



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Diseño de un sistema solar fotovoltaico híbrido offgrid para
suministrar energía eléctrica al área comunal de un centro
turístico”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN SISTEMAS DE ENERGÍA

Presentada por:

Kevin Javier Quinteros Vaca

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y motivación. A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y su confianza en mí, enseñándome con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis hermanos, por su compañía y aliento en cada paso de este camino.

A mis amigos, quienes con su apoyo, palabras de aliento y momentos compartidos hicieron más llevadero este proceso.

A mis profesores y a mi tutor de tesis, cuyo conocimiento y guía han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional.

Y, finalmente, a la ESPOL, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para formarme como profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación. Su confianza en mí ha sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante en cada desafío.

A mis amigos, por su compañía, consejos y motivación en los momentos de dificultad, recordándome siempre la importancia de seguir adelante.

A mis profesores, quienes con su enseñanza y orientación me han brindado las bases para alcanzar mis objetivos académicos y profesionales. En especial, a mi tutor de tesis, por su dedicación, paciencia y valiosas sugerencias, que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

A todos los que, de una u otra manera, contribuyeron a este logro, les estaré siempre agradecido.

Declaración Expresa

Yo Kevin Javier Quinteros Vaca acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor. El estudiante deberá procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, marzo del 2025.

Kevin Javier Quinteros Vaca

Evaluadores

Juan Peralta J., Ph.D.

Profesor de Materia



Firmado electrónicamente por:
IAN MATEO SOSA
TINOCO

ian mateo Sosa T., Ph.D.

Tutor de Proyecto

RESUMEN

El cambio climático y la crisis energética en Ecuador han evidenciado la urgencia de adoptar fuentes renovables que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles y mitiguen la inestabilidad del suministro eléctrico, agravada por la variabilidad en la generación hidroeléctrica. En respuesta, las energías limpias han cobrado protagonismo, alcanzando un 60,93 % de participación en la matriz energética nacional en 2024. El ecoturismo, enfocado en la conservación ambiental y el desarrollo sostenible, requiere un abastecimiento energético eficiente y respetuoso con el medio ambiente. En este contexto, el presente proyecto plantea el diseño de un sistema solar fotovoltaico híbrido offgrid para cubrir la demanda del área comunal del centro turístico Paradero El Labrador. A través de un análisis técnico y económico, se evaluará su viabilidad, garantizando un suministro confiable y sostenible, alineado con los principios del turismo responsable y la transición energética.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
LISTADO DE FIGURAS.....	V
LISTADO DE TABLAS	VI
CAPÍTULO 1	1
1. ESTADO DEL ARTE.....	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. <i>Objetivo General</i>	1
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Planteamiento del Problema	2
1.4. Justificación	3
1.5. Marco Teórico.....	3
1.5.1. <i>Efecto Invernadero</i>	3
1.5.2. <i>Cambio Climático</i>	4
1.5.3. <i>Energías Renovables</i>	5
1.5.4. <i>Energía Solar Fotovoltaica</i>	8
1.5.5. <i>Ecoturismo</i>	12
1.6. Metodologías de Diseño para Sistemas Fotovoltaicos.....	14
1.6.1. <i>Cálculo Manual</i>	14
1.6.2. <i>Uso de Software Especializado</i>	15
CAPÍTULO 2	17
2. METODOLOGÍA	17
2.1. Área de Estudio.....	17
2.1.1. <i>Descripción del Centro Turístico</i>	18
2.1.2. <i>Tipo de Techo en el Área Comunal</i>	19
2.2. Estudio de Demanda y Carga.....	20
2.3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico OFFGRID	20

2.3.1. Selección del Inversor Híbrido.....	30
2.3.2. Selección de Cableado	31
2.3.3. Selección de Protecciones	31
2.3.4. Cálculo de la Estructura de Anclaje.....	31
2.3.5. Modelado del Sistema.....	32
2.4. Análisis Financiero.....	32
CAPÍTULO 3	33
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
3.1. Simulación en HelioScope	33
3.1.1. Características del Sistema	33
3.1.2. Pérdidas del Sistema	33
3.1.3. Producción del Sistema	34
3.1.4. Distribución del Sistema	34
3.2. Emisiones Evitadas por el Sistema Solar Fotovoltaico Offgrid	35
3.3. Análisis Económico del Sistema	36
3.3.1. Costos del Proyecto.....	36
3.3.2. Cálculo del VAN y del TIR	37
CAPÍTULO 4	46
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
4.1 Conclusiones.....	46
4.2 Recomendaciones	46
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO A.....	51
FACTOR DE CORRECCIÓN K.....	51
ANEXO B.....	52
FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR HÍBRIDO OFFGRID	52
ANEXO C.....	54
FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR	54
ANEXO D.....	56
FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA.....	56

ANEXO E	57
PLIEGO TARIFARIO VIGENTE EN ECUADOR	57
ANEXO F	58
ENCUESTA REALIZADA AL PROPIETARIO DEL CENTRO TURÍSTICO	58
ANEXO G.....	59
DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA	59

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Diferencia entre el efecto invernadero natural y el intensificado por actividades humanas	4
Figura 1.2 Ejemplo de las consecuencias del cambio climático.....	4
Figura 1.3 Energía solar.....	5
Figura 1.4 Energía Eólica.....	6
Figura 1.5 Energía hidroeléctrica.....	6
Figura 1.6 Energía geotérmica	7
Figura 1.7 Biomasa	7
Figura 1.8 Energía marina	7
Figura 1.9 Principio de funcionamiento de la energía fotovoltaica	8
Figura 1.10 Sistema fotovoltaico offgrid convencional	9
Figura 1.11 Paneles fotovoltaicos	9
Figura 1.12 Sistema fotovoltaico offgrid con regulador de carga e inversor separados	10
Figura 1.13 Sistema compuesto por un inversor híbrido offgrid	10
Figura 1.14 Descripción y componentes de las baterías de Litio y Plomo-Ácido	11
Figura 1.15 Componentes básicos del generador de diésel.....	12
Figura 1.16 Reserva Ecológica El Ángel	13

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Mapa base de la parroquia San Isidro	17
Figura 2.2 Áreas recreacionales del Centro Turístico	18
Figura 2.3 Letrero de ingreso al centro turístico.....	18
Figura 2.4 Área comunal del centro turístico	19
Figura 2.5 Techo disponible en el área comunal del centro turístico	19
Figura 2.6 Arreglo de paneles en la estructura implementada para el diseño.....	32

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Características del sistema de acuerdo a la simulación en HelioScope	33
Figura 3.2 Pérdidas del sistema fotovoltaico Híbrido offgrid	34
Figura 3.3 Producción mensual de energía del sistema.....	34
Figura 3.4 Distribución del Sistema Fotovoltaico Híbrido Offgrid	35

LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Energía demandada por el área comunal del centro turístico	20
Tabla 2.2 Comparativa entre datos de radiación de las bases de datos disponibles en Helioscope.....	20
Tabla 2.3 Alternativas de módulos fotovoltaicos para el diseño del sistema	21
Tabla 2.4 Alternativas de baterías para el acumulador	22
Tabla 2.5 Relación entre la capacidad requerida del sistema y la capacidad del inversor seleccionado.....	31
Tabla 2.6 Materiales para el sistema de anclaje de los paneles	32

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Costos del sistema solar fotovoltaico.....	36
Tabla 3.2 Costos de instalación y logística del sistema	36
Tabla 3.3 Costo total del proyecto.....	37
Tabla 3.4 Cálculo del flujo de caja del sistema fotovoltaico offgrid	39
Tabla 3.5 Resultados del VAN y el TIR del sistema fotovoltaico offgrid	39
Tabla 3.6 Cálculo del flujo de caja del sistema fotovoltaico offgrid en el escenario 2	41
Tabla 3.7 Resultados del VAN y el TIR del sistema fotovoltaico offgrid en el escenario 2	41
Tabla 3.8 Cálculo del flujo de caja para un generador	42
Tabla 3.9 Resultados del VAN y el TIR para un generador.....	43
Tabla 3.10 Cálculo del flujo de caja para un generador en el escenario 2	43
Tabla 3.11 Resultados del VAN y el TIR para un generador en el escenario 2	44
Tabla 3.12 Comparativa entre el sistema fotovoltaico offgrid y un generador a diésel en el escenario 1	44
Tabla 3.13 Comparativa entre el sistema fotovoltaico offgrid y un generador a diésel en el escenario 2	45

CAPÍTULO 1

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo General*

Diseñar un sistema fotovoltaico híbrido OFFGRID para abastecer la demanda de energía eléctrica en el área comunal del centro turístico Paradero El Labrador, mediante un estudio técnico económico.

1.1.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar un estudio de demanda y carga en el área comunal.
- Dimensionar la capacidad del sistema fotovoltaico.
- Evaluar el costo beneficio del proyecto en el centro turístico.

1.2. Antecedentes

En la actualidad, el Cambio Climático está provocando un desequilibrio significativo en el ecosistema de la tierra. El uso del petróleo, empleado como materia prima para producir combustibles fósiles, es uno de los principales responsables de esta situación, según la ONU (2019). Estos combustibles emiten gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), afectando la capa de ozono y causando un fenómeno conocido como Efecto Invernadero, elevando irregularmente la temperatura del planeta.

A lo largo de los años, se han implementado diversas estrategias para abordar esta crisis, como el Protocolo de Kyoto, firmado en 1997 por 180 países. Este acuerdo busca introducir medidas progresivas en cada nación para mitigar el cambio climático y reducir el uso de hidrocarburos (La Guía, 2017).

Gran parte de las actividades humanas depende de combustibles fósiles como la gasolina, el diésel y el GLP, utilizados principalmente en los sectores industrial, de transporte y residencial. Las ventajas de estos combustibles, como su bajo costo y alta disponibilidad, los convierten en una base crucial para la economía y el sector energético (Portillo, 2019). En Ecuador, el petróleo crudo representaba el 85,9% del consumo de energía primaria en 2023, con 202 MBEP (Mega barriles equivalentes de petróleo) (ARCONEL, 2024). Sin embargo, este recurso está agotándose, y los países que dependen principalmente del petróleo enfrentan dificultades para reducir su uso debido a su dependencia económica.

El avance científico ha permitido el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, como las energías renovables, que aprovechan fuentes inagotables como el viento, la radiación solar, las mareas, la biomasa, los flujos de agua y el calor geotérmico. En Ecuador, la investigación en energías renovables comenzó en los años 80 con el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), fundado en 1961, que instaló estaciones hidrométricas en varias cuencas hidrográficas (Proveda, Ruiz y González, 2017). El auge

de estas tecnologías comenzó en 2007 con la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), fundado en 2012 (CONELEC, 2013). En 2018, el MEER fue reemplazado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MRNNR), y actualmente, el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) lidera estos estudios (Orozco, 2018).

De acuerdo con la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL, 2024), hasta febrero del 2024, Ecuador contaba con una capacidad instalada de 5478,08MW a partir de fuentes renovables, representando el 60,93% de la generación eléctrica nacional, derivándose en energía hidráulica (5215.17 MW), eólica (71,13 MW), fotovoltaica (28,13 MW), biomasa (155,3 MW) y biogás (8,32 MW), con el resto complementado por centrales termoeléctricas.

La crisis reciente ha evidenciado la dependencia del país en fuentes no renovables que, combinada con limitaciones en la capacidad de generación eléctrica, ha llevado a apagones prolongados, afectando tanto a la industria como a las actividades diarias de la población. Estos desafíos destacan la necesidad urgente de diversificar la matriz energética mediante la implementación de sistemas sostenibles, ofreciendo soluciones más resilientes y sostenibles frente a la creciente demanda de energía y las vulnerabilidades del sistema actual (MEM, 2024).

1.3. Planteamiento del Problema

Ecuador depende casi por completo de los combustibles fósiles para su suministro energético, lo que contribuye al cambio climático debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. La economía nacional también depende de estos recursos para la mayoría de sus actividades comerciales e industriales. Esta dependencia causa repercusiones negativas en la calidad del aire, el agua y el suelo. Además, este problema no se limita solo a Ecuador, sino que se extiende a nivel mundial. Algunas naciones, especialmente aquellas con economías industrializadas como Estados Unidos, contaminan más debido a su alta dependencia del petróleo en un sistema capitalista y consumista.

El desarrollo de energías renovables en Ecuador es una alternativa prometedora para esta problemática, pero enfrenta varios obstáculos. La falta de normativas que fomenten el desarrollo de tecnologías ecológicas es una barrera significativa. Además, la investigación en este campo ha sido limitada y se necesita un mayor enfoque en estudios científicos relacionados. La experimentación es crucial para adquirir conocimientos válidos en este ámbito, pero la escasez de laboratorios y el difícil acceso a ellos representa un problema notable.

Otro factor importante a considerar es la cultura de la población debido a que las costumbres y hábitos de las personas pueden dificultar la adopción de nuevas tecnologías, ya que muchos no se sienten preparados para un cambio tan radical. El petróleo ha permeado tanto en la vida diaria que se utiliza prácticamente en todo, por ejemplo, en países con bajas temperaturas, los combustibles fósiles son esenciales para la calefacción. Sin embargo, el problema con estos recursos es que no son renovables a corto plazo y eventualmente se agotarán.

En un enfoque más específico para este estudio, es importante destacar que el Centro Turístico El Labrador depende completamente de la red pública para su suministro de

energía eléctrica, siendo vulnerable a interrupciones en el servicio, especialmente durante crisis energéticas. Esta incertidumbre puede impactar negativamente a las operaciones del área comunal, particularmente en momentos de alta demanda o en caso de fallos en la red. Además, la carencia de alternativas energéticas sostenibles no solo contribuye a un mayor impacto ambiental, sino que también limita la capacidad del centro para implementar medidas de eficiencia energética que podrían posicionarlo como un referente ecológico en el turismo rural.

