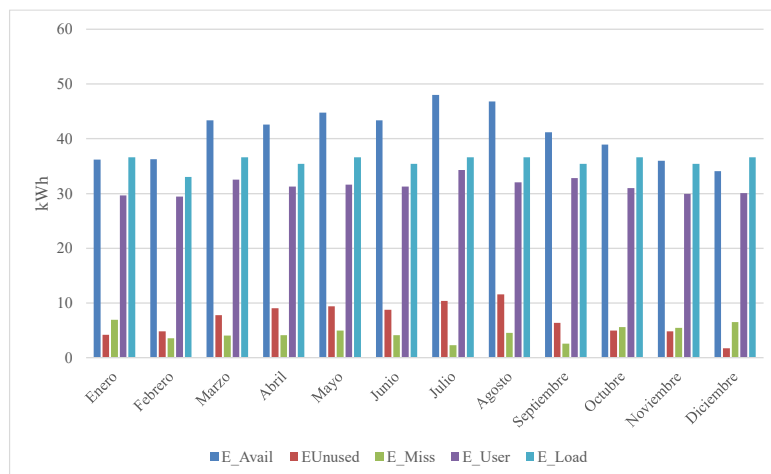


Figura 5.5. Resultados de los diferentes tipos de energía del sistema en PVsyst.

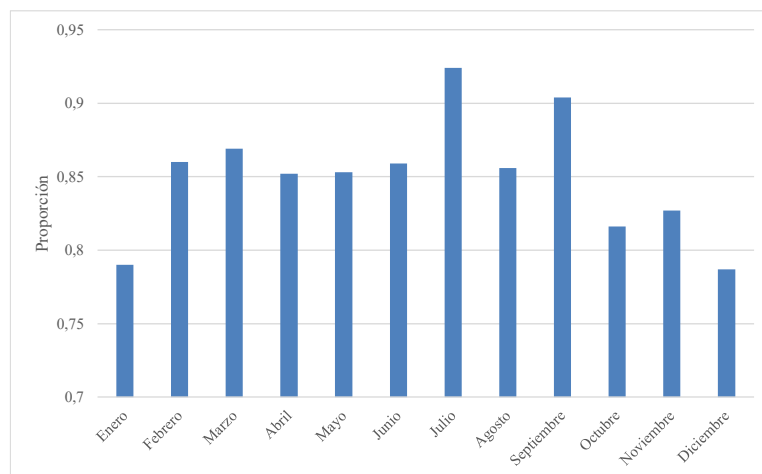


Figura 5.6. Resultados de la fracción solar en la zona en el PVsyst.

### 5.5.2. Análisis de los resultados de las gráficas definidas

La Figura 5.7 hace referencia a la energía efectiva a la salida del conjunto. A partir de los datos anuales, se evidencia que la energía solar utilizable fue de 365.90 kWh/año; la producción específica fue de 915 kWh/kWp/año, y en esta última se tiene en cuenta una potencia instalada de 0.4 kWp (2 módulos de 200 Wp por módulo).

Los meses de mayor producción corresponden a julio (47.33 kWh), agosto (46.15 kWh), y mayo (44.16 kWh), datos que coinciden con la mayor irradiación efectiva del sistema: 142.3 kWh/m<sup>2</sup> en julio, 140.6 kWh/m<sup>2</sup> en agosto, 133.4 kWh/m<sup>2</sup> en mayo. En estos meses se observa también una fracción solar alta, por encima del 85 %; hasta un 92.4 % en julio, lo que sugiere que casi toda la energía demandada mensualmente fue cubierta por el sistema de energía solar.

Los valores de energía entregada al usuario son más reducidos en diciembre (33.66 kWh) y enero (35.68 kWh), ya que los valores de irradiación efectiva son más bajos (98.6 kWh/m<sup>2</sup> en diciembre y 104.9 kWh/m<sup>2</sup> en enero), y también se observa un aumento en las pérdidas por energía faltante (7.79 kWh en diciembre, 7.69 kWh en enero), afectando de esta manera la cobertura de la demanda.

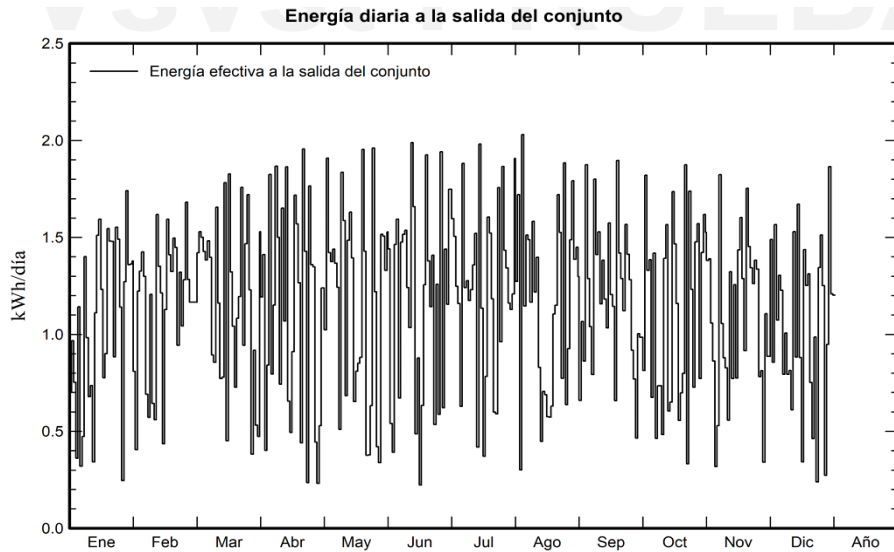


Figura 5.7. Comportamiento de la energía diaria de salida del conjunto.

La Figura 5.8 muestra la distribución obtenida día a día del estado de carga (SOC) de la batería durante un año, con 1.3 kWh útiles de capacidad nominal del sistema de almacenamiento; siendo una única batería de 12 V y 122 Ah. El balance de energía indica que un 70.7 % de la energía se almacena en la batería, mientras que un 29.3 % se consume directamente, lo que indica un uso intensivo de la batería para cubrir la demanda en horarios sin presencia de radiación solar. El informe también evidencia que la energía faltante era de 64,80 kWh/año, lo que significa que el sistema era incapaz de cubrir aproximadamente un 15 % del total del usuario, que ascendía en total a 484,91 kWh/año.