1.4. Justificación

El progreso tecnológico ha marcado hitos significativos desde la revolución industrial, transformando la vida cotidiana con avances como el transporte, la iluminación y climatización. Sin embargo, este desarrollo también ha generado problemas críticos, como el agotamiento de recursos y la contaminación ambiental, que afectan en gran medida a los ecosistemas y la calidad de vida de las personas. El cambio climático impulsado por el calentamiento global, ha evidenciado la insostenibilidad en el consumo de combustibles fósiles, no solo por su impacto negativo, sino también por tratarse de recursos finitos. Esto resalta la urgencia de transitar hacia alternativas más limpias y sostenibles, como las energías renovables, que ofrecen regeneración rápida y un impacto ambiental reducido. En Ecuador, la reciente crisis energética ha demostrado las limitaciones del sistema eléctrico nacional, dependiente de fuentes no renovables. Durante los años 2023 y 2024, el país enfrentó apagones prolongados debido a insuficiencias en la generación eléctrica, afectando en gran medida el desempeño económico nacional. Esta situación enfatiza la necesidad de soluciones que garanticen un suministro estable y sostenible. Los sistemas solares fotovoltaicos híbridos offgrid emergen como una respuesta eficaz, al combinar el aprovechamiento de energías renovables con la independencia de la red eléctrica. Estas soluciones no solo reducen la dependencia de combustibles fósiles, sino que también refuerzan la resiliencia energética especialmente en sectores clave como el turismo, que requieren un suministro confiable para operar de manera eficiente.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Efecto Invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural que permite la retención de calor en la atmósfera terrestre, manteniendo una temperatura adecuada para la vida. Sin embargo, debido a la emisión excesiva de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), se ha intensificado este fenómeno, generando un calentamiento global sin precedentes. Estudios recientes destacan que las emisiones antropogénicas han aumentado en un 40% desde la era preindustrial, lo que ha acelerado los cambios climáticos actuales (NASA, 2023).

Cuando los gases de efecto invernadero están en niveles adecuados, regulan la temperatura del planeta al permitir el equilibrio entre la radiación solar que ingresa y el calor que se libera al espacio. Sin embargo, la actividad humana ha incrementado significativamente su concentración, atrapando más calor del necesario y alterando este equilibrio. Como consecuencia, se intensifica el calentamiento global y se generan efectos adversos como el deshielo de los polos, el aumento de temperaturas, inundaciones, tormentas más intensas, desertificación y la migración forzada de especies en busca de hábitats más adecuados (IPCC, 2021).

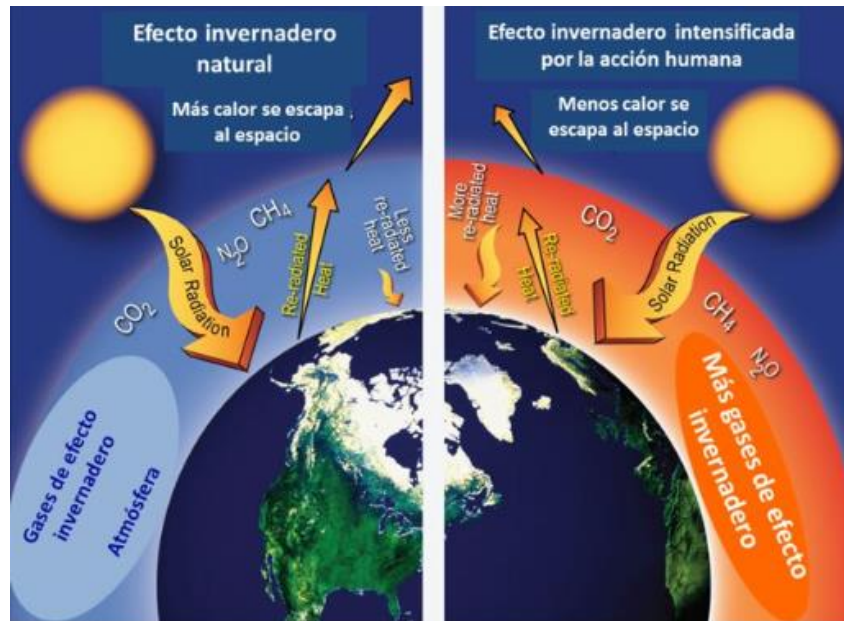


Figura 1.1 Diferencia entre el efecto invernadero natural y el intensificado por actividades humanas

Fuente: (Mundo Primaria, 2025)

1.5.2. Cambio Climático

El cambio climático se refiere a modificaciones significativas en los patrones climáticos a largo plazo, atribuidas en gran medida a la actividad humana, principalmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación (IPCC, 2021). Entre sus principales efectos se encuentran el aumento de la temperatura global, el derretimiento de los glaciares, el incremento del nivel del mar y la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos (UNEP, 2022). Investigaciones recientes destacan la necesidad de transitar hacia un modelo energético sostenible para mitigar estos impactos (IEA, 2023).



Figura 1.2 Ejemplo de las consecuencias del cambio climático

Fuente: (BBVA, 2024)

El cambio climático, impulsado por el calentamiento global, genera impactos irreversibles en ecosistemas y sociedades a nivel global. Según el IPCC 2021, sus efectos incluyen desertificación, degradación del suelo, inseguridad alimentaria y el aumento del nivel del mar, que podría incrementarse hasta 63 cm para 2100. Asimismo, el ciclo del agua, esencial para la vida y la economía, se ve amenazado, intensificando sequías y fenómenos meteorológicos extremos, especialmente en regiones vulnerables como la Amazonía y la tundra asiática. En varios lugares del mundo, se han identificado tendencias preocupantes, como la extensión de los veranos, la reducción de los caudales fluviales y la expansión del clima semiárido. Más allá de los impactos ambientales, el cambio climático profundiza desigualdades sociales, afectando de manera desproporcionada a las poblaciones con menor responsabilidad en las emisiones de GEI, lo que resalta la urgencia de políticas de mitigación y justicia climática a nivel global (BBVA, 2024).

1.5.3. Energías Renovables

Las energías renovables son fuentes de energía inagotables y sostenibles que provienen de la naturaleza, como la radiación solar, el viento, el agua en movimiento, el calor interno de la Tierra y la biomasa (IEA, 2023). La transición hacia estas fuentes es clave para la reducción de emisiones de CO₂ y el cumplimiento de los objetivos climáticos globales. Además, estudios recientes resaltan que la energía solar y eólica son las tecnologías con mayor crecimiento en la matriz energética mundial (IRENA, 2023).

- **Energía solar:** Se obtiene de la radiación del Sol y puede aprovecharse de diversas maneras. La energía fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad mediante paneles solares, mientras que la energía solar térmica usa el calor del Sol para calentar agua o generar electricidad en plantas termosolares. Es una de las fuentes más accesibles y su uso está en constante crecimiento debido a la mejora en la eficiencia de los paneles y la reducción de costos (UN, 2025).



Figura 1.3 Energía solar

Fuente: (UN, 2025)

- **Energía eólica:** Utiliza la fuerza del viento para generar electricidad a través de aerogeneradores. Cuando el viento mueve las aspas de una turbina, se transforma la energía cinética en energía mecánica y posteriormente en electricidad. Existen parques eólicos terrestres (onshore) y marinos (offshore), siendo estos últimos más eficientes debido a la mayor constancia de los vientos en alta mar (UN, 2025).



Figura 1.4 Energía Eólica

Fuente: (UN, 2025)

- **Energía hidroeléctrica:** Se genera mediante el aprovechamiento del movimiento del agua. En las centrales hidroeléctricas, el agua almacenada en embalses o el flujo natural de los ríos hace girar turbinas que generan electricidad. Aunque es una fuente de energía limpia, la construcción de grandes presas puede afectar ecosistemas y comunidades cercanas (UN, 2025).

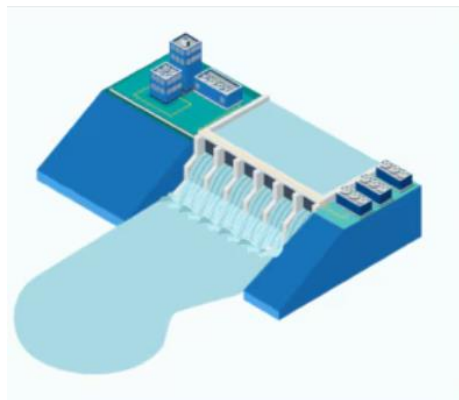


Figura 1.5 Energía hidroeléctrica

Fuente: (UN, 2025)

- **Energía geotérmica:** Aprovecha el calor interno de la Tierra para generar electricidad o proporcionar calefacción. Se extrae a través de perforaciones en el suelo que permiten aprovechar el vapor o el agua caliente subterránea. Dependiendo de la temperatura del recurso, puede utilizarse para generación eléctrica (alta temperatura) o para calefacción y climatización (baja temperatura) (UN, 2025).



Figura 1.6 Energía geotérmica

Fuente: (UN, 2025)

- **Biomasa:** Proviene de la materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales o desechos urbanos, que se queman o procesan para generar electricidad, calor o biocombustibles (biodiésel, biogás o bioetanol). Es una alternativa sostenible siempre que su uso no implique una sobreexplotación de recursos naturales (UN, 2025).



Figura 1.7 Biomasa

Fuente: (UN, 2025)

- **Energía marina:** Se obtiene del movimiento del agua en los océanos y mares. Puede aprovecharse mediante la energía undimotriz (de las olas), mareomotriz (de las mareas) y la energía de gradiente térmico o salino. Aunque aún está en fase de desarrollo en muchos lugares, tiene un gran potencial debido a la vastedad de los océanos (UN, 2025).

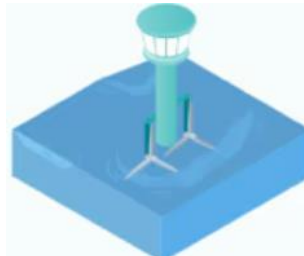


Figura 1.8 Energía marina

Fuente: (UN, 2025)

1.5.4. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante celdas fotovoltaicas. Estas celdas están hechas de materiales semiconductores, como el silicio, y generan un flujo de electrones al absorber fotones de luz a través del efecto fotovoltaico. Los paneles solares, compuestos por varias celdas conectadas, capturan la energía solar y la transforman en electricidad, que puede ser utilizada en diferentes aplicaciones, desde sistemas residenciales hasta grandes plantas solares. Con el paso del tiempo, la eficiencia de los paneles solares ha mejorado notablemente, lo que permite generar más electricidad con menos superficie, aumentando su viabilidad como fuente de energía renovable (APPA, 2025).

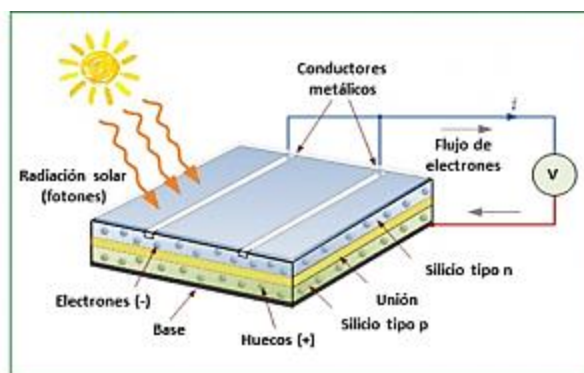


Figura 1.9 Principio de funcionamiento de la energía fotovoltaica

Fuente: (APPA, 2025)

El avance tecnológico en la eficiencia de los paneles solares, junto con la reducción de los costos de fabricación, ha impulsado la adopción de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial. Hoy en día, esta tecnología se destaca como una de las alternativas más prometedoras para la transición energética hacia un modelo más limpio y sostenible. Además, los avances en almacenamiento de energía y la integración de los sistemas solares con redes inteligentes están solucionando las limitaciones de intermitencia de la energía solar, permitiendo su uso continuo y ampliando su potencial para cubrir la demanda energética sin depender de fuentes fósiles (Fraunhofer, 2023).

1.5.4.1. Sistema fotovoltaico OFFGRID.

Un sistema fotovoltaico offgrid es una instalación autónoma que opera sin conexión a la red eléctrica convencional. Se utiliza principalmente en áreas remotas o en lugares donde la infraestructura eléctrica es limitada o económicamente inviable. Según investigaciones recientes, estos sistemas son fundamentales para la electrificación de zonas rurales, especialmente en regiones con escasos recursos energéticos y baja conectividad eléctrica (IRENA, 2023).

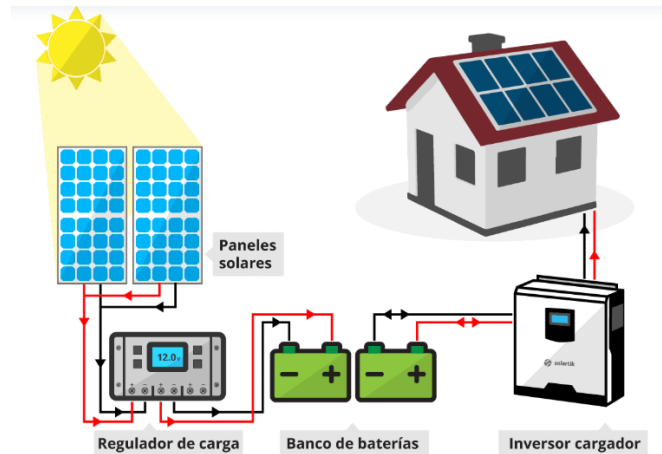


Figura 1.10 Sistema fotovoltaico offgrid convencional

Fuente: (Solartik, 2025)

Un sistema fotovoltaico offgrid convencional está compuesto por paneles solares, un inversor, baterías y un regulador solar, los cuales convierten la energía solar en electricidad, adaptándola a la tensión necesaria para alimentar electrodomésticos, herramientas, motores y otros dispositivos (Solartik, 2025).

1.5.4.2. Componentes de un sistema fotovoltaico OFFGRID.

Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos convierten la energía solar en electricidad mediante celdas fotovoltaicas de silicio. Su diseño está optimizado para resistir condiciones climáticas adversas y su vida útil puede superar los 25 años. Actualmente, las tecnologías más eficientes incluyen los paneles monocristalinos y bifaciales, que presentan un rendimiento superior (EcoInventos, 2022).



Figura 1.11 Paneles fotovoltaicos

Fuente: (EcoInventos, 2022)

Inversor OFFGRID

Es un dispositivo que convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) para su uso en equipos eléctricos convencionales, con la capacidad de aprovechar energía que puede ser almacenada en baterías (EcoInventos, 2022). Además, existen diversas tecnologías y configuraciones que se explican a continuación.

- **Sistema con regulador de carga e inversor separados:** En esta configuración, se emplean dos equipos por separado, un regulador de carga el cual gestiona la energía que fluye desde los paneles solares hacia las baterías, asegurando que no se sobrecarguen ni descarguen en exceso. El inversor, por separado, convierte la energía almacenada en corriente alterna para su uso (Peña, 2023).