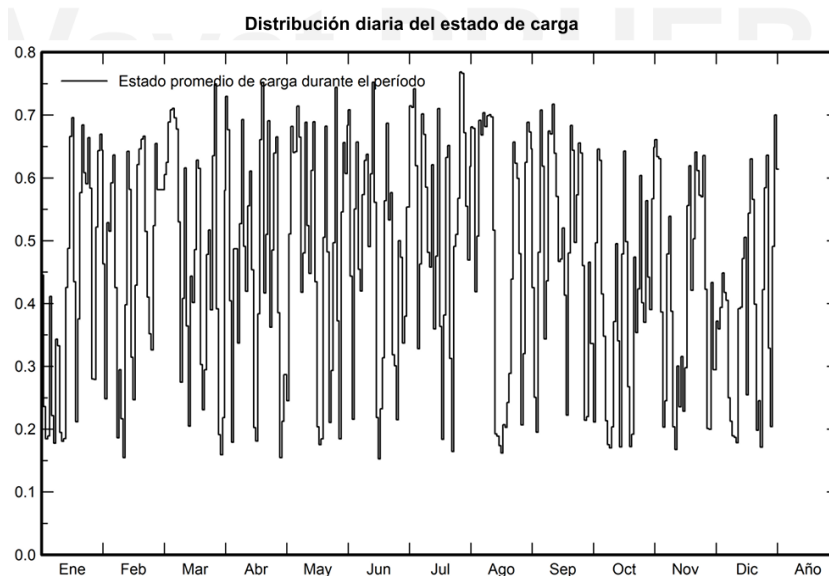


Figura 5.8. Comportamiento de la distribución diaria del estado de carga.

## 5.6. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Una vez realizados los estudios y el dimensionamiento para el diseño del sistema fotovoltaico, se procedió a la implementación del mismo en la vivienda piloto ubicada en la parroquia de Aláquez provincia de Cotopaxi. La duración de la instalación empezó desde el 10 de marzo del 2025 hasta el 14 de marzo del mismo año. Todos los elementos se instalaron de manera adecuada, sección por sección y en base a los cálculos realizados durante un estudio previo. En la Figura 5.9 se puede observar la implementación del sistema, comprobando de esta manera la veracidad de la propuesta tecnológica.

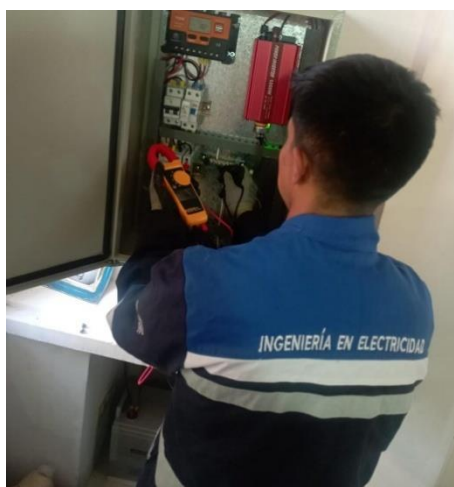


Figura 5.9. Comprobación del funcionamiento del sistema FV.

## 5.7. VALIDACIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA

Las siguientes pruebas se las realizaron mediante el monitoreo constante del sistema con el fin de obtener datos reales del sistema, de esta manera se recolectaron datos reales en 3 instantes; carga de la batería, descarga de la batería y sistema en operación con las cargas.

### 5.7.1. Carga de la batería

El análisis de carga de la batería, registrado el día 19 de julio de 2025 dio como resultado lo siguiente; el proceso de carga inicio a las 09:00 de la mañana con una radiación solar de 478 W/m<sup>2</sup>, con una entrada de corriente a la batería de 2,44 A. Desde este punto, tanto la irradiación solar como la corriente hacia la batería fueron aumentando progresivamente, alcanzando el punto de carga máxima entre las 11:00 am y 12:00 pm, cuando la radiación solar alcanzó valores de hasta 1963 W/m<sup>2</sup> y la corriente de carga llegó a un valor de 14,70 A proporcionado por los

paneles solares. Este intervalo de tiempo es el que corresponde al momento de máxima eficiencia del sistema.

A partir del mediodía la corriente siguió elevándose llegando hasta los 15,88 A donde la carga de la batería ya se completó con un voltaje de 13 V por lo cual el sistema de carga de la batería también dejó de introducir corriente con el objetivo de prevenir una eventual sobrecarga. A continuación, se muestra el comportamiento de la radiación solar y la corriente de la carga.

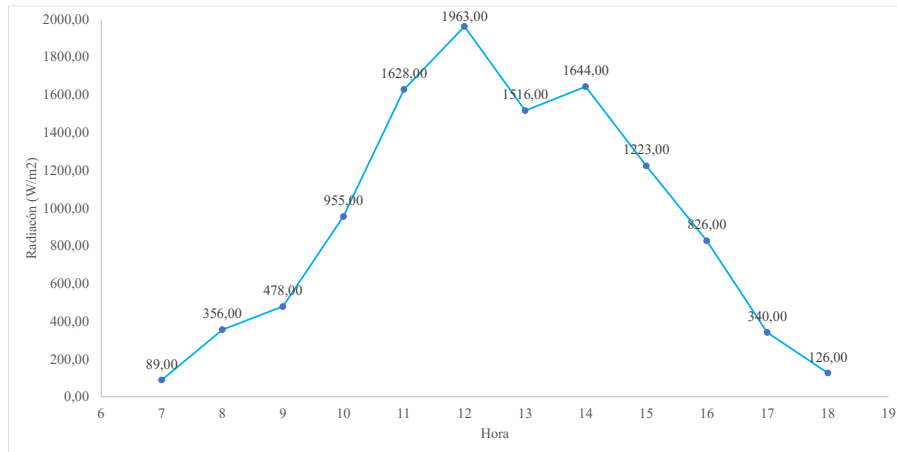


Figura 5.10. Radiación solar registrada durante la observación de la carga de la batería.

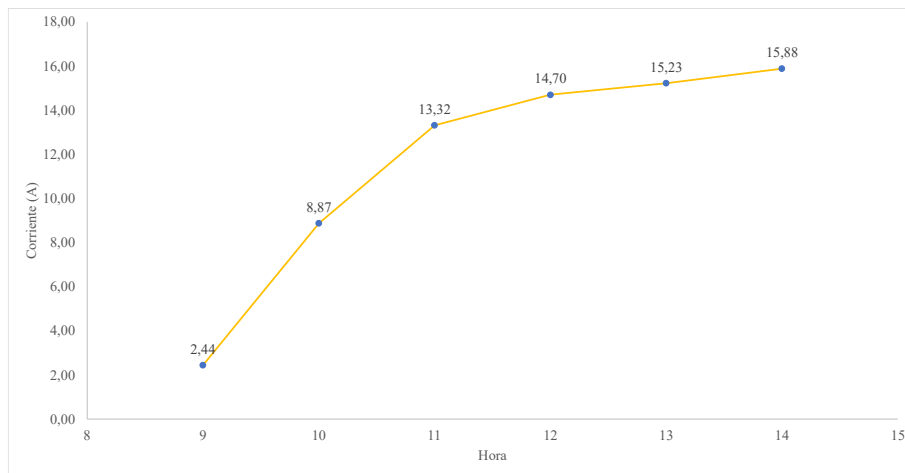


Figura 5.11. Comportamiento de la corriente durante la carga de batería.