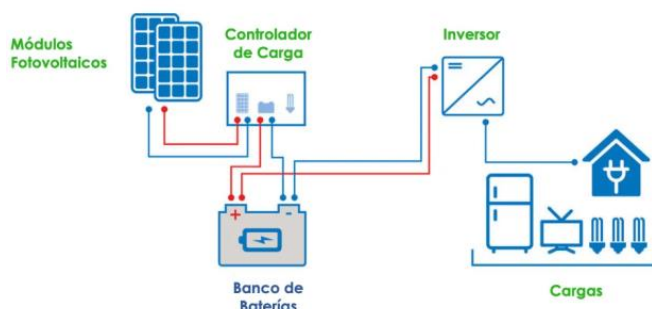


Figura 1.12 Sistema fotovoltaico offgrid con regulador de carga e inversor separados

Fuente: (Peña, 2023)

- **Sistema con inversor híbrido offgrid:** Este tipo de inversor combina en un solo equipo las funciones del regulador de carga y del inversor, optimizando el control de la energía en el sistema. Ofrece una gestión más eficiente de la carga y descarga de baterías, reduciendo pérdidas energéticas y simplificando la instalación del sistema (SOLAREA, 2025).

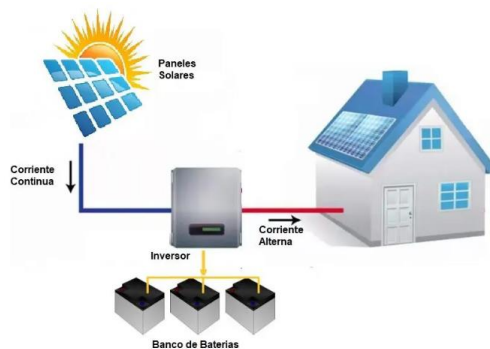


Figura 1.13 Sistema compuesto por un inversor híbrido offgrid

Fuente: (SOLAREA, 2025)

Baterías de Almacenamiento Solares

Las baterías solares juegan un papel fundamental en los sistemas fotovoltaicos al almacenar la energía generada por los paneles solares para su utilización cuando no hay radiación solar, como durante la noche o en días nublados. Esto permite que el sistema solar siga suministrando energía a las cargas conectadas incluso cuando no está generando electricidad activamente. Existen diferentes tecnologías de baterías utilizadas en estos sistemas, y las más comunes son las baterías de iones de litio y las de plomo-ácido, cada una con características y ventajas particulares (Divya & Ostergaard, 2021).

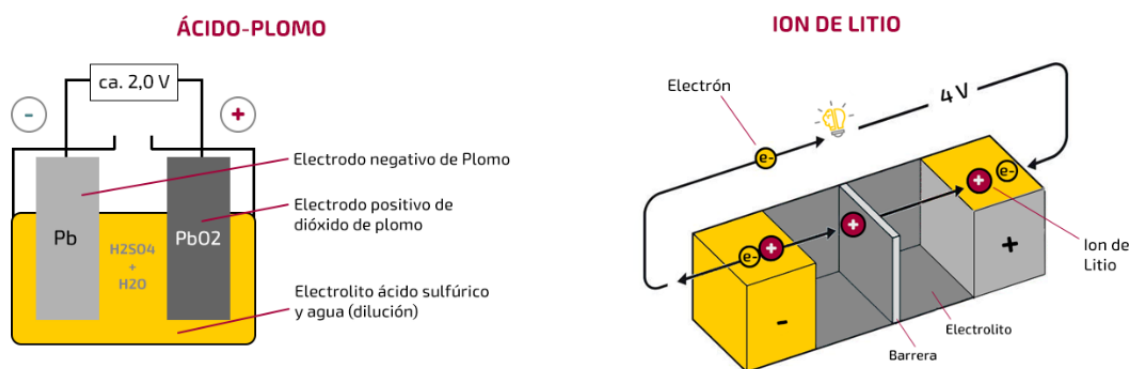


Figura 1.14 Descripción y componentes de las baterías de Litio y Plomo-Ácido

Fuente: (Orduño, 2022)

Las baterías de iones de litio se han convertido en la opción preferida en los sistemas fotovoltaicos debido a su alta eficiencia, larga vida útil y menor mantenimiento en comparación con otras tecnologías. Estas baterías tienen una mayor densidad energética, lo que significa que pueden almacenar más energía en un tamaño y peso más compacto. Además, presentan un ciclo de vida más largo, con la capacidad de realizar más ciclos de carga y descarga sin sufrir una degradación significativa de su capacidad. Esto las convierte en una opción ideal para sistemas solares residenciales y comerciales que buscan maximizar el rendimiento y la durabilidad del almacenamiento de energía. Aunque son más caras inicialmente, los costos de las baterías de iones de litio han disminuido con el tiempo, lo que las hace más accesibles (Orduño, 2022).

Por otro lado, las baterías de plomo-ácido han sido una tecnología tradicionalmente utilizada en sistemas solares debido a su costo inicial más bajo. Estas baterías funcionan mediante una reacción química entre el plomo y el ácido sulfúrico, lo que genera electricidad. Aunque son más asequibles, las baterías de plomo-ácido tienen una menor densidad energética, lo que significa que necesitan ser más grandes y pesadas para almacenar la misma cantidad de energía que las de iones de litio. Además, su ciclo de vida es más corto y requieren un mantenimiento regular, ya que deben ser rellenadas con agua destilada y pueden sufrir un deterioro más rápido si se descargan profundamente. A pesar de estas desventajas, siguen siendo una opción viable para usuarios que tienen un presupuesto limitado o necesitan soluciones de almacenamiento de menor capacidad (Orduño, 2022).

1.5.4.3. Grupo Electrónico de Diésel.

El generador diésel es una alternativa completamente diferente a los sistemas fotovoltaicos aislados, especialmente en áreas donde la instalación de un sistema solar puede ser costosa o poco práctica debido a condiciones climáticas desfavorables o la falta de espacio para paneles solares. A diferencia de los sistemas fotovoltaicos, que dependen de la radiación solar, los generadores diésel funcionan de manera continua y no dependen de las condiciones ambientales, proporcionando energía confiable durante todo el día y la noche, independientemente de la disponibilidad de luz solar. Este tipo de generador es ideal en aplicaciones donde se necesita un suministro constante de energía, como en zonas rurales, industriales o en instalaciones críticas que no pueden permitirse interrupciones de suministro eléctrico (Garco Diesel, 2020).



Figura 1.15 Componentes básicos del generador de diésel

Fuente: (Garco Diesel, 2020)

Sin embargo, el generador diésel, al ser una solución totalmente distinta a los sistemas fotovoltaicos, presenta desventajas en términos de sostenibilidad y costos operativos. Los generadores diésel requieren combustible fósil, lo que implica un impacto ambiental considerable debido a las emisiones de CO₂ y otros contaminantes. Además, el costo del combustible y el mantenimiento frecuente de los generadores pueden generar altos gastos operativos a largo plazo. A pesar de estos inconvenientes, los generadores diésel siguen siendo una opción viable cuando la infraestructura solar no es práctica, y ofrecen una solución efectiva para garantizar un suministro eléctrico confiable en zonas sin acceso a la red eléctrica.

1.5.5. Ecoturismo

El ecoturismo es una modalidad de turismo sostenible que busca minimizar el impacto ambiental y promover la conservación de los ecosistemas. Se caracteriza por fomentar la educación ambiental y el desarrollo económico de las comunidades locales. Esta práctica prioriza actividades responsables con la naturaleza, como el avistamiento de fauna, senderismo y la participación en proyectos de conservación. Además, el ecoturismo contribuye a la generación de empleo en comunidades rurales, incentivando el uso de energías renovables y la implementación de tecnologías sostenibles para minimizar el impacto ecológico. Según la Organización Mundial del Turismo (UNWTO, 2023), el

ecoturismo ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado por la demanda de experiencias responsables y la conciencia ambiental creciente a nivel global.

1.5.5.1. Ecoturismo en el Cantón Espejo de la Provincia Carchi.

En la provincia de Carchi, particularmente en el cantón Espejo, el ecoturismo ha comenzado a destacarse como una alternativa de desarrollo económico que no solo promueve la conservación del medio ambiente, sino también el bienestar de las comunidades locales. Este cantón es conocido por su rica biodiversidad en parques nacionales y reservas ecológicas, como la Reserva Ecológica El Ángel. En los últimos años, se han implementado proyectos ecoturísticos que aprovechan estas áreas naturales, buscando no solo la atracción de turistas, sino también el fortalecimiento de la identidad cultural de las comunidades. Un caso representativo es el desarrollo de rutas de senderismo en el cantón Espejo, que permiten a los turistas explorar la flora y fauna local mientras aprenden sobre la importancia de la conservación. Estos senderos no solo son utilizados por los visitantes, sino que también son gestionados y promovidos por las comunidades locales, quienes reciben formación en la interpretación ambiental y en prácticas de manejo sostenible. El ecoturismo en esta zona ha sido un motor para la implementación de energías renovables, como paneles solares en alojamientos y centros de información, lo cual contribuye a la reducción del impacto ambiental (García, 2023).



Figura 1.16 Reserva Ecológica El Ángel

Fuente: (García, 2023)

En el estudio realizado por López et al. (2022), se analizó el impacto del ecoturismo en la economía local y la biodiversidad del cantón Espejo, Carchi, utilizando un enfoque metodológico que combinó encuestas, entrevistas y análisis de indicadores económicos antes y después de la implementación de los proyectos. Los resultados mostraron un aumento en el empleo, especialmente en sectores como la guía turística y la infraestructura de hospedaje, y una mejora en la calidad de vida de los habitantes, reflejada en el acceso a servicios básicos y la capacitación en gestión ambiental. Además, se destacó que la participación activa de las comunidades locales en la gestión de las iniciativas ecoturísticas fue clave para su éxito, promoviendo la conciencia ambiental y la adopción de prácticas sostenibles. Este modelo de ecoturismo sostenible ha generado beneficios económicos y ambientales, sirviendo como un ejemplo replicable para otras regiones de Ecuador,

demostrando cómo la colaboración entre comunidades, el gobierno y las organizaciones ecoturísticas puede fomentar un desarrollo equilibrado y de largo plazo.

1.6. Metodologías de Diseño para Sistemas Fotovoltaicos

El diseño de sistemas fotovoltaicos requiere la aplicación de metodologías estructuradas que permitan dimensionar correctamente los componentes y garantizar un funcionamiento óptimo. Para ello, se utilizan herramientas de cálculo manual y software especializado que facilitan el análisis y la optimización del sistema. A continuación, se describen las principales metodologías empleadas en el diseño de sistemas fotovoltaicos (López, Pérez, & Sánchez, 2024).

1.6.1. Cálculo Manual

El diseño manual de un sistema fotovoltaico requiere un enfoque metódico para garantizar un suministro energético eficiente, confiable y adaptado a las necesidades del usuario.

1.6.1.1. Determinación de la Demanda Energética.

El proceso inicia con la evaluación de la demanda energética, la cual se determina a partir del cálculo del consumo diario de electricidad. Para ello, se elabora un inventario de cargas que identifica los equipos eléctricos, su potencia nominal y el tiempo de operación diario. Además, se define un factor de simultaneidad con el propósito de evitar el sobredimensionamiento del sistema, optimizando su costo y rendimiento (González & Ramírez, 2023).

1.6.1.2. Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico.

El dimensionamiento del generador fotovoltaico se basa en la irradiación solar disponible en el sitio de instalación. Para ello, se emplean bases de datos meteorológicas reconocidas, como NASA, PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) y Meteonorm, las cuales proporcionan información detallada sobre irradiancia global horizontal (GHI), irradiancia en plano inclinado, temperatura ambiente y otros parámetros clave. Además, se consideran pérdidas por temperatura, acumulación de polvo, eficiencia de los inversores y resistencias en el cableado. Con esta información, se determina la cantidad y el tipo de paneles solares necesarios para cubrir la demanda energética establecida (González & Ramírez, 2023).

1.6.1.3. Selección y Dimensionamiento del Banco de Baterías.

En el caso de sistemas off-grid, se procede al dimensionamiento del banco de baterías, determinando la capacidad de almacenamiento requerida en función de la autonomía deseada y la profundidad de descarga admisible. La selección del tipo de batería depende de factores como la eficiencia, vida útil, costos de mantenimiento y desempeño en diversas condiciones ambientales (González & Ramírez, 2023).

1.6.1.4. Dimensionamiento del Inversor.

Para garantizar un suministro eléctrico adecuado, el inversor se dimensiona en función de la potencia máxima demandada por las cargas, asegurando su compatibilidad con los paneles solares y el banco de baterías. En sistemas híbridos, se evalúa la integración de inversores con respaldo de generadores diésel o conexión a la red eléctrica, lo que permite mejorar la confiabilidad del suministro (González & Ramírez, 2023).

1.6.1.5. Diseño del Cableado y Protecciones.

El diseño del sistema eléctrico incluye el cálculo de la sección de los conductores para minimizar caídas de tensión, asegurando un transporte eficiente de la energía generada. Asimismo, se seleccionan dispositivos de protección, como fusibles, interruptores termomagnéticos y protecciones contra sobretensiones, garantizando la seguridad del sistema y de los usuarios. Finalmente, se implementa un sistema de puesta a tierra adecuado para prevenir fallas eléctricas y proteger los equipos ante descargas atmosféricas o derivaciones accidentales (González & Ramírez, 2023).

1.6.2. Uso de Software Especializado

El diseño de sistemas fotovoltaicos se apoya en herramientas informáticas especializadas que permiten modelar, simular y evaluar el desempeño del sistema con alta precisión. Estas plataformas optimizan el proceso de dimensionamiento, reducen tiempos de cálculo y mejoran la selección de componentes al considerar factores técnicos, económicos y ambientales (López et al., 2024).

- **PVSOL:** Diseñado para la simulación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red o con almacenamiento. Permite analizar el impacto de sombreados, evaluar la eficiencia de los componentes y calcular costos de inversión. Su interfaz gráfica facilita la representación en 3D del entorno de instalación, mejorando la estimación del rendimiento energético.
- **HelioScope:** Herramienta basada en la nube diseñada para la simulación y análisis de sistemas fotovoltaicos. Se destaca por su facilidad de uso y su capacidad para realizar modelados detallados de sombreado, optimizar la disposición de los paneles y calcular la producción energética del sistema. Su integración con bases de datos meteorológicas y su enfoque en la eficiencia del diseño lo convierten en una opción popular para empresas de ingeniería y desarrolladores de proyectos solares.
- **PVSyst:** Ampliamente utilizado en proyectos de gran escala y estudios académicos. Permite modelar pérdidas energéticas, optimizar configuraciones de paneles e inversores y realizar análisis detallados de la irradiación del sitio. También incluye herramientas para evaluar la influencia de temperatura, suciedad y degradación de los módulos.

- **HOMER Pro:** Software especializado en el diseño de sistemas híbridos que combinan energía solar, almacenamiento en baterías y generación con respaldo (por ejemplo, generadores diésel). Su motor de simulación evalúa la factibilidad técnica y económica de múltiples configuraciones, permitiendo optimizar costos y rendimiento en función de diferentes escenarios de operación.
- **SAM (System Advisor Model):** Desarrollado por el NREL (National Renewable Energy Laboratory), este software integra herramientas avanzadas para evaluar la producción energética y viabilidad financiera de proyectos fotovoltaicos. Incluye análisis de incentivos, esquemas de financiamiento y estudios de retorno de inversión, facilitando la toma de decisiones en proyectos comerciales y a gran escala.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el centro turístico conocido como Paradero El Labrador, ubicado en la parroquia San Isidro, cantón Espejo, provincia del Carchi, Ecuador, cuyas coordenadas geográficas aproximadas son $77^{\circ} 59' 12''$ de longitud oeste y $00^{\circ} 36' 7.7''$ de latitud norte, según lo reportado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de San Isidro (2023).

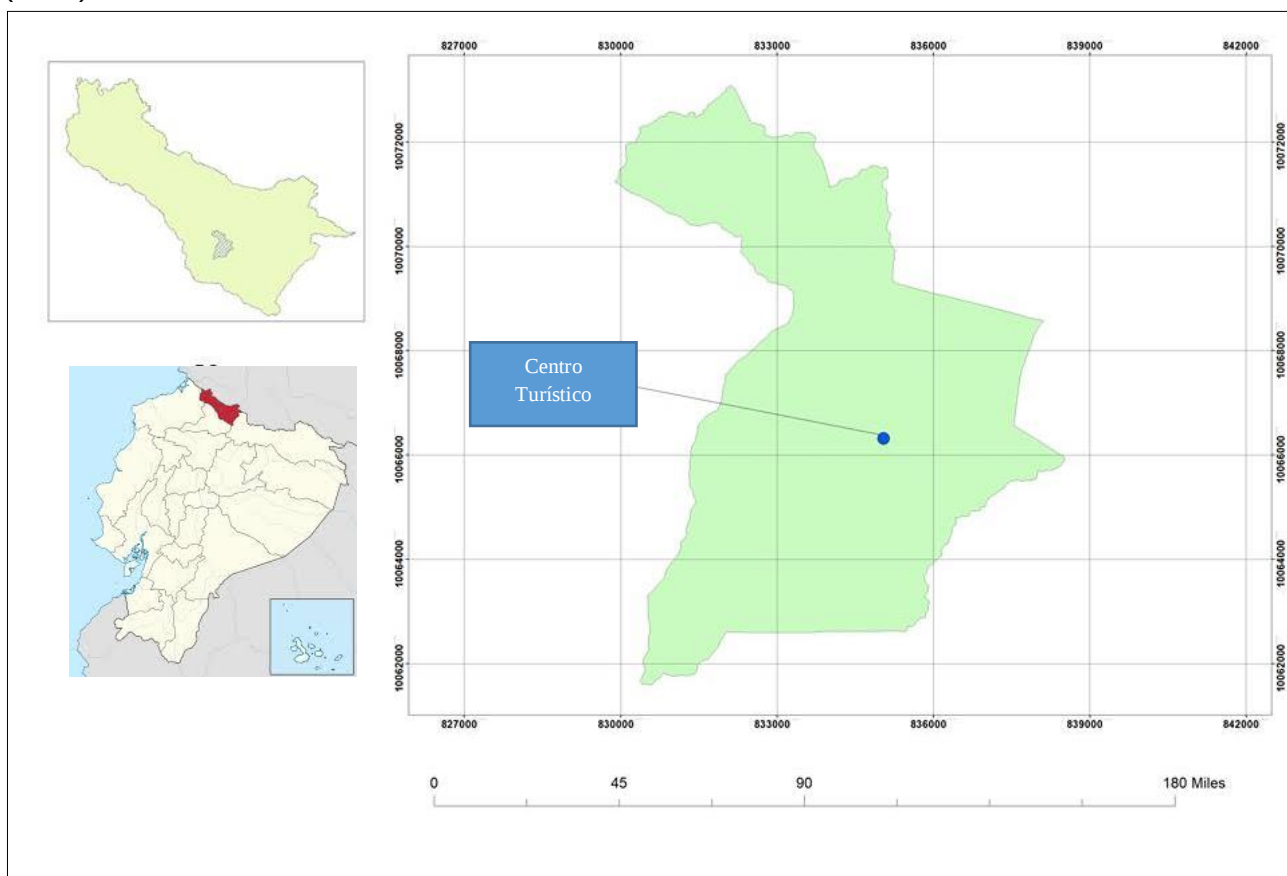


Figura 2.1 Mapa base de la parroquia San Isidro

Fuente: Autor

2.1.1. Descripción del Centro Turístico

Este atractivo turístico es conocido por su ambiente acogedor y natural, ofreciendo a los visitantes una experiencia única en contacto con la naturaleza. Cuenta con diversas instalaciones, como una piscina, áreas verdes y espacios recreativos ideales para el descanso y la recreación familiar. Además, ofrece una variada oferta gastronómica, destacando los sabores típicos de la región como la trucha, el cuy, el hornado pastuso, entre otros. El centro se caracteriza por su compromiso con el turismo sostenible, promoviendo el cuidado del medio ambiente y el respeto por la cultura local.



Figura 2.2 Áreas recreacionales del Centro Turístico

Fuente: Autor

La Figura 2.3 presenta el letrero de entrada al centro turístico, el cual sirve como elemento identificativo del sitio y da la bienvenida a los visitantes, marcando el acceso a sus instalaciones.



Figura 2.3 Letrero de ingreso al centro turístico.

Fuente: Autor

A continuación, se muestra una vista panorámica del área comunal del centro turístico, un espacio destinado a la realización de actividades recreativas, culturales y sociales,

destinado al uso de los visitantes. El sistema fotovoltaico debe cubrir la demanda del este espacio por lo que será necesario hacer un levantamiento de cada uno de los equipos eléctricos que posee, determinando además su tiempo de uso por medio de una encuesta al propietario descrita en el anexo F, estableciendo además el tiempo de autonomía que se desea en el acumulador.



Figura 2.4 Área comunal del centro turístico

Fuente: Autor

2.1.2. Tipo de Techo en el Área Comunal

El techo del área comunal del centro turístico es trapezoidal e inclinado a 35° , con un área de $31,35 \text{ m}^2$, lo que facilita la evacuación del agua de lluvia y la captación de luz solar, optimizando la instalación de paneles solares, al contar también con una línea de vida ya instalada.



Figura 2.5 Techo disponible en el área comunal del centro turístico

Fuente: Autor

2.2. Estudio de Demanda y Carga

En primer lugar, el estudio detalla la demanda de energía eléctrica en el área comunal del centro turístico Paradero El Labrador, lo que implica analizar los diferentes equipos y dispositivos eléctricos que se utilizarán, así como estimar sus horas de funcionamiento y consumos de energía (Murillo, 2024).

Tabla 2.1
Energía demandada por el área comunal del centro turístico

Cargas	Número	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Uso al día (h)	Energía (Wh/día)	Uso Nocturno (h)	Energía (Wh/noche)
Guirnalda de 15 focos Led	1	36	36	0	0	4	144
Reflector LED	2	75	150	4	600	4	600
Cafetera	1	760	760	0,5	380	0,5	380
Congelador de 1 puerta	1	650	650	4	2600	4	2600
Televisor de 40 pulgadas	1	620	620	2	1240	2	1240
Equipo de Sonido	1	680	680	1,5	1020	3	1020
Total Cargas			2 896		5 840		5 984

Fuente: Autor

2.3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico OFFGRID

En el dimensionamiento del sistema, fue necesario considerar una serie de datos, que se detallan a continuación. La base de datos ideal seleccionada para este estudio fue NREL, obtenida a partir de cuatro alternativas existentes en el software de diseño HelioScope, al ser la más cercana al punto de estudio, con 1,12 kilómetros de distancia.

Tabla 2.2
Comparativa entre datos de radiación de las bases de datos disponibles en Helioscope

Base de Datos	Distancia (km)	Radiación (kWh/m ²)
NREL	1,12	4,7
Meteonorm 7	1,6	5,3
Meteonorm 8	1,6	4,7
IWEC	100,1	4,7

Fuente: (HeliosCope, 2025)

Además, se optó por una tensión de 24 V (voltaje) para el sistema, considerando un inversor híbrido offgrid que trabaje a este nivel de voltaje para la batería, considerando también una tensión de entrada fotovoltaica por cada MPPT de 125 V, siguiendo la metodología propuesta por Baquero (2022).

- Latitud o grados norte: 0,616667
- Longitud o grados oeste: -77,9833
- Radiación media diaria sobre una superficie horizontal (G_{dm} (0°)) en la parroquia: 4,7 kWh/m² (kilovatios hora sobre metro cuadrado).
- Radiación en condiciones estándar de medida (G_{CEM}): 1 kWh/m²
- Orientación (α) del módulo al sur: 0°
- Ángulo de inclinación (β) del módulo: 35°
- Eficiencia del inversor híbrido: 80%
- Tensión nominal del inversor: 125 V
- Tensión nominal del sistema: 24 V
- Factor de sombra (FS%): 3%
- Rendimiento energético para la batería (PR): 70%

Se seleccionaron tres opciones de módulos fotovoltaicos con el fin de identificar el más adecuado para alimentar el sistema, cuyas características técnicas se presentan en la tabla 2.3 (Baquero, 2022).

Tabla 2.3
Alternativas de módulos fotovoltaicos para el diseño del sistema

Opción	Marca	Modelo	Parámetros técnicos	Datos
A	LONGi	LR5-550M	Potencia	550 W
			Tensión en circuito abierto (Voc)	48,7 V
			Tensión en el punto de máxima potencia (Vmp)	40,5 V
			Corriente en corto circuito (Isc)	14,7 A
			Corriente en el punto de máxima potencia (Imp)	13,6 A
B	JA Solar	JAM72S20	Potencia	500 W
			Tensión en circuito abierto (Voc)	49 V
			Tensión en el punto de máxima potencia (Vmp)	41,5 V
			Corriente en corto circuito (Isc)	14,3 A
			Corriente en el punto de máxima potencia (Imp)	12 A
C	Canadian Solar	HiKu CS3W	Potencia	450 W
			Tensión en circuito abierto (Voc)	49,1 V
			Tensión en el punto de máxima potencia (Vmp)	41,1 V
			Corriente en corto circuito (Isc)	11,6 A
			Corriente en el punto de máxima potencia (Imp)	10,9 A

Fuente: (Helios, 2025)

Además, para determinar la capacidad necesaria del acumulador, se eligieron 3 opciones de baterías, las cuales se detallan en la tabla 2.4 a continuación (Baquero, 2022)

Tabla 2.4
Alternativas de baterías para el acumulador

Opción	Marca	Modelo	Parámetros técnicos	Datos
A	Trojan	T-145	Tensión nominal de la batería (V_{nom})	12 V
			Capacidad nominal de la batería (CN)	200 Ah
			Eficiencia (η_{bat})	90%
B	Trojan	J305-RE	Tensión nominal de la batería (V_{nom})	12 V
			Capacidad nominal de la batería (CN)	250 Ah
			Eficiencia (η_{bat})	90%
C	CSPOWER	HTL12-300Ah	Tensión nominal de la batería (V_{nom})	12 V
			Capacidad nominal de la batería (CN)	300 Ah
			Eficiencia (η_{bat})	90%

. Fuente: (Helios, 2025)

Como segundo punto, se calculó la irradiación media diaria sobre el plano del generador fotovoltaico, empleando un valor de 0.96 para el factor de corrección (k) obtenido en la latitud de la parroquia representada en anexo A (Baquero, 2022).

(Ecuación 1) Irradiación media diaria sobre el plano del generador fotovoltaico:

$$G_{md}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0^\circ) \times k \times FI \times FS$$

Dónde:

$G_{md}(\alpha, \beta)$ = Irradiación media diaria sobre el plano del generador fotovoltaico (kWh/m²)

$G_{dm}(0^\circ)$ = Irradiación media sobre la horizontal (kWh/m²)

FI = Factor de irradiación

FS = Factor de sombra

Obteniendo el siguiente resultado:

$$G_{md}(\alpha, \beta) = 4,7 \left(\frac{kWh}{m^2} \right) \times 0,96 \times 0,9 \times 0,97$$

$$G_{md}(\alpha, \beta) = 3,9 \left(\frac{kWh}{m^2} \right)$$

Para calcular el factor de irradiación, se utilizó la siguiente fórmula, tomando en cuenta el ángulo de inclinación de 35° del techo del área comunal para el módulo (Baquero, 2022).

(Ecuación 2) Factor de irradiación: $FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2]$

Dónde:

FI = Factor de irradiación

β = Ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo

α = Orientación del módulo fotovoltaico

Obteniendo el siguiente resultado:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (35^\circ - 7^\circ)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times 0^2]$$

$$FI = 0,9$$

Aunque el ángulo de inclinación óptimo para el país es de 7° , este valor puede determinarse mediante la aplicación de la siguiente ecuación (Baquero, 2022).

(Ecuación 3) Ángulo de inclinación óptimo: $\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \times |\phi|$

Dónde:

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo

ϕ = Latitud del lugar seleccionado

Obteniendo el siguiente resultado:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \times |0,61|$$

$$\beta_{opt} = 4,12$$

El factor de sombra se calculó utilizando la ecuación que se muestra a continuación (Baquero, 2022).

(Ecuación 4) Factor de sombra: $FS = 1 - FS\%$

Dónde:

FS = Factor de sombra

FS% = Porcentaje del factor de sombra (%)

Obteniendo el siguiente resultado:

$$FS = 1 - 3\%$$

$$FS = 0,97$$

El tercer paso consistió en calcular la potencia mínima del generador fotovoltaico utilizando la siguiente ecuación (Baquero, 2022).

(Ecuación 5) Potencia mínima del sistema: $P_{mp_{min}} = \frac{ED \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR}$

Dónde:

$P_{mp_{min}}$ = Potencia mínima del sistema (kW)

ED = Consumo total de energía diario (kWh/día)

G_{CEM} = Radiación en condiciones estándar de medida (kWh/m²)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ = Irradiación media diaria sobre el plano del generador fotovoltaico (kWh/m²)

PR = Rendimiento energético para la batería (%)

Obteniendo el siguiente resultado:

$$P_{mp_{min}} = \frac{11,824 \left(\frac{kWh}{día} \right) \times 1 \left(\frac{kWh}{m^2} \right)}{3,9 \left(\frac{kWh}{m^2} \right) \times 70\%}$$

$$P_{mp_{min}} = 4,36 \text{ (kW)}$$

El número total de módulos fotovoltaicos del sistema, tanto en paralelo como en serie, se calculó utilizando las siguientes ecuaciones, en función de las tres alternativas de módulos previamente seleccionadas en la tabla 2.3 (Baquero, 2022).