### 5.7.2. Descarga de la batería

Para la descarga de la batería se lo realizó el mismo día desde la 15:00 pm, donde la batería comenzó a proporcionar energía de acuerdo con la demanda del sistema. Al iniciar la descarga de la batería, este tuvo un voltaje inicial de 13,00 V. En ese momento, la corriente de descarga fue de 1,57 A, lo que significa que el consumo fue moderado. A medida que avanzó la tarde, el

voltaje de la batería comenzó a bajar debido al uso de la energía almacenada en la batería. A las 16:00 pm, el voltaje de la batería fue de 12,80 V y la corriente de demanda fue 2,83 A. Este mismo patrón se repitió hasta que llegaron puntos de consumo de energía mucho más altos, puesto que en el periodo de las 18:00 pm a 20:00 pm el consumo fue más alto, con corrientes de descarga de 3,37 A y 3,82 A, mientras el voltaje cayó, llegando a 10,95 V a las 20:00 pm. De esta manera, el voltaje llegó hasta los 10 V a las 23:00 pm. Con esto se llegó a determinar que la batería tiene una eficiencia de alrededor de 8 horas.

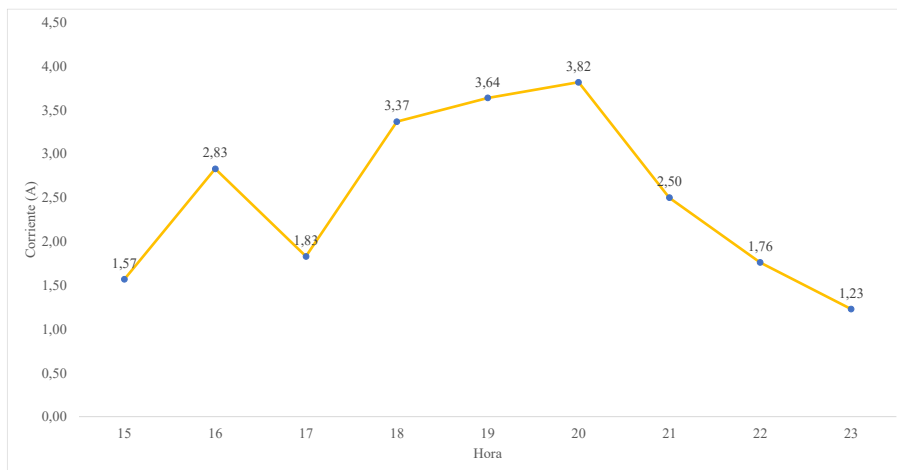


Figura 5.12. Comportamiento de la corriente de la demanda del sistema.

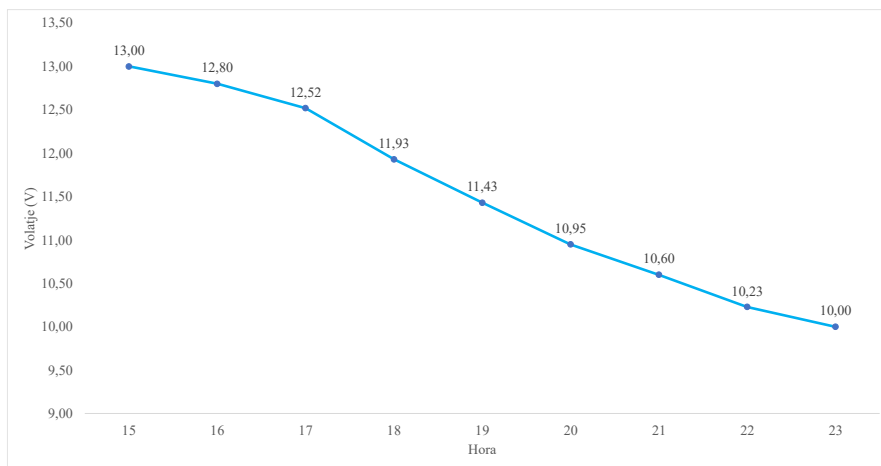


Figura 5.13. Comportamiento del voltaje de descarga de la batería.

### 5.7.3. Sistema en operación con las cargas

El siguiente monitoreo de datos se lo realizó el día 20 de julio de 2025, el cual inició desde las 9:00 am hasta las 18:00 pm para registrar la eficiencia del sistema, para esto se registró a las

9:00 am una corriente de carga de 8,81 A con una demanda de 1,5 A con base en una radiación de 1278 W/m<sup>2</sup>, lo que indicó un inicio de operación favorable del sistema.

Entre las 10:00 am y 12:00 pm, se evidenció puntos mayores de eficiencia del sistema, ya que la radiación alcanzó valores máximos de radiación entre los 1600 W/m<sup>2</sup>, lo que permitió un corriente de carga de alrededor de 14,45 A por las 12:00 pm. Durante este periodo, la corriente de demanda también se incrementó ligeramente, y el voltaje de la batería disminuye de 12,75 V a 12,08 V debido al incremento de la carga.

Desde las 15:00 pm hasta las 18:00 pm, la radiación solar y la corriente de carga disminuyeron de manera significativa, ya que desde las 13:00 pm la radiación bajó a 588 W/m<sup>2</sup> y la corriente de carga se redujo a 4,97 A, mientras la batería ya muestra un voltaje de 10,60 V. Finalmente a las 18:00 pm la radiación solar fue nula con 100 W/m<sup>2</sup>, por lo que la corriente de carga fue de 0,85 A, mientras la demanda se elevaba a 2,45 A, por lo que este punto reflejó la finalización del suministro de energía por parte del sistema.

El sistema demostró un comportamiento óptimo, especialmente entre las 9:00 am hasta las 14:00 pm donde simultáneamente la batería, conjuntamente con los paneles, abasteció la demanda. Por otro lado, desde las 15:00 pm la disminución de la radiación y el aumento del consumo provocaron un consumo elevado de energía, por lo que es necesario optimizar el uso de la energía o realizar aumentar más almacenamiento de energía.

En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de la radiación solar del día de registro de datos, las corrientes y el voltaje del sistema.