(Ecuación 6) Número de módulos en serie: $NS = \frac{V_{nom} (Inversor)}{V_{mp} (módulo)}$

Dónde:

NS = Número de módulos en serie

V_{nom} = Tensión nominal del inversor (V)

V_{mp} = Tensión en el punto de máxima potencia del módulo (V)

El resultado para la opción A es el siguiente:

$$NS = \frac{125 \text{ V}}{40,5 \text{ V}}$$

$$NS = 3$$

El resultado para la opción B es el siguiente:

$$NS = \frac{125 \text{ (V)}}{41,5 \text{ (V)}}$$

$$NS = 3,01 \approx 4$$

El resultado para la opción C es el siguiente:

$$NS = \frac{125 \text{ (V)}}{41,1 \text{ (V)}}$$

$$NS = 3,04 \approx 4$$

(Ecuación 7) Número de módulos en paralelo: $N_p = 1,2 \times \frac{\frac{P_{mp_{min}}}{V_{nom}}}{NS \cdot I_{mp} \text{ (módulo)}}$

Dónde:

N_p = Número de módulos en paralelo

$P_{mp_{min}}$ = Potencia mínima del sistema (W)

V_{nom} = Tensión nominal del inversor (V)

NS = Número de módulos en serie

I_{mp} = Corriente en el punto de máxima potencia del módulo (A)

El resultado para la opción A es el siguiente:

$$N_p = 1,2 \times \frac{\frac{4360 \text{ (W)}}{125 \text{ (V)}}}{1 \times 13,6}$$

$$N_p = 3$$

El resultado para la opción B es el siguiente:

$$N_p = 1,2 \times \frac{\frac{4360 \text{ (W)}}{125 \text{ (V)}}}{1 \times 12}$$

$$N_p = 2,9 \approx 3$$

El resultado para la opción C es el siguiente:

$$N_p = 1,2 \times \frac{\frac{4360 \text{ (kW)}}{125 \text{ (V)}}}{1 \times 10,9}$$

$$N_p = 2,5 \approx 3$$

A continuación, se calculó la potencia total del sistema utilizando la siguiente ecuación (Baquero, 2022).

(Ecuación 8) Potencia total del sistema: $P_{mp, \text{sistema}} = NS \times NP \times P_{max}$

Dónde:

$P_{mp, \text{sistema}}$ = Potencia total del sistema (W)

NS = Número de módulos en serie

N_p = Número de módulos en paralelo

P_{max} = Potencia del módulo (W)

El resultado para la opción A es el siguiente:

$$\begin{aligned} P_{mp, sistema} &= 3 \times 3 \times 550 \text{ (W)} \\ P_{mp, sistema} &= 4\,950 \text{ (W)} \end{aligned}$$

El resultado para la opción B es el siguiente:

$$\begin{aligned} P_{mp, sistema} &= 4 \times 3 \times 500 \text{ (W)} \\ P_{mp, sistema} &= 6\,000 \text{ (W)} \end{aligned}$$

El resultado para la opción C es el siguiente:

$$\begin{aligned} P_{mp, sistema} &= 4 \times 3 \times 450 \text{ (W)} \\ P_{mp, sistema} &= 5\,400 \text{ (W)} \end{aligned}$$

Se verificó mediante los siguientes métodos que la capacidad del sistema no presenta sobredimensionamientos ni pérdidas de energía. En caso de encontrar fallos, será necesario ajustar el número de módulos hasta determinar la opción más adecuada (Baquero, 2022).

El método 1 debe cumplir con la siguiente relación: $P_{mp, sistema} > P_{mp_{min}}$

El método 2 debe cumplir con la siguiente relación: $P_{mp, sistema} > 12 \cdot P_{mp_{min}}$

El resultado para la opción A es el siguiente:

- Método 1:

$$4\,950 \text{ (W)} > 4\,360 \text{ (W)}$$

El sistema cumple con los parámetros establecidos en la comprobación del método 1.

- Método 2:

$$\begin{aligned} 4\,950 \text{ (W)} &> 1.2 \times 4\,360 \text{ (W)} \\ 4\,950 \text{ (W)} &> 5\,232 \text{ (W)} \end{aligned}$$

El sistema no cumple con los parámetros establecidos en la comprobación del método 2.

El resultado para la opción B es el siguiente:

- Método 1:

$$6\,000 \text{ (W)} > 4\,360 \text{ (W)}$$

El sistema cumple con los parámetros establecidos en la comprobación del método 1.

- Método 2:

$$6\,000 \text{ (W)} > 1.2 \times 4\,360 \text{ (W)}$$

$$6\,000 \text{ (W)} > 5\,232 \text{ (W)}$$

El sistema cumple con los parámetros establecidos en la comprobación del método 2.

El resultado para la opción C es el siguiente:

- Método 1:

$$5\,400\text{ (W)} > 4\,360\text{ (W)}$$

El sistema cumple con los parámetros establecidos en la comprobación del método 1.

- Método 2:

$$5\,400\text{ (W)} > 1,2 \times 4\,360\text{ (W)}$$

$$5\,400\text{ (W)} > 5\,232\text{ (W)}$$

El sistema cumple con los parámetros establecidos en la comprobación del método 2.

Tras analizar las alternativas A, B y C, se seleccionó la opción C como la más adecuada para el estudio, ya que utiliza paneles solares de menor capacidad y tamaño, lo que disminuye los costos y facilita la ejecución del proyecto. Como cuarto paso, se calculó la capacidad del acumulador utilizando la siguiente ecuación, considerando un día de autonomía para el sistema, una profundidad de descarga diaria máxima del 20% y una profundidad de descarga estacional máxima del 90% (Baquero, 2022).

(Ecuación 9) Capacidad nominal de la batería: $CN = \frac{Lmd \times Daut}{PDe \times Vn \times \eta_{bat}}$

Dónde:

CN = Capacidad nominal de la batería (Ah)

Lmd = Energía media diaria de las cargas (Wh)

Daut = Días de autonomía

PDe = Profundidad de descarga máxima estacional (%)

V_{nom_bat} = Tensión nominal (V)

η_{bat} = Rendimiento de la batería (%)

Obteniendo el siguiente resultado:

$$CN = \frac{5\,984\text{ (Wh)} \times 1}{90\% \times 24\text{ (V)} \times 90\%}$$

$$CN = 307,81\text{ (Ah)}$$

En esta etapa se llevó a cabo un método de comprobación para asegurar el correcto dimensionamiento del sistema, cumpliendo con el siguiente requerimiento (Baquero, 2022).

(Ecuación 10) Método de comprobación: $CN \leq 25 \times I_{sc}, GFV$

Dónde:

CN = Capacidad nominal de la batería (Ah)

I_{sc}, GFV = Corriente en cortocircuito del generador fotovoltaico (A)

Obteniendo el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} 307,81 \text{ Ah} &\leq 25 \times 13,7 \text{ A} \\ 307,81 \text{ Ah} &\leq 342,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Se verificó que el procedimiento cumpliera con los requerimientos del sistema, lo que permitió determinar el número de baterías necesarias y su configuración (en serie o en paralelo), basándose en las alternativas de baterías seleccionadas previamente y aplicando las siguientes ecuaciones (Baquero, 2022).

(Ecuación 11) Número total de baterías: $NTB = \frac{V_{nom} \times CN}{V_{nom_bat} \times C_{nom_bat}}$

Dónde:

NTB = Número total de baterías

V_{nom} = Tensión nominal de la batería (V)

CN = Capacidad nominal de la batería (Ah)

V_{nom_bat} = Tensión real de la batería (V)

C_{nom_bat} = Capacidad real de la batería (Ah)

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa A:

$$\begin{aligned} NTB &= \frac{24 \text{ (V)} \times 307,81 \text{ (Ah)}}{12 \text{ (V)} \times 200 \text{ (Ah)}} \\ NBT &= 3,07 \approx 4 \end{aligned}$$

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa B:

$$\begin{aligned} NTB &= \frac{24 \text{ (V)} \times 307,81 \text{ (Ah)}}{12 \text{ (V)} \times 250 \text{ (Ah)}} \\ NBT &= 2,46 \approx 3 \end{aligned}$$

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa C:

$$\begin{aligned} NTB &= \frac{24 \text{ (V)} \times 307,81 \text{ (Ah)}}{12 \text{ (V)} \times 300 \text{ (Ah)}} \\ NBT &= 2 \end{aligned}$$

(Ecuación 12) Número de baterías en serie: $NBs = \frac{V_{nom}}{V_{nom_bat}}$

Dónde:

NBs = Número de baterías en serie

V_{nom} = Tensión nominal (V)

V_{nom_bat} = Tensión real de la batería (V)

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa A:

$$\begin{aligned} \text{NBs} &= \frac{24 \text{ (V)}}{12 \text{ (V)}} \\ \text{NBs} &= 2 \end{aligned}$$

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa B:

$$\begin{aligned} \text{NBs} &= \frac{24 \text{ (V)}}{12 \text{ (V)}} \\ \text{NBs} &= 2 \end{aligned}$$

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa C:

$$\begin{aligned} \text{NBs} &= \frac{24 \text{ (V)}}{12 \text{ (V)}} \\ \text{NBs} &= 2 \end{aligned}$$

(Ecuación 13) Número de baterías en paralelo: $\text{NBp} = \frac{\text{NTB}}{\text{NBs}}$

Dónde:

NBp = Número de baterías en paralelo

NTB = Número total de baterías

NBs = Número de baterías en serie

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa A:

$$\begin{aligned} \text{NBp} &= \frac{4}{2} \\ \text{NBp} &= 2 \end{aligned}$$

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa B:

$$\begin{aligned} \text{NBp} &= \frac{3}{2} \\ \text{NBp} &= 1,5 \approx 2 \end{aligned}$$

Obteniendo el siguiente resultado para la alternativa C:

$$\begin{aligned} \text{NBp} &= \frac{2}{2} \\ \text{NBp} &= 1 \end{aligned}$$

Con el propósito de optimizar costos y espacio en función de la cantidad de baterías, se eligió la opción C como la alternativa más adecuada, ya que solo requiere un total de 2 baterías.

Por último, se determinó la capacidad del inversor utilizando las siguientes ecuaciones, con el fin de seleccionar el equipo más apropiado (Baquero, 2022).

(Ecuación 14) Corriente de entrada al inversor: $I_{\text{entrada}} = 1,25 \times I_{\text{sc}} \times N_p$

Dónde:

I_{entrada} : Corriente de entrada al inversor (A)

I_{sc} : Corriente en corto circuito del módulo (A)

N_p : Número de módulos en paralelo

Obteniendo el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} I_{\text{entrada}} &= 1,25 \times 13,7 \text{ (A)} \times 1 \\ I_{\text{entrada}} &= 17,12 \text{ A} \end{aligned}$$

(Ecuación 15) Tensión de entrada al inversor: $V_{\text{entrada}} = V_{\text{mp}} \times N_s$

Dónde:

V_{entrada} : Tensión de entrada al inversor (V)

V_{mp} : Tensión en el punto de máxima potencia del módulo (V)

N_s : Número de módulos en serie

Obteniendo el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} V_{\text{entrada}} &= 40,7 \text{ (V)} \times 3 \\ V_{\text{entrada}} &= 122,7 \text{ (V)} \end{aligned}$$

2.3.1. Selección del Inversor Híbrido

Los cálculos realizados previamente permitieron identificar la opción más adecuada para el sistema, así como las cantidades requeridas, las cuales se detallan a continuación.

- 3 paneles marca Canadian Solar, modelo HiKu CS3W de 450 W de potencia.
- 2 baterías marca CSPower, modelo HTL12-300Ah de 300 Ah de capacidad y 12 V (24 V en total).

De acuerdo a estas condiciones, se decidió implementar el inversor de la Marca Growatt, con el modelo SPF3000TLLVM-24P, que cumple con las características necesarias de tensión, corriente y potencia que se requiere para abastecer la demanda del área comunal del centro turístico, detallándose estas variables de mejor manera en su ficha técnica presentada en el anexo B.

Tabla 2.5
Relación entre la capacidad requerida del sistema y la capacidad del inversor seleccionado

Datos	Capacidad Requerida	Capacidad del Inversor
Voltaje de entrada (V)	122,7	145
Corriente de entrada (A)	17,12	80
Voltaje para Batería (V)	24	24
Potencia (kW)	2,89	3

Fuente: Autor

2.3.2. Selección de Cableado

- **Trazado de cable en DC:** Para la sección DC se optó por cable solar de 10 AWG diseñado específicamente para sistemas fotovoltaicos, con un requerimiento total de 30 metros, al cuantificarse una distancia entre el string y la ubicación destinada para el inversor de 15 metros. Además, para su conexión será necesario un conector MC4 macho y uno hembra.
- **Trazado de cable en AC:** Para el cableado en AC, se seleccionó un cable XLPE de 6 AWG, capaz de soportar hasta 65 A, considerando la corriente de salida monofásica del inversor de 60 A. La distancia entre el inversor y el tablero de cargas es de 5 metros, requiriendo un total de 10 metros de cable.

2.3.3. Selección de Protecciones

- **Sección DC:** En esta sección no es necesario incluir protecciones, ya que el inversor las incorpora internamente. No obstante, se decidió añadir un seccionador DC de 2 polos, con una capacidad de 20 A y 600 V, para facilitar la desconexión de los paneles durante tareas de mantenimiento.
- **Sección AC:** Dado que la corriente de salida del inversor es de 60 A, se consideró un breaker bipolar de 70 A como protección. Éste se ubicaría en el tablero de cargas del área comunal, ya que se dispone del espacio suficiente.

2.3.4. Cálculo de la Estructura de Anclaje

La estructura de anclaje necesaria para el sistema, considerando que el techo del área comunal es de lámina trapezoidal, debe incorporar anclajes tipo eje, conocidos como L Foot. Además, dado que el ancho de cada panel es de 1,048 metros, se definieron los siguientes materiales.

Tabla 2.6
Materiales para el sistema de anclaje de los paneles

Materiales	Detalle	Cantidad
RAIL de 3550mm	Unidad	2
Anclaje en eje (L foot)	Unidad	6
End clamp	Unidad	4
Mid clamp	Unidad	4

Fuente: Autor

En la siguiente imagen se detalla el arreglo necesario para la colocación de los paneles en la estructura de acuerdo a los materiales establecidos.

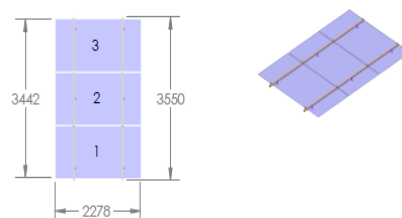


Figura 2.6 Arreglo de paneles en la estructura implementada para el diseño

Fuente: Autor

2.3.5. Modelado del Sistema

Para evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico propuesto, se realiza una simulación utilizando software HelioScope, permitiendo modelar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas y de operación a lo largo del año (Murillo, 2024).

Además, de acuerdo a la cantidad de energía que el sistema generaría de acuerdo a los resultados de la simulación, se va a calcular la cantidad de emisiones de CO₂ que se evitarían (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2022).

2.4. Análisis Financiero

El análisis financiero del proyecto evaluará la viabilidad económica del sistema fotovoltaico offgrid mediante el cálculo del VAN y la TIR, considerando los ingresos y egresos del proyecto. También se compararán las opciones del sistema fotovoltaico y un generador diésel, para analizar su rentabilidad y sostenibilidad. Este análisis se realizará con Microsoft Excel, aprovechando sus herramientas financieras y flexibilidad para asegurar cálculos precisos y confiables (Murillo, 2024).

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Simulación en HelioScope

En esta sección se presenta el análisis del sistema fotovoltaico mediante la simulación en HelioScope, herramienta que permitió modelar su rendimiento bajo diversas condiciones, proporcionando datos clave para evaluar la viabilidad del diseño y su capacidad para cubrir la demanda energética del área comuna del centro turístico.

3.1.1. Características del Sistema

En la figura siguiente se puede observar las principales características del sistema diseñado para abastecer la demanda del área comuna del centro turístico, llegando a destacar su potencia de 1,34 kW y un rendimiento del 79,1% (Murillo, 2024).



Figura 3.1 Características del sistema de acuerdo a la simulación en HelioScope

Fuente: (HeliosCope, 2025)

3.1.2. Pérdidas del Sistema

Según la simulación realizada, la mayor pérdida en el sistema se da por temperatura, que afecta su producción en un 8,8% (Murillo, 2024).

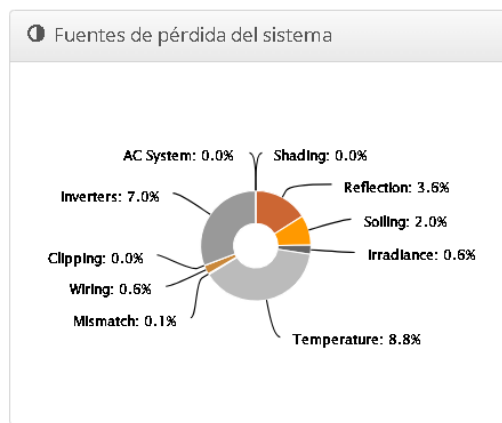


Figura 3.2 Pérdidas del sistema fotovoltaico Híbrido offgrid

Fuente: (HeliosCope, 2025)

3.1.3. Producción del Sistema

En la figura 3.3 se puede observar el comportamiento en la producción del sistema de manera mensual, que en promedio al año llega a producir un total de 1,848 MWh de energía (Murillo, 2024).

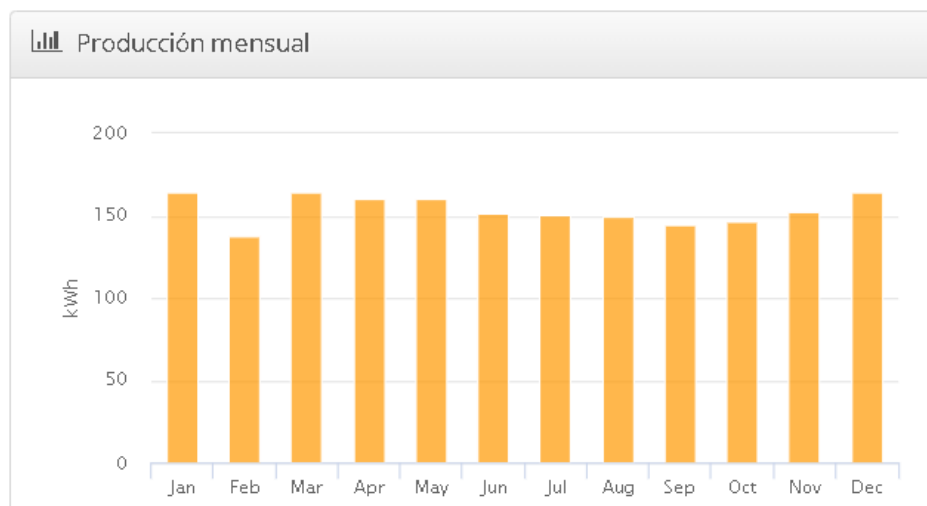


Figura 3.3 Producción mensual de energía del sistema

Fuente: (HeliosCope, 2025)

3.1.4. Distribución del Sistema

Se tiene planteado colocar el sistema en una pérgola especial que cuenta con el espacio suficiente para instalar los paneles fotovoltaicos, el inversor y la batería, además de que se encuentra cerca del tablero eléctrico que va permitir independizar las cargas del resto del sistema eléctrico, en caso de llegarse a implementar, mostrándose de manera detallada a continuación en la figura 3.4 (Murillo, 2024).

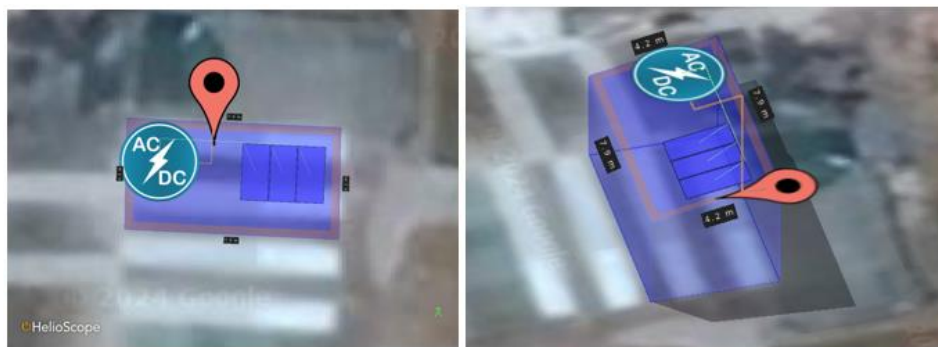


Figura 3.4 Distribución del Sistema Fotovoltaico Híbrido Offgrid

Fuente: (HeliosCope, 2025)

Además, se desarrolló un diagrama eléctrico de conexión que detalla la configuración y disposición de los componentes del sistema. Este diagrama se encuentra en el Anexo G, donde se presentan las conexiones eléctricas y los principales elementos que conforman la instalación.

3.2. Emisiones Evitadas por el Sistema Solar Fotovoltaico Offgrid

El sistema solar fotovoltaico propuesto generaría 1848 kWh de electricidad al año, lo que contribuiría a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de su vida útil estimada. Para calcular las emisiones evitadas, se considera el factor de emisión de dióxido de carbono (CO₂) asociado a la generación de electricidad en Ecuador. Según datos del Ministerio de Energía y Minas del Ecuador (2022), el factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado (SNI) ha mostrado una tendencia descendente en los últimos años. En 2020, este factor fue de 0,0576 kgCO₂/kWh, y en 2021 disminuyó a 0,0435 kgCO₂/kWh. Utilizando el factor de emisión promedio de 0,0505 kgCO₂/kWh (promedio de 2020 y 2021), las emisiones evitadas anuales se calculan de la siguiente manera.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones evitadas} &= \text{Generación Anual} \times \text{Factor de emisión} \\
 \text{Emisiones evitadas} &= 1848 \text{ kWh} \times 0,0505 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \\
 \text{Emisiones evitadas} &= 93,34 \text{ kg CO}_2 \text{ al año}
 \end{aligned}$$

Dado que el proyecto tiene una vida útil de 25 años, las emisiones evitadas a lo largo de toda la vida útil del sistema fotovoltaico serían las siguientes.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones evitadas en 25 años} &= 93,34 \text{ kg CO}_2 \text{ al año} \times 25 \text{ años} \\
 \text{Emisiones evitadas en 25 años} &= 2333,5 \text{ kg CO}_2
 \end{aligned}$$

De este modo, el sistema fotovoltaico instalado evita la emisión de aproximadamente 93 kg de CO₂ cada año, lo que se traduce en un total de 2334 kgde CO₂ evitados a lo largo de los 25 años de vida útil del proyecto.

3.3. Análisis Económico del Sistema

3.3.1. Costos del Proyecto

El presente capítulo muestra de manera detallada los costos directos e indirectos del proyecto para su ejecución, en función de un análisis financiero de todo aquello que ha representado un valor económico durante el desarrollo del estudio (Murillo, 2024).

3.3.1.1. Costos directos.

Son todos aquellos materiales, mano de obra y materias primas que influyen de manera directa en la ejecución del proyecto, detallando en la tabla 3.1 los costos de cada uno de los materiales y equipos necesarios (Murillo, 2024).

Tabla 3.1
Costos del sistema solar fotovoltaico

Materiales	Detalle	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Módulo fotovoltaico de 450 W	Unidad	3	147	441
Inversor híbrido de 3 kW	Unidad	1	876	876
Batería recargable de 12 V 300 Ah	Unidad	2	450	900
Conector MC4 Macho	Unidad	1	4,2	4,2
Conector MC4 Hembra	Unidad	1	4,2	4,2
RAIL de 3550mm	Unidad	2	30,04	60,08
Anclaje en eje (L foot)	Unidad	6	1,34	8,04
End clamp	Unidad	4	1,1	4,4
Mid clamp	Unidad	4	1,1	4,4
Breaker de 70 Amp 2 P	Unidad	1	24,6	24,6
Seccionador DC 2 P de 20 Amp y 600 V	Unidad	1	36	36
Cable Solar	Metros	60	3,3	198
Cable Superflex XLPE 6 AWG	Metros	10	5,25	52,5
Terminales de Cañón Largo 6 AWG	Unidad	8	0,75	6
Total				2619,42

Fuente: Autor

3.3.1.2. Costos indirectos.

Son aquellos que no influyen de manera indispensable en el desarrollo del proyecto, pero son necesarios para cumplir ciertas necesidades secundarias, mostrándose en la tabla 3.2 los empleados en el trabajo de investigación (Murillo, 2024).

Tabla 3.2
Costos de instalación y logística del sistema

Detalle	Cantidad	Días	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Estibador	2	2	20	80
Alimentación	1	2	3	6
Transporte del Personal (local)	2	2	10	40
Transporte de Materiales y Equipos	1	1	300	300
Total				426

Fuente: Autor

3.3.1.3. Costo general del proyecto.

El costo del prototipo resulta de la suma de los costos directos e indirectos, mostrándose a continuación en la tabla 3.3 el valor total con un resultado de 2688,14 USD (Dólares Estadounidenses).

Tabla 3.3
Costo total del proyecto

Materiales	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Costo Directos	1	2619,42	2619,42
Costos Indirectos	1	426	426
Total			3045,42

Fuente: Autor

3.3.2. Cálculo del VAN y del TIR

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se realizará un análisis comparativo entre el sistema fotovoltaico offgrid y un generador a diésel, considerando dos escenarios financieros.

- **Escenario 1:** Se calcula el ahorro energético del sistema fotovoltaico utilizando la tarifa eléctrica residencial vigente en Ecuador como referencia.
- **Escenario 2:** Se analiza el costo de generación con un generador a diésel, lo que permite comparar el precio de la energía generada por ambas tecnologías y determinar cuál es más rentable en el tiempo.

El análisis se basa en la proyección de flujos de caja de ambas alternativas, considerando factores como la inversión inicial, costos operativos, mantenimiento y degradación del sistema fotovoltaico. La evaluación se realizará en Microsoft Excel, permitiendo modelar distintos escenarios y calcular indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

3.3.2.1. Sistema fotovoltaico offgrid.

El análisis financiero del sistema fotovoltaico considera los siguientes parámetros técnicos y económicos:

- Generación anual estimada (HelioScope): 1.848 kWh.
- Costo de mantenimiento anual: 50 USD, con un incremento del 1% anual (Murillo, 2024).
- Degradación de los paneles solares: Reducción del 0,5% anual en la producción de energía.

Escenario 1: Tarifa Residencial Vigente

En este escenario, el beneficio económico del sistema fotovoltaico se calcula con base en el ahorro generado al evitar la compra de energía de la red. Se utiliza la tarifa residencial sin demanda horaria vigente en Ecuador, que es de 0,095 USD/kWh.

$$1848 \text{ kWh} \times 0,095 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} = 175,56 \text{ USD al año}$$

Este valor se ajusta anualmente considerando:

- Un incremento del 3% en la tarifa eléctrica.
- La degradación del sistema fotovoltaico (0,5% anual), que reduce progresivamente la generación y el ahorro energético.

Tabla 3.4
Cálculo del flujo de caja del sistema fotovoltaico offgrid

Número de Años	Generación solar (kWh)	Tarifa energética (USD/kWh)	Ahorro total de energía (kWh)	Mantenimiento (USD)	Flujo de caja (USD)
AÑO 0	0	0,095	0	0	-3045,42
AÑO 1	1848,00	0,095	175,56	50,00	125,56
AÑO 2	1838,76	0,098	179,92	50,50	129,42
AÑO 3	1829,57	0,101	184,39	51,01	133,39
AÑO 4	1820,42	0,104	188,98	51,52	137,46
AÑO 5	1811,32	0,107	193,67	52,03	141,64
AÑO 6	1802,26	0,110	198,48	52,55	145,93
AÑO 7	1793,25	0,113	203,42	53,08	150,34
AÑO 8	1784,28	0,117	208,47	53,61	154,87
AÑO 9	1775,36	0,120	213,65	54,14	159,51
AÑO 10	1766,48	0,124	218,96	54,68	164,28
AÑO 11	1757,65	0,128	224,40	55,23	169,17
AÑO 12	1748,86	0,132	229,98	55,78	174,20
AÑO 13	1740,12	0,135	235,69	56,34	179,35
AÑO 14	1731,42	0,140	241,55	56,90	184,65
AÑO 15	1722,76	0,144	247,55	57,47	190,08
AÑO 16	1714,15	0,148	253,71	58,05	195,66
AÑO 17	1705,58	0,152	260,01	58,63	201,38
AÑO 18	1697,05	0,157	266,47	59,22	207,26
AÑO 19	1688,56	0,162	273,09	59,81	213,29
AÑO 20	1680,12	0,167	279,88	60,41	219,47
AÑO 21	1671,72	0,172	286,83	61,01	225,83
AÑO 22	1663,36	0,177	293,96	61,62	232,34
AÑO 23	1655,04	0,182	301,27	62,24	239,03
AÑO 24	1646,77	0,187	308,75	62,86	245,90
AÑO 25	1638,54	0,193	316,43	63,49	252,94

Fuente: Autor

Tabla 3.5
Resultados del VAN y el TIR del sistema fotovoltaico offgrid

DESCRIPCIÓN	VALOR
VAN	\$1497,2
TIR	16%
Tasa de Descuento	5%

Fuente: Autor

Escenario 2: Tarifa de Generación del Generador a Diésel

En este caso, se compara el sistema fotovoltaico con la tarifa de generación de un generador a diésel. Se toma como referencia la tarifa inicial del generador, de 0,14 USD/kWh, para calcular el ahorro obtenido por generar electricidad con energía solar en lugar de diésel.