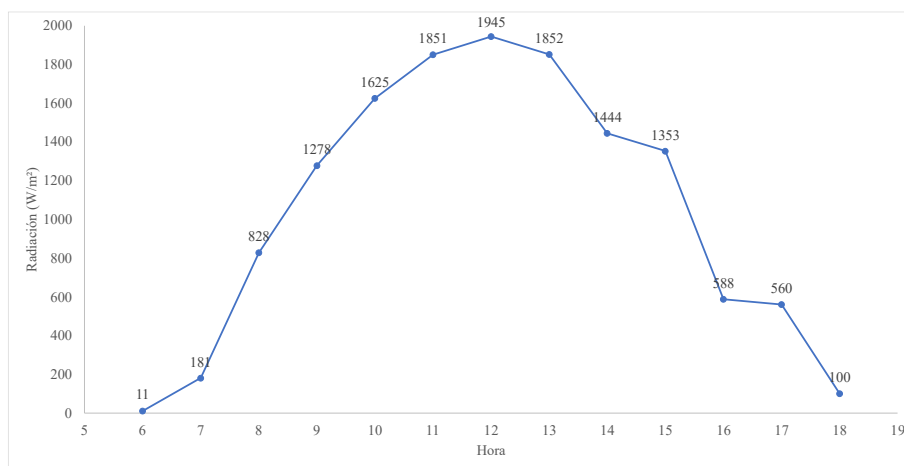


Figura 5.14. Comportamiento de la radiación solar del día de registro de datos.

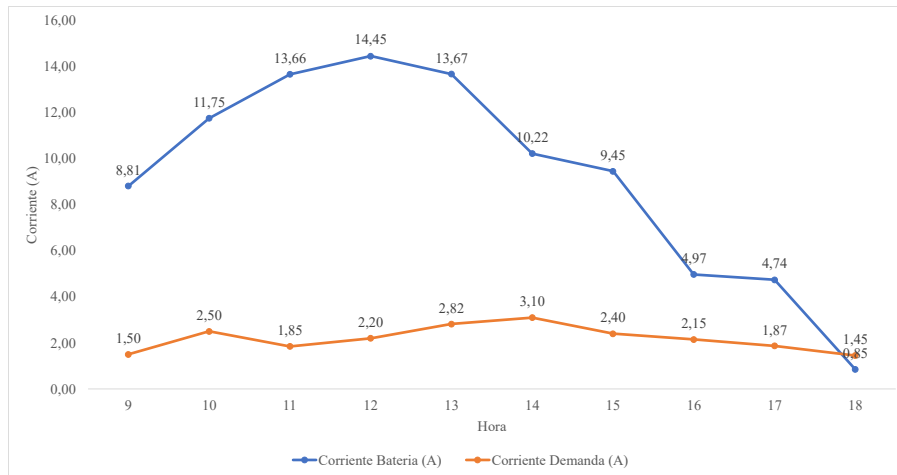


Figura 5.15. Comportamiento de las corrientes de batería y demanda del sistema.

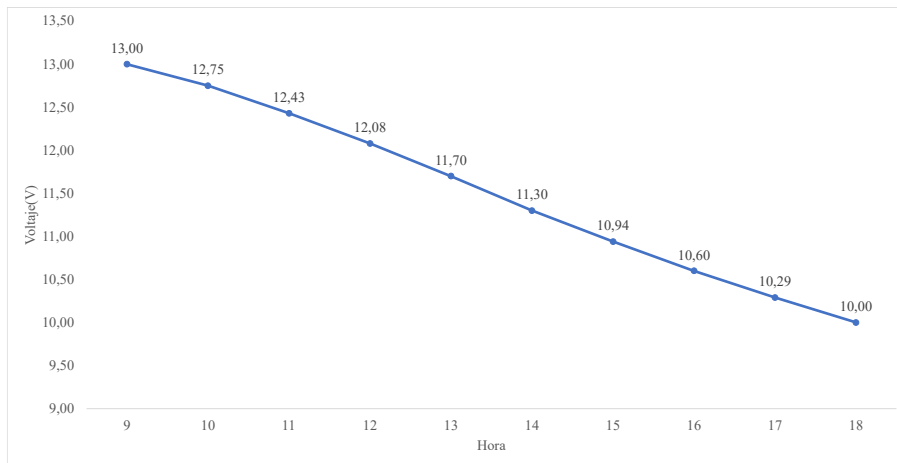


Figura 5.16. Comportamiento del voltaje de la batería con las cargas conectadas.

## 5.8. IMPACTO SOCIAL, TÉCNICO Y ECONÓMICO

En esta sección se analizan los impactos generados por la implementación de un sistema solar fotovoltaico off-grid en el contexto domiciliario, contemplando aspectos sociales, técnicos, económicos y ambientales.

### 5.8.1. Impacto social

La instalación de un sistema de energía solar Off-Grid conlleva consigo un impacto social positivo, proporcionando una mejor calidad de vida a los pobladores, ya que de esta manera se puede acceder a una energía eléctrica, limpia y confiable. Esta energía facilita usos comunes como la iluminación, carga de dispositivos y con ello la comunicación. Esto también genera una cultura energética más consciente, ya que involucra a las personas en el uso responsable de los recursos energéticos. En educación, este tipo de proyectos también genera el interés por las

energías renovables, ya sea que el estudiante y la comunidad tienen un ejemplo práctico de cómo se pueden aprovechar los recursos naturales de una forma sostenible.

### **5.8.2. Impacto técnico**

Desde el punto de vista técnico, la instalación de un sistema FV permite comprobar la funcionalidad de cada uno de los componentes. Al medir las variables voltaje, corriente y rendimiento del inversor se generan datos válidos que permiten comprobar la eficiencia del sistema y su optimización; este tipo de soluciones tecnológicas también pueden ser replicables en otros entornos de características similares, a la vez que permite estandarizar prácticas seguras y efectivas para la instalación de estos sistemas.

### **5.8.3. Impacto económico**

Desde la perspectiva económica, la implementación de un sistema fotovoltaico off-grid implica realizar una inversión significativa en el momento de la instalación, pero que posee un retorno a medio y largo plazo al asumir la autosuficiencia energética al no depender más de los proveedores de electricidad y, además, de reducir el coste de la electricidad consumida. Este tipo de sistema se verá especialmente incentivado en aquellas áreas donde la política eléctrica establezca altos precios de la electricidad, además de aquellas zonas donde la ampliación de la red sea inviable, como por ejemplo en entornos rurales. A largo plazo, la reducción de la factura eléctrica y el bajo coste de mantenimiento del sistema permitirán devolver la inversión incurrida, proporcionando estabilidad económica a los hogares.

### **5.8.4. Impacto ambiental**

La huella ambiental también puede considerarse altamente positiva, ya que se garantiza el uso de una fuente de energía limpia y que se renueva periódicamente. La generación de electricidad mediante las células fotovoltaicas no genera emisiones gaseosas contaminantes, tampoco genera residuos peligrosos mientras opera. Por otro lado, al poder reducir la necesidad de fuentes fósiles se contribuye al hecho de mitigar el cambio climático. La disminución del uso de generadores de combustión (muy utilizados en zonas aisladas) y también reduce la contaminación acústica y mejora la calidad del aire en el lugar.

## 5.9. PRESUPUESTO

A continuación, en Tabla 5.7 se detallan el elemento, la cantidad y el precio por secciones, los cuales son: materiales eléctricos, materiales estructurales, gastos varios y mano de obra. Todos estos datos son verídicos, ya que se pueden observar las facturas de compra en el apartado de los anexos por el cual se determinó el costo el total del proyecto de alrededor de 846,94 dólares, en donde los elementos principales del sistema fueron los más costosos con 640,39 dólares.

Tabla 5.7. Tabla de los costos totales por secciones.

<b>Equipo y materiales eléctricos</b>				
Item	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Panel solar monocristalino 200 W	U	98,00	2	196,00
Batería gel ciclo profundo 120 Ah 12 V	U	168,00	1	168,00
Gabinete metálico	U	46,71	1	46,71
Inversor onda pura 1000 W - 110 VAC	U	28,00	1	28,00
Controlador de carga PWM	U	27,00	1	27,00
Protecciones eléctricas DC y AC	U	7,77	2	15,54
Protección de 50 A	U	7,33	1	7,33
Protección diferencial	U	7,50	1	7,50
Protección de 6 A	U	7,80	2	15,60
Cable para conexión de paneles	M	0,84	13	10,92
Conector MC4	U	8,50	2	17,00
Cable para conexión de batería	M	0,84	5	4,20
Cables de conexión varios	M	0,68	13	8,84
Varilla puesta a tierra (copperweld)	U	7,75	1	7,75
Accesorios(borneras, terminales, tornillos, etc.)	U	8,00	10	80,00
<b>Total</b>				<b>640,39</b>
<b>Materiales estructurales</b>				
Estructura de paneles fotovoltaicos	C/u	100	1	100
<b>Total</b>				<b>100</b>
<b>Gastos varios</b>				
Canaletas ranuradas	C/u	5,00	1	5,00
Amarras plásticas	C/u	2,50	2	5,00
Manguera corrugada	M	0,83	5	4,15
Abrazaderas de uña 3/4 metálico	C/u	0,30	8	2,40
<b>Total</b>				<b>16,55</b>
<b>Mano de obra</b>				
Transporte, gastos extras	Meses	35,00	2	70,00
Revisión técnica	C/u	20,00	1	20,00
<b>Total</b>				<b>90,00</b>
<b>Costo Total del Proyecto</b>				<b>846,94</b>

### 5.9.1. Recuperación de la inversión

Uno de los aspectos fundamentales para evaluar la viabilidad de un sistema fotovoltaico Off-Grid es el análisis económico, en particular el tiempo estimado en el que la inversión inicial

puede ser recuperada a través del ahorro generado en el consumo de energía eléctrica convencional. Este indicador, conocido como retorno de inversión (ROI), permite determinar cuán rentable resulta el sistema en función de los costos evitados por la producción propia de energía solar. Para este estudio, se consideró el costo actual del kWh en Ecuador, que corresponde a 0,09 USD/kWh para usuarios residenciales, junto con la demanda energética diaria de la vivienda piloto, estimada en 1,17 kWh/día. Con base en estos valores y el costo total del sistema fotovoltaico implementado (846,94 USD), se procedió a calcular el ahorro anual y el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial. Este análisis se presenta a continuación como parte de la evaluación técnico-económica del proyecto.

Tabla 5.8. Cálculo del retorno de inversión del proyecto.

Concepto	Valor	Unidad
<b>Costo total del proyecto</b>	846,94	USD
<b>Producción anual del sistema</b>	427,05	kWh/año (1,17 kWh/día × 365)
<b>Tarifa eléctrica en Ecuador</b>	0,09	USD/kWh
<b>Ahorro anual estimado</b>	38,43	USD/año (427,05 × 0,09)
<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b>	22,04	años (846,94 ÷ 38,43)

Con una demanda diaria de 1,17 kWh y la tarifa eléctrica vigente en Ecuador (0,09 USD/kWh). El sistema fotovoltaico permitiría ahorrar aproximadamente 38,43 USD al año. En estas condiciones, la inversión inicial de 846,94 USD se recuperaría en un período de 22,04 años, lo cual resulta económicamente viable considerando que los paneles solares tienen una vida útil superior a los 25 años.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo un arduo trabajo de medición del consumo energético del hogar presente en la localidad de Aláquez, del cantón Latacunga. A través del análisis de las cargas eléctricas presentes como la iluminación, la televisión y aparatos electrónicos, se pudo determinar que el consumo diario promedio, es de una magnitud cercana a los 1,17 kWh. Además, se realizó un registro mensual con el piranómetro para todo el mes de agosto, con el cual se obtuvo un promedio de radiación diaria de 5,10 kWh/m<sup>2</sup> que indicó un nivel apropiado de HSP de la zona. Estos datos permitieron fijar los parámetros base para realizar un buen dimensionamiento del sistema.

- Con los datos obtenidos del análisis de cargas, estos se emplearon en el software especializado PVsyst, desde el cual fue posible simular el comportamiento del sistema solar fotovoltaico Off-Grid en condiciones reales de funcionamiento; el diseño consideró dos paneles solares, un banco de baterías de 12 V, regulador PWM y un inversor. La simulación arrojó un resultado positivo de fracción solar del 84,95%, lo que significa que es capaz de cubrir aproximadamente cerca del 90% del consumo energético anual, con una energía solar disponible de 484,91 kWh anual. También se determinó que existe una demanda faltante por cubrir de 64,80 kWh anual, este valor indicó que se requiere mejorar a futuro el almacenamiento de energía. Este diseño fue validado posteriormente mediante mediciones en campo, donde se tuvo evidencia de que el software ofreció una estimación coherente y útil para su implementación.
- Todo el sistema fue instalado correctamente a base del diseño y dimensionamiento de todos los componentes del sistema. En donde se instalaron dos paneles solares monocristalinos en paralelo de 200 W, un regulador de carga, una batería de 120 Ah y un inversor, permitiendo de forma conjunta la operación del sistema. La inclinación de los paneles fue de 20° respecto a la superficie del techo de la vivienda, lo que provocó un óptimo aprovechamiento de la energía solar por parte de los módulos solares. Posteriormente, se realizaron pruebas de funcionamiento donde el sistema respondió de forma correcta, permitiendo de esta manera la validación eficiente del sistema en condiciones reales de uso.
- El sistema FV presentó un comportamiento eficiente durante las horas de mayor radiación, especialmente entre las 10:00 am y 13:00 pm, donde las corrientes de carga llegaron hasta los 14,45 A lo que permitió alimentar simultáneamente la demanda, que llegó a un pico de 3,14 A. Sin embargo, a medida que disminuyó la radiación solar durante la tarde, la corriente también lo hizo conjuntamente con el voltaje de la batería llegando hasta el punto donde la energía restante de la batería fue consumida en su totalidad. Evidenciando de esta forma que el sistema cumple con su función de manera óptima, operando en un rango de 9 horas.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir monitoreando el sistema con registros horarios reales, con el fin de reajustar parámetros en el diseño del sistema o el cambio de algún elemento del mismo con base en el crecimiento de la demanda del hogar.