Al igual que en el primer escenario, se aplican ajustes anuales por:

- Un incremento del 3% en la tarifa de referencia.
- La degradación del sistema fotovoltaico (0,5% anual).

Tabla 3.6
Cálculo del flujo de caja del sistema fotovoltaico offgrid en el escenario 2

Número de Años	Generación solar (kWh)	Tarifa energética (USD/kWh)	Ahorro total de energía (kWh)	Mantenimiento (USD)	Flujo de caja (USD)
AÑO 0	0	0,140	0	0	-899
AÑO 1	1848,00	0,140	258,72	50,00	208,72
AÑO 2	1838,76	0,144	265,15	50,50	214,65
AÑO 3	1829,57	0,149	271,74	51,01	220,73
AÑO 4	1820,42	0,153	278,49	51,52	226,98
AÑO 5	1811,32	0,158	285,41	52,03	233,38
AÑO 6	1802,26	0,162	292,50	52,55	239,95
AÑO 7	1793,25	0,167	299,77	53,08	246,70
AÑO 8	1784,28	0,172	307,22	53,61	253,62
AÑO 9	1775,36	0,177	314,86	54,14	260,71
AÑO 10	1766,48	0,183	322,68	54,68	268,00
AÑO 11	1757,65	0,188	330,70	55,23	275,47
AÑO 12	1748,86	0,194	338,92	55,78	283,13
AÑO 13	1740,12	0,200	347,34	56,34	291,00
AÑO 14	1731,42	0,206	355,97	56,90	299,07
AÑO 15	1722,76	0,212	364,82	57,47	307,34
AÑO 16	1714,15	0,218	373,88	58,05	315,83
AÑO 17	1705,58	0,225	383,17	58,63	324,54
AÑO 18	1697,05	0,231	392,69	59,22	333,48
AÑO 19	1688,56	0,238	402,45	59,81	342,65
AÑO 20	1680,12	0,245	412,45	60,41	352,05
AÑO 21	1671,72	0,253	422,70	61,01	361,69
AÑO 22	1663,36	0,260	433,21	61,62	371,59
AÑO 23	1655,04	0,268	443,97	62,24	381,74
AÑO 24	1646,77	0,276	455,01	62,86	392,15
AÑO 25	1638,54	0,285	466,31	63,49	402,83

Fuente: Autor

Tabla 3.7
Resultados del VAN y el TIR del sistema fotovoltaico offgrid en el escenario 2

DESCRIPCIÓN	VALOR
VAN	\$3000,11
TIR	26%
Tasa de Descuento	5%

Fuente: Autor

3.3.2.2. Generador de combustión a diésel.

Para evaluar la rentabilidad del generador, se consideraron los siguientes costos y parámetros técnicos:

- Costo de adquisición: 899 USD.
- Consumo de combustible a plena carga: 0,9 litros/hora (0,3 litros/kWh).
- Vida útil estimada: 18 años.
- Costo de mantenimiento anual: 150 USD, incluyendo cambios de aceite, filtros y servicio técnico preventivo (Generac, 2023).

Escenario 1: Tarifa Residencial Vigente

En este escenario, se analiza el sobre costo de producir electricidad con diésel en comparación con la tarifa eléctrica residencial vigente de 0,095 USD/kWh. Además, se consideró un incremento del 3% en el valor del combustible y un 1% en el mantenimiento.

Tabla 3.8
Cálculo del flujo de caja para un generador

Número de Años	Generación (kWh)	Tarifa energética (USD /kWh)	Ahorro total de energía (kWh)	Combustible (USD)	Mantenimiento anual (USD)	Flujo de caja (USD)
AÑO 0	0	0,095	0	0	0	-899
AÑO 1	1848,00	0,095	175,56	266,11	150,00	-240,55
AÑO 2	1848,00	0,098	180,83	274,09	151,50	-244,77
AÑO 3	1848,00	0,101	186,25	282,32	153,02	-249,08
AÑO 4	1848,00	0,104	191,84	290,79	154,55	-253,49
AÑO 5	1848,00	0,107	197,59	299,51	156,09	-258,01
AÑO 6	1848,00	0,110	203,52	308,49	157,65	-262,62
AÑO 7	1848,00	0,113	209,63	317,75	159,23	-267,35
AÑO 8	1848,00	0,117	215,92	327,28	160,82	-272,19
AÑO 9	1848,00	0,120	222,39	337,10	162,43	-277,13
AÑO 10	1848,00	0,124	229,07	347,21	164,05	-282,20
AÑO 11	1848,00	0,128	235,94	357,63	165,69	-287,38
AÑO 12	1848,00	0,132	243,02	368,36	167,35	-292,69
AÑO 13	1848,00	0,135	250,31	379,41	169,02	-298,13
AÑO 14	1848,00	0,140	257,82	390,79	170,71	-303,69
AÑO 15	1848,00	0,144	265,55	402,52	172,42	-309,39
AÑO 16	1848,00	0,148	273,52	414,59	174,15	-315,22
AÑO 17	1848,00	0,152	281,72	427,03	175,89	-321,19
AÑO 18	1848,00	0,157	290,17	439,84	177,65	-327,31

Fuente: Autor

Tabla 3.9
Resultados del VAN y el TIR para un generador

DESCRIPCIÓN	VALOR
VAN	\$-4109,92
TIR	-28%
Tasa de Descuento	5%

Fuente: Autor

Escenario 2: Tarifa de Generación del Generador a Diésel

Aquí se calcula el costo real de generar electricidad con el generador a partir del costo del combustible. La tarifa inicial de generación se obtiene mediante el siguiente cálculo.

$$0,3 \frac{\text{litros}}{\text{kWh}} \times 0,47 \frac{\text{USD}}{\text{litro}} = 0,14 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

Para reflejar la evolución de costos a lo largo del tiempo, se consideró un incremento del 3% en la tarifa eléctrica del generador.

Tabla 3.10
Cálculo del flujo de caja para un generador en el escenario 2

Número de Años	Generación (kWh)	Tarifa energética (USD /kWh)	Ahorro total de energía (kWh)	Combustible (USD)	Mantenimiento anual (USD)	Flujo de caja (USD)
AÑO 0	0	0,140	0	0	0	-899
AÑO 1	1848,00	0,180	332,64	266,11	150,00	-83,47
AÑO 2	1848,00	0,185	342,62	274,09	151,50	-82,97
AÑO 3	1848,00	0,191	352,90	282,32	153,02	-82,43
AÑO 4	1848,00	0,197	363,48	290,79	154,55	-81,85
AÑO 5	1848,00	0,203	374,39	299,51	156,09	-81,21
AÑO 6	1848,00	0,209	385,62	308,49	157,65	-80,53
AÑO 7	1848,00	0,215	397,19	317,75	159,23	-79,79
AÑO 8	1848,00	0,221	409,11	327,28	160,82	-79,00
AÑO 9	1848,00	0,228	421,38	337,10	162,43	-78,15
AÑO 10	1848,00	0,235	434,02	347,21	164,05	-77,25
AÑO 11	1848,00	0,242	447,04	357,63	165,69	-76,28
AÑO 12	1848,00	0,249	460,45	368,36	167,35	-75,26
AÑO 13	1848,00	0,257	474,27	379,41	169,02	-74,17
AÑO 14	1848,00	0,264	488,49	390,79	170,71	-73,01
AÑO 15	1848,00	0,272	503,15	402,52	172,42	-71,79
AÑO 16	1848,00	0,280	518,24	414,59	174,15	-70,49
AÑO 17	1848,00	0,289	533,79	427,03	175,89	-69,13
AÑO 18	1848,00	0,298	549,80	439,84	177,65	-67,68

Fuente: Autor

Tabla 3.11
Resultados del VAN y el TIR para un generador en el escenario 2

DESCRIPCión	VALOR
VAN	\$-1811,81
TIR	-5%
Tasa de Descuento	5%

Fuente: Autor

3.3.2.3. Análisis comparativo.

En el escenario 1, el sistema fotovoltaico offgrid demuestra ser rentable porque permite un ahorro anual en la compra de energía de la red eléctrica. Con un VAN de 1497,2 USD y una TIR del 16%, se confirma que la inversión genera beneficios a lo largo del tiempo. Por otro lado, el generador a diésel no resulta una opción viable, ya que presenta un VAN negativo de -4109,92 USD y una TIR de -28%, lo que indica pérdidas significativas. Esto se debe a los altos costos del combustible y del mantenimiento, que superan cualquier posible ahorro. (Murillo, 2024).

Tabla 3.12
Comparativa entre el sistema fotovoltaico offgrid y un generador a diésel en el escenario 1

DESCRIPCión	Sistema fotovoltaico offgrid	Generador a diésel
VAN	\$1497,2	\$-4109,92
TIR	16%	-28%
Tasa de Descuento	5%	5%

Fuente: Autor

En el escenario 2, el sistema fotovoltaico presenta un VAN positivo de 3000,11 USD y una TIR del 26%, lo que indica una rentabilidad aún mayor que en el primer escenario. La razón principal de este resultado es que el costo de generación solar es significativamente menor que el costo de producción del generador. En contraste, el generador a diésel sigue siendo una opción poco viable, con un VAN de -1811,81 USD y una TIR de -5%, lo que indica que su operación sigue generando pérdidas, incluso considerando solo su costo de generación.

Tabla 3.13
Comparativa entre el sistema fotovoltaico offgrid y un generador a diésel en el
escenario 2

DESCRIPCIÓN	Sistema fotovoltaico offgrid	Generador a diésel
VAN	\$3000,11	\$-1811,81
TIR	26%	-5%
Tasa de Descuento	5%	5%

Fuente: Autor

Los resultados de ambos escenarios demuestran que el sistema fotovoltaico offgrid es la opción más rentable en comparación con el generador a diésel. En ambos casos, su VAN es positivo, lo que indica que la inversión genera beneficios económicos a lo largo del tiempo. Además, su TIR supera ampliamente la tasa de descuento, reafirmando su viabilidad financiera. En contraste, el generador a diésel presenta VAN negativos y una TIR desfavorable en ambos escenarios, reflejando pérdidas económicas debido a sus altos costos operativos. Por lo tanto, el análisis financiero concluye que la implementación del sistema fotovoltaico offgrid no solo es la alternativa más viable económicamente, sino que también representa un ahorro significativo frente al uso de un generador a diésel.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. Se determinó que el consumo energético del área comunal del centro turístico Paradero El Labrador es de 1848 kWh anuales, permitiendo dimensionar un sistema fotovoltaico híbrido OFFGRID acorde a las necesidades del sitio.
2. A partir de los resultados del estudio de demanda, se diseñó un sistema fotovoltaico con una capacidad de 1,35 kW, acompañado de un banco de baterías de 24V y 200Ah, lo que garantiza una autonomía energética adecuada para la operatividad del área comunal.
3. El análisis financiero demuestra que el sistema fotovoltaico offgrid es la opción más rentable para el centro turístico, ya que genera beneficios económicos a lo largo del tiempo, mientras que el generador a diésel implica pérdidas por sus altos costos operativos.

4.2 Recomendaciones

1. Es importante considerar un análisis profundo de los factores que pueden influir en la demanda energética más allá del consumo habitual, como la estacionalidad del turismo, la variabilidad del comportamiento de los usuarios y eventos especiales. Esto permitirá ajustar las estimaciones de carga y mejorar la precisión del diseño del sistema fotovoltaico, asegurando que pueda adaptarse a los picos de demanda durante temporadas altas.
2. Es importante considerar la integración de nuevas tecnologías emergentes en el proceso de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Se recomienda realizar una comparación exhaustiva entre tecnologías de paneles solares, inversores y sistemas de almacenamiento avanzados para seleccionar las opciones más eficientes.
3. Es esencial considerar estrategias que optimicen los costos operativos y maximicen los ingresos. Esto incluye la evaluación de alternativas de financiamiento más favorables, la implementación de modelos de incentivos fiscales o subsidios disponibles para proyectos de energía renovable, y la optimización del mantenimiento a través de tecnologías predictivas. Además, se puede explorar la posibilidad de integrar sistemas de monitoreo que permitan detectar fallos de manera temprana, reduciendo tiempos de inactividad y costos de reparación.
4. Proponer un sobredimensionamiento del sistema fotovoltaico puede garantizar una mayor capacidad de generación y almacenamiento para cubrir posibles incrementos en la demanda energética, especialmente en temporadas de alta demanda.
5. Es necesario implementar estrategias de eficiencia energética para optimizar el consumo dentro de la instalación, maximizando el aprovechamiento de la energía generada por el sistema fotovoltaico y reduciendo la dependencia de fuentes externas de energía.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2025). *PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. Recuperado de: <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2025/01/2.-Pliego-Tarifario-del-Servicio-Publico-de-Energia-Electrcia-ano-2025.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2024). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. Recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance>
- APPA. (2025). *Tecnología de autoconsumo*. Recuperado de: <https://www.appa.es/appa-autoconsumo/tecnologia-autoconsumo/>
- Baquero, G. (2022). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la guardiania de la mica de la Reserva Ecológica Antisana, Canton Archidona* (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- BBVA. (2024). *¿Qué es el cambio climático? Causas y cómo nos afecta*. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-cambio-climatico-causas-y-como-nos-afecta/>
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Recuperado de: <file:///C:/Users/hogar/Documents/Octavo%20Nivel/Bioenerg%C3%ADa%20II/Segundo/Normas%20APA%20Sexta%20Edicio%CC%81n.pdf>
- Divya, K. C., & Ostergaard, J. (2021). *Battery energy storage technology for power systems- An overview*. *Electric Power Systems Research*, 79(4), 511-520.
- EcoInventos. (2022). *Paneles fotovoltaicos: qué son, cómo funcionan, para qué sirven*. Recuperado de: <https://ecoinventos.com/paneles-fotovoltaicos/>
- Fraunhofer. (2023). *Photovoltaics Report*. Recuperado de: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
- García, M. (2023). *Un recorrido por el páramo de El Ángel*. El Norte. Recuperado de: <https://elnorte.ec/un-recorrido-por-el-paramo-de-el-angel/>
- Garco Diesel. (2020). *Generación*. Recuperado de. <https://www.garcodiesel.com/copia-de-generaci%C3%B3n>
- Generac. (2023). *Guía de mantenimiento para generadores residenciales y comerciales*. Recuperado de: <https://www.generac.com>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de San Isidro. (2023). *Ubicación geográfica de la parroquia San Isidro*. Recuperado de: <https://www.gpsanisidro.gob.ec>
- Helios. (2025). *Catálogo en línea*. Recuperado de: <https://heliostategiaecuador.com/>
- HeliosCope. (2025). *HeliosCope*. Recuperado de: <https://app.helioscope.com/>

- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2023). *Advances in renewable energy technologies*. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook*. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- International Renewable Energy Agency (IREA). (2023). *Renewable energy statistics*. Recuperado de: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>
- IPCC. (2021). *Climate Change Assessment Report*. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- La Guía (2017). El Protocolo de Kyoto. Ecuador: La Guía. Obtenido de: <https://www.laguia2000.com/el-mundo/el-protocolo-de-kyoto##targetText=Es%20un%20Tratado%20Internacional%2C%20suscripto,pero%20Bush%20manifest%C3%B3%20su%20oposici%C3%B3n>.
- López, M., González, F., & Rodríguez, A. (2022). "Ecoturismo y desarrollo sostenible en el cantón Espejo, Carchi". *Revista de Ecoturismo y Conservación*, 12(4), 45-58.
- López, M., Pérez, R., & Sánchez, T. (2024). *Herramientas informáticas para la optimización de sistemas solares fotovoltaicos*. *Revista de Energías Renovables*, 15(2), 123-145.
- Martínez, A., & Pérez, L. (2024). *Avances en el diseño de sistemas fotovoltaicos: Integración de metodologías y software especializado*. *Energía y Sociedad*, 10(1), 67-89.
- Masters, G. M. (2021). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Wiley. Recuperado de: <https://www.wiley.com/en-us/Renewable+and+Efficient+Electric+Power+Systems%2C+2nd+Edition-p-9781118140628>.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2024). *Ley No Más Apagones se aprueba con 131 votos*. Quito, Ecuador: Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/ley-no-mas-apagones-se-aprueba-con-131-votos/>
- Ministerio de Energía y Minas del Ecuador (MEM). (2022). *Huella de carbono en microempresas generada por el consumo de energía eléctrica: Un enfoque práctico*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/384547341_Huella_de_carbono_en_microempresas_generada_por_el_consumo_de_energia_electrica_Un_enfoque_practico
- Mundo Primaria. (2025). *Efecto invernadero*. Recuperado de <https://www.mundoprimary.com/recursos-ciencias-naturales/efecto-invernadero>
- Murillo, X. (2024). Estudio de factibilidad de un sistema solar fotovoltaico híbrido con autonomía para cargas críticas en una vivienda ubicada en la urb. La Joya - Zafiro (Tesis de Posgrado). ESPOL, Ecuador.

- Naciones Unidas (UN). (2025). *What is renewable energy?*. Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). *Climate change and global warming*. Recuperado de: <https://science.nasa.gov/climate-change/effects/#:~:text=ecosystems%20and%20agriculture.-,Global%20Temperatures%20Will%20Continue%20to%20Rise,summer%20between%201951%20and%201980.>
- Orduño, M. (2022). *Banco de baterías | Ácido-Plomo vs Ion de Litio*. Recuperado de: <https://krannich-solar.com/mx-es/blog/banco-de-baterias-acido-plomo-vs-ion-de-litio/>
- Orozco, M. (2018). Gobierno fusiona cuatro entidades y crea el Ministerio de Energía. Ecuador: El Comercio. Obtenido de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/gobierno-fusion-ministerio-hidrocarburos-energia.html>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2019). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Ecuador: Naciones Unidas. Recuperado de: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- Peña, L. (2023). *Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red*. Recuperado de: <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-aislado-de-la-red-autonomo-off-grid/>
- Portillo, G. (2019). Combustibles Fósiles. Ecuador: RenovablesVerdes. Recuperado de: <https://www.renovablesverdes.com/combustibles-fosiles/>
- Primicias. (2024). *Nuevos precios de la gasolina Extra, Ecopaís y diésel con IVA*. Recuperado de <https://www.primicias.ec>
- Proveda, G., Ruiz, K., y González, J. (2017). *Desarrollo de energías renovables en el Ecuador del siglo XXI, optimización de recursos económicos y conservación del medio ambiente*. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, 1696-8352.
- Quinteros, J. (2021). *Construcción de un prototipo electrolizador fotovoltaico para obtener hidrógeno a partir de agua: aplicación en la cocción residencial (Tesis de Grado)*. Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- Rashid, M. H. (2021). *Power Electronics Handbook*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/book/9780120884797/power-electronics-handbook>
- SOLAREA. (2025). *Sistema solar off grid*. Recuperado de: <https://solarea.com.ar/sistema-solar-off-grid/>
- Solartik. (2025). *¿Qué es un sistema solar off-grid?*. Recuperado de: <https://solartik.com/ar/blog/energia-solar-fotovoltaica/general/que-es-un-sistema-solar-off-grid/>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Climate Action Report*. Recuperado de: <https://www.unep.org/resources/annual-report-2022>

United Nations World Tourism Organization. (2023). *Sustainable tourism development*.
Recuperado de: <https://www.unwto.org/world-tourism-day-2023>

ANEXO A

FACTOR DE CORRECCIÓN K

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	.98	.97	.96	.97	.98	1	1.01	1.02	1.02
10	1.03	1.01	.99	.96	.93	.92	.93	.95	.99	1.02	1.04	1.04
15	1.04	1.01	.97	.92	.88	.87	.88	.92	.97	1.02	1.05	1.05
20	1.04	1	.95	.88	.83	.81	.83	.88	.95	1.01	1.05	1.06
25	1.03	.99	.92	.84	.77	.75	.77	.83	.92	.99	1.04	1.06
30	1.02	.97	.88	.79	.71	.68	.7	.78	.88	.97	1.03	1.05
35	1	.94	.84	.74	.64	.61	.64	.72	.84	.94	1.02	1.03
40	.98	.9	.8	.68	.57	.53	.56	.66	.79	.91	.99	1.01
45	.95	.87	.75	.61	.5	.45	.49	.59	.73	.87	.96	.98
50	.91	.82	.69	.54	.42	.37	.41	.52	.68	.82	.92	.95
55	.87	.77	.63	.47	.34	.28	.33	.45	.61	.77	.88	.91
60	.82	.72	.57	.4	.26	.2	.24	.37	.55	.71	.83	.86
65	.77	.66	.5	.32	.18	.13	.16	.3	.48	.65	.77	.81
70	.71	.6	.43	.25	.13	.12	.11	.22	.4	.59	.72	.75
75	.65	.53	.36	.17	.12	.11	.11	.13	.33	.52	.65	.69
80	.58	.47	.29	.13	.12	.1	.1	.1	.25	.45	.58	.63
85	.52	.4	.21	.12	.11	.1	.09	.09	.17	.37	.51	.56
90	.45	.32	.14	.11	.1	.09	.08	.08	.09	.29	.44	.49

Fuente: (Quinteros, 2021)

ANEXO B

FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR HÍBRIDO OFFGRID

Growatt SPF 3000TL LVM

- Controlador de carga MPPT integrado
- Red configurable o prioridad de entrada solar
- Monitoreo remoto opcional WIFI / GPRS
- Conexión en paralelo para escalabilidad hasta 18kW



Growatt

www.ginverter.com

P O W E R
- I N G
T O M O R R O W

Hoja de Datos	SPF 3000TL LVM-24P	SPF 3000TL LVM-48P
Voltaje de batería	24VDC	48VDC
Tipo de Batería	Plomo-ácido	Litio/Plomo-ácido
Salida del Inversor		
Potencia nominal	3000VA/ 3000W	3000VA/ 3000W
Conexión en paralelo	Si, 6 unidades máx.	Si, 6 unidades máx.
Voltaje de CA (Modo batería)	120VAC $\pm$ 5% @ 50/60Hz	120VAC $\pm$ 5% @ 50/60Hz
Sobretensión	6000VA	6000VA
Eficiencia max.	93%	93%
Tipo de onda	Onda senoidal pura	Pure sine wave
Tiempo de transferencia	10 ms(Para Computadoras); 20 ms (Para Electrodomésticos)	10 ms(Para Computadoras); 20 ms (Para Electrodomésticos)
Cargador Solar		
Máxima potencia FV	2000W	4500W
Rango de voltaje del MPPT	30VDC ~ 115VDC	60VDC ~ 115VDC
Max. Voltaje de circuito abierto FV	145VDC	145VDC
Corriente máxima de carga	80A	80A
Máxima eficiencia	97%	97%
Consumo de energía en espera	2 W	2 W
Cargador CA		
Corriente de carga	60A	40A
Voltaje de entrada CA	120 VAC	120 VAC
Rangos de voltaje	95-140VAC (Para computadoras); 65-140VAC (Para electrodomésticos)	95-140VAC (Para computadoras); 65-140VAC (Para electrodomésticos)
Rango de frecuencia	50Hz/60Hz (Detección Automática)	50Hz/60Hz (Auto sensing)
Datos Generales		
Protección Ambiental	IP20	
Dimensiones (ancho/altura/profundidad)	130/350/455mm	130/350/455mm
Peso	11kg	11 kg
ENTORNO OPERATIVO		
Humedad	5-9% Humedad Relativa(No condensada)	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)
Temperatura de Operación	0°C - 55°C	0°C - 55°C
Temperatura de almacenamiento	-15°C - 60°C	-15°C - 60°C

Fuente: (Helios, 2025)

ANEXO C

FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR

**HiKu****SUPER HIGH POWER MONO PERC MODULE****430 W ~ 455 W****CS3W-430 | 435 | 440 | 445 | 450 | 455MS****MORE POWER**

26 % more power than conventional modules

Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system costLow NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax):
-0.35 % / °C

Better shading tolerance

MORE RELIABLELower internal current,
lower hot spot temperature

Minimizes micro-crack impacts

Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa***linear power output warranty*****enhanced product warranty on materials and workmanship***

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

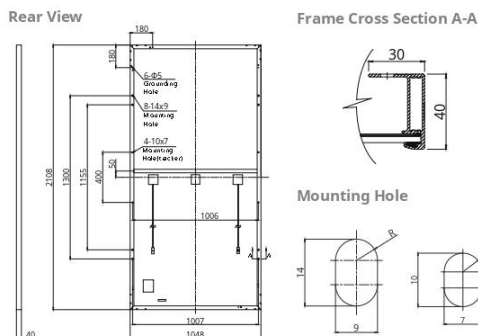
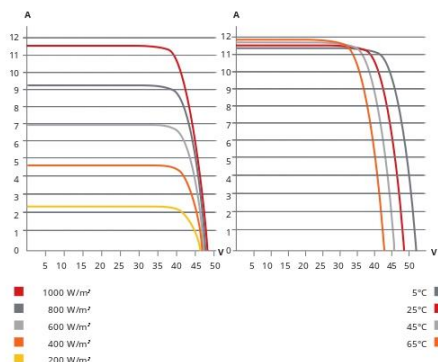
MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety**PRODUCT CERTIFICATES***IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / INMETRO
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way

*As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

* For detail information, please refer to Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)**CS3W-435MS / I-V CURVES****ELECTRICAL DATA | STC***

CS3W	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS
Nominal Max. Power (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W	455 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.3 V	40.5 V	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.68 A	10.75 A	10.82 A	10.89 A	10.96 A	11.02 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.3 V	48.5 V	48.7 V	48.9 V	49.1 V	49.3 V
Short Circuit Current (Isc)	11.37 A	11.42 A	11.48 A	11.54 A	11.60 A	11.66 A
Module Efficiency	19.5%	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%	20.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS
Nominal Max. Power (Pmax)	321 W	325 W	328 W	332 W	336 W	339 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.6 V	37.8 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.54 A	8.59 A	8.65 A	8.71 A	8.76 A	8.82 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V	46.2 V	46.4 V
Short Circuit Current (Isc)	9.17 A	9.21 A	9.26 A	9.31 A	9.36 A	9.41 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

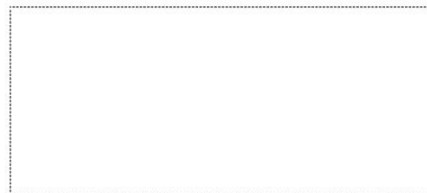
MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

May 2020. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V5.59_EN

Fuente: (Helios, 2025)

ANEXO D

FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA

HTL12-300		
Voltaje nominal		12 V (6 celdas por unidad)
Diseño Vida Flotante @ 25°C		20 años
Capacidad nominal a 25°C	Frecuencia de 20 horas a 21,0 A, 5,4 V	300 Ah
Capacidad a 25°C	Tasa de 10 horas (37,8 A, 5,4 V)	270 Ah
	Tasa de 5 horas (66,8 A, 5,25 V)	239 Ah
	Frecuencia de 1 hora (233,3 A, 4,8 V)	173,3 Ah
Resistencia interna	Batería completamente cargada a 25°C	≤1,6 mΩ
Temperatura ambiente	Descargar	-25°C~60°C
	Cargar	-25°C~60°C
	Almacenamiento	-25°C~60°C
Corriente de descarga máxima		A 25°C 1800A(5s)
Capacidad afectada por la temperatura (10 horas)	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Autodescarga a 25°C al mes		3%
Carga (voltaje constante) a 25°C	Uso en modo de espera	Corriente de carga inicial Menos de 65 A Voltaje 13,6 - 13,8 V
	Uso del ciclo	Corriente de carga inicial Menos de 65 A Voltaje 13,6 - 13,8 V
Dimensión (mm*mm*mm)	Largo 520±1 *Ancho 269±1 *Alto 220±1 (Alto Total 226±1)	
Peso (kg)	77,3 ± 3 %	

Fuente: (Helios, 