- Es indispensable realizar mantenimientos preventivos, especialmente a los paneles solares, como es en el tema de la limpieza de los mismos y también el correcto uso de la batería para garantizar un óptimo rendimiento y prolongada vida útil del sistema.
- Se aconseja desarrollar capacitaciones continuas sobre el uso correcto del sistema de energía solar para priorizar el consumo en horas de mayor producción de energía y en horas donde la energía es ausente, lo que permitirá optimizar el aprovechamiento del sistema.
- Se recomienda implementar un sistema de registro de datos automático para no realizar registros presenciales, esto facilitará las futuras evaluaciones de rendimiento del sistema y su correcto empleo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Ladrón de Guevara, «Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada,» Universidad Politécnica de Madrid, 2018. [En línea]. Available: [https://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf). [Último acceso: 3 julio 2025].
- [2] L. A. Ramirez Quispe, «Diseño de un sistema de generación fotovoltaico para el proceso productivo de una huerta de media hectárea de hortalizas en el distrito Los Aquijes-Ica, 2023,» Universidad Continental, 2024. [En línea]. Available: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/16125/1/IV\\_FIN\\_109\\_TE\\_Ramirez\\_Quispe\\_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/16125/1/IV_FIN_109_TE_Ramirez_Quispe_2024.pdf). [Último acceso: 3 julio 2025].
- [3] H. P. Paredes Ávila, «Estudio de factibilidad técnica económica para implementar sistema solar fotovoltaico en Proyecto Parque Urbano Cerro La Virgen, Yumbel.,» Universidad del Bío-Bío, 2021. [En línea]. Available: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3418/1/Paredes\\_%C3%81vila\\_H%C3%A9ctor\\_Patricio.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3418/1/Paredes_%C3%81vila_H%C3%A9ctor_Patricio.pdf). [Último acceso: 3 julio 2025].
- [4] K. A. Tumbaco Chumo y K. R. Pantaleón Iñiguez, «Generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico Off-Grid en la zona rural de Guayaquil,» Universidad Politécnica Salesiana, 24 febrero 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24665/1/UPS-GT004259.pdf>. [Último acceso: 3 julio 2025].

- [5] C. E. Oña Pilliza y I. F. Suquillo Lugmaña, «Simulación de un sistema de generación fotovoltaico aislado para zonas rurales del Ecuador,» Escuela Politécnica Nacional, septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21213/1/CD%2010735.pdf>. [Último acceso: 3 julio 2025].
- [6] H. H. Orozco Ruíz, «Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para los sistemas de iluminación, circuito cerrado de televisión y sistemas de datos en oficinas de la empresa ENGINSMART S.A.,» Universidad Técnica de Cotopaxi, 2024. [En línea]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/23375178-6c82-4d36-b594-816c2feb8ab5/content>. [Último acceso: 3 julio 2025].
- [7] «Record-breaking 260+ GW of Renewable Energy Added Globally in 2020,» Smart Energy Decisions, 7 abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.smartenergydecisions.com/news/record-breaking-260-gw-of-renewable-energy-added-globally-in-2020/>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [8] J. F. Millingalli Ayala, W. P. Pazuña Naranjo y J. I. Corrales Bonilla, «Análisis y evaluación de la generación distribuida fotovoltaica como alternativa para mitigar la crisis energética en Ecuador,» Bastcorp, vol. 4, nº 1, p. 17, 2025.
- [9] J. A. Molina Pilla, «Implementación de un sistema fotovoltaico Off Grid para abastecer de energía eléctrica a una vivienda, ubicada en un sector rural del cantón Isidro Ayora en la provincia del Guayas,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2025. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29920/1/UPS-GT006101.pdf>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [10] «Energía solar: qué es y cómo se produce,» BBVA, 11 noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [11] C. X. Grijalva Campoverde y F. D. Vélez Mosquera, «Estudio e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias: Caso de Estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2020. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>. [Último acceso: 10 julio 2025].

- [12] «¿Cómo funcionan los paneles solares en una casa?,» La Bodega Solar, 1 noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/como-funcionan-los-paneles-solares-en-una-casa?srsltid=AfmBOoo62rVnORuimbE8M7yy0MDy8IbKnzVkB1pxYzfuaBWf3ehTE> LLC. [Último acceso: 05 julio 2025].
- [13] J. Morales, «¿Qué es la radiación solar?: tipos y aplicaciones en la energía solar,» Solar360, 24 abril 2025. [En línea]. Available: <https://www.solar360.es/blog/sostenibilidad/radiacion-solar>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [14] «La radiación solar,» Helio Esfera, 10 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.helioesfera.com/la-radiacion-solar/#>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [15] E. F. Vinueza Albán, «Simulación de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer la demanda de una vivienda rural : Simulación de un sistema fotovoltaico aislado.,» Escuela Politécnica Nacional, octubre 2022. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23107>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [16] N. «¿Que debo tener en cuenta para diseñar mi sistema solar OFF GRID?,» Solartick, 14 mayo 2022. [En línea]. Available: <https://solartik.com/mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/general/que-es-un-sistema-solar-off-grid/>. [Último acceso: 4 julio 2025].
- [17] V. De La Vega, «Implementación de un sistema fotovoltaico para sistemas aislados de la red pública, con una carga de 200 W,» Universidad Politécnica Salesiana, 2022. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22507/1/UPS-GT003713.pdf>. [Último acceso: 5 julio 2025].
- [18] «¿Cómo funcionan los paneles solares?,» PanelPower, 2025. [En línea]. Available: <https://www.panelpower.com.mx/como-funcionan-los-paneles-solares>. [Último acceso: 5 julio 2025].
- [19] «Paneles solares monocristalinos 300W-350W,» Xindun Green Power, 2022. [En línea]. Available: <https://www.xindunpower.com/es/product/monocrystalline-solar-panels-300w-350w/>. [Último acceso: 5 julio 2025].
- [20] «Panel solar policristalino,» Soty Solar, 31 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://sotysolar.es/blog/placas-solares/policristalinas>. [Último acceso: 10 julio 2025].

- [21] L. M. Pupiales Cuenca, «Diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos para viviendas en zonas aisladas de la red eléctrica,» Escuela Politécnica Nacional, agosto 2024. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26212/1/CD%2014442.pdf>. [Último acceso: 5 julio 2025].
- [22] «Batería de Litio Ultracell 100Ah 12V,» Natura Energy, 2025. [En línea]. Available: <https://www.naturaenergy.cl/product/bateria-de-litio-ultracell-100ah-12v?srsltid=AfmBOorRM86oXAHJ8hWjP11H9P70SKs4DedRQ8kiQk4Ah6bpa-xlYbuP>. [Último acceso: 10 julio 2025].
- [23] D. A. Tonato Palomo y R. E. Tutin Chicaiza , «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO PARCIAL DE ENERGÍA DE LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE,» UTA, 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/caf7ffb8-d8e1-493d-a03f-5c9c9284fe8a/content>. [Último acceso: 10 julio 2025].
- [24] «¿Qué es un controlador de carga?,» Ener City, 2024. [En línea]. Available: <https://enercitysa.com/blog/controlador-de-carga-solar/#>. [Último acceso: 10 julio 2025].
- [25] A. D. Valdiviezo Armas , «IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERSOR BOOST MONOFÁSICO EN MALLA ABIERTA,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13089>. [Último acceso: 11 julio 2025].
- [26] «Inversor Onda Pura 3000W,» EcoGreenSolar, 2025. [En línea]. Available: [https://www.ecogreensolar.co/producto/inversor-onda-pura-3000w/?srsltid=AfmBOorQa9gLF0SHc3TPKF2OxwON5hJ5XLTDhuktM\\_-tvgORY5PHJFij](https://www.ecogreensolar.co/producto/inversor-onda-pura-3000w/?srsltid=AfmBOorQa9gLF0SHc3TPKF2OxwON5hJ5XLTDhuktM_-tvgORY5PHJFij). [Último acceso: 10 julio 2025].
- [27] «Documentación de PVsyst,» PVsyst SA, 2025. [En línea]. Available: <https://www.pvsyst.com/help/#introduction>. [Último acceso: 10 julio 2025].
- [28] «Tutoriales en PDF,» PVsyst SA, 2025. [En línea]. Available: <https://www.pvsyst.com/pdf-tutorials/>. [Último acceso: 10 julio 2025].
- [29] C. R. Luna Mena y A. J. Valdez Zambrano, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTO PARCIAL DE ENERGÍA EN UNA VIVIENDA DE LA ZONA RURAL DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI,»

Universidad Técnica de Cotopaxi, Febrero 2025. [En línea]. [Último acceso: 28 julio 2025].

- [30] «Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico,» Consultoría Colombiana S.A, agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.cens.com.co/Portals/cens/institucional/Especificaciones/Documentos-en-revision/norma-tecnica/Guias-complementarias-de-dise%C3%B1o-grupo-EPM/GM-01-guia-metodologica-calculo-de-conductor-economico.pdf>. [Último acceso: 11 julio 2025].
- [31] W. J. VILLEGAS CODENA, «ESTUDIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL “MERCADO SAN ROQUE”,» ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, marzo 2021. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21569/1/CD%2011073.pdf>. [Último acceso: 10 julio 2023].
- [32] K. I. ARMIJOS SIGUENZA y J. G. CABRERA VIDAL, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 600W PARA ALIMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA,» diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19591/1/UPS-GT003077.pdf>. [Último acceso: 28 julio 2025].
- [33] C. R. G. G. P. A. S. G. S. & M. M. C. E. Suarez Suarez, «Modelo de comunicación basado en IoT para la transmisión de datos de estaciones meteorológicas.,» Producción Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas, pp. 11-30, 2020.
- [34] A. F. Arciniegas M. y D. E. Y. R. F. J. Imbajoa R., «Diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño,» Enfoque UTE, vol. 8, pp. 300-314, 2017.
- [35] «Paneles solares de capa fina: ¿Qué son y cuáles son sus características?,» Solar Plack, 2023. [En línea]. Available: <https://solarplak.es/energia/paneles-solares-de-capa-fina-que-son-y-cuales-son-sus-caracteristicas/>. [Último acceso: 10 julio 2025].

## 8. ANEXOS

### ANEXO A. EVIDENCIAS DE IMPLEMENTACIÓN



Figura 8.1. Instalación de paneles solares.



Figura 8.2. Instalación del gabinete metálico.



Figura 8.3. Instalación de equipos.



Figura 8.4. Cableado de los equipos.



Figura 8.5. Instalación de la varilla copperweld.



Figura 8.6. Conexión del conductor a la puesta a tierra.



Figura 8.7. Conexión de la puesta a tierra en los equipos.




Figura 8.8. Sistema fotovoltaico complementado.



Figura 8.9. Mediciones generales del sistema.

**ANEXO B. FACTURA**



MOSQUERA GONZALEZ CARLOS ROBERTO  
PLANETA LED LATACUNGA

**COMPROBANTE NO TRIBUTARIO:**  
000001896

**PLANETA LED LATACUNGA**

R.U.C :1708249071001  
**TELÉFONO:**  
**CELULAR:** 0995643974  
**CORREO:**  
 LETREROSLEDQUITO@GMAIL.COM

**DIRECCIÓN MATRIZ:** TUNGURAHUA / AMBATO / MATRIZ / BOLIVAR 0805 Y MANUELA CAÑIZARES  
**DIRECCIÓN ESTABLECIMIENTO:** COTOPAXI / LATACUNGA / IGNACIO FLORES / AV UNIDAD NACIONAL 64-42 Y AV ATAHUALPA

**Razón Social:** LIWINTONG TUAQUISA  
**Identificación:** 0504520941 **Fecha de Emisión:** 08/03/2025 **Guía Remisión:**  
**Dirección:** BELISARIO QUEVEDO

Código	Descripción	Cantidad	P. Uni.	Descuento	Precio Total
ILU00373	BATERIA DE GEL 120W	1.00	168.000000	0.00	168.00
ILU00344	REGULADOR PARA PANEL SOLAR 30AMP	1.00	27.000000	0.00	27.00
3357	PANEL SOLAR 200W	2.00	98.000000	0.00	196.00
3321	TRANSFORMADOR 12- 110V 1000A	1.00	28.000000	0.00	28.00
		<b>5.00</b>			

Tipo	Forma Pago	Valor	Plazo	Tiempo	VALOR TOTAL
EFFECTIVO	SIN UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	419.00	0	dias	<b>419.00</b>

**INFORMACIÓN CLIENTE**  
 Email :

**Dirección:** BELISARIO QUEVEDO  
**Teléfono:** 0995266476 |

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

**CONTRIBUYENTE REGIMEN RIMPE EMPRENDEDOR**  
**Orden de compra:**  
**Vendedor:** - PLANETA LED LATACUNGA  
**Observación:** NO REGISTRADO  
**Bodega:** B. LATACUNGA PLANETA LED

Nota 1: Estimado cliente favor remitir el respectivo comprobante de retencion dentro de los 5 dias habiles posterior a la retencion de la factura, segun el articulo 50 de la LORTI.  
 Nota 2: No se recibira retenciones pasado este tiempo y se debera cancelar el total de la factura.

Sin valor legal. solicite su factura

Figura 8.10. Factura de compra de los elementos principales del sistema.

ANEXO C. INFORME DEL PVSYSY



Proyecto: TESIS\_SISTEMA\_FV

Variante: RESULTADOS\_TESIS

PVsyst V8.0.13

VC0, Fecha de simulación:  
23/07/25 10:32  
con V8.0.13

Resumen del proyecto			
<b>Sitio geográfico</b>	<b>Situación</b>	<b>Configuración del proyecto</b>	
LAIGUA DE VARGAS	Latitud	-0.85 °(S)	Albedo
Ecuador	Longitud	-78.49 °(W)	0.20
	Altitud	3805 m	
	Zona horaria	UTC-5	
<b>Datos meteo</b>			
LAIGUA DE VARGAS			
NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Sintético			

Resumen del sistema			
<b>Sistema independiente</b>	<b>Sistema independiente con baterías</b>		
<b>Orientación #1</b>	<b>Necesidades del usuario</b>		
<b>Plano fijo</b>	Consumidores domésticos diarios		
Inclinación/Azimut	20 / 0 °	Constante durante el año	
		Promedio	
		1.2 kWh/Día	
<b>Información del sistema</b>		<b>Paquete de baterías</b>	
<b>Generador FV</b>		Tecnología	Plomo-ácido, sellado, AGM
Núm. de módulos	2 unidades	Núm. de unidades	1 unidad
Pnom total	400 Wp	Voltaje	12 V
		Capacidad	122 Ah

Resumen de resultados			
Energía solar utilizable	365.90 kWh/año	Producción específica	915 kWh/kWp/año
Energía faltante	64.80 kWh/año	Energía solar disponible	484.91 kWh/año
Exceso (sin usar)	85.99 kWh/año	Proporción rend. PR	60.64 %
		Fracción solar (SF)	84.95 %

Tabla de contenido	
Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema	3
Necesidades detalladas del usuario	4
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Gráficos predefinidos	7

Figura 8.11. Resultados principales del sistema FV por PVsyst.



Proyecto: TESIS\_SISTEMA\_FV

Variante: RESULTADOS\_TESIS

PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:  
23/07/25 10:32  
con V8.0.13

Parámetros generales		
<b>Sistema independiente</b>	<b>Sistema independiente con baterías</b>	
<b>Orientación #1</b>	<b>Modelos usados</b>	<b>Necesidades del usuario</b>
<b>Plano fijo</b>	Transposición Perez	Consumidores domésticos diarios
Inclinación/Azímuth 20 / 0 °	Difuso Perez, Meteonorm	Constante durante el año
	Circunsolar separado	Promedio 1.2 kWh/Día

Características del generador FV		
<b>Módulo PV</b>	<b>Controlador</b>	
Fabricante Generic	Fabricante Generic	
Modelo Aleo_Elegante / 200	Modelo EcoBoost MPPT EB-MPPT-30M 12V	
(Base de datos PVsyst original)	Tecnología Convertidor MPPT	
Unidad Nom. Potencia 200 Wp	Coef. temp. -5.0 mV/°C/Elem.	
Número de módulos FV 2 unidades	<b>Convertidor</b>	
Nominal (STC) 400 Wp	Eficiencias máxi y EURO 96.0 / 95.4 %	
Módulos 2 cadena x 1 En serie	<b>Control de gestión de la batería</b>	
<b>En cond. de funcionam. (50°C)</b>	Comandos de umbral como Cálculo SOC	
Pmpp 360 Wp	Cargando SOC = 0.96 / 0.80	
U mpp 20 V	aprox. 15.2 / 12.4 V	
I mpp 18 A	Descarga SOC = 0.10 / 0.35	
	aprox. 11.1 / 12.0 V	
<b>Batería</b>		
Fabricante Generic		
Modelo S12-160 AGM		
Tecnología Plomo-ácido, sellado, AGM		
Núm. de unidades 1 Unidad		
Descarga mín. SOC 10.0 %		
Energía almacenada 1.3 kWh		
<b>Características del paquete de baterías</b>		
Voltaje 12 V		
Capacidad nominal 122 Ah (C10)		
Temperatura Temperatura ambiente exterior		
<b>Potencia FV total</b>		
Nominal (STC) 0.400 kWp		
Total 2 módulos		
Área del módulo 3.0 m²		

Pérdidas del conjunto		
<b>Factor de pérdida térmica</b>	<b>Pérdidas de cableado CC</b>	<b>Pérdida diodos serie</b>
Temperatura módulo según irradiancia	Res. conjunto global 18 mΩ	Caída de tensión 0.7 V
Uc (const) 20.0 W/m²K	Frac. de pérdida 1.50 % en STC	Frac. de pérdida 3.2 % en STC
Uv (viento) 0.0 W/m²K/m/s		
<b>Pérdida de calidad módulo</b>	<b>Pérdidas de desajuste de módulo</b>	<b>Pérdidas de desajuste de cadenas</b>
Frac. de pérdida -0.63 %	Frac. de pérdida 0.00 % en MPP	Frac. de pérdida 0.05 %
<b>Factor de pérdida IAM</b>		
Efecto de incidencia (IAM): Vidrio liso Fresnel, n = 1.526		
0°	30°	50°
1.000	0.998	0.981
60°	70°	75°
0.948	0.862	0.776
80°	85°	90°
0.636	0.402	0.000

Figura 8.12. Resultados generales del sistema FV por PVsyst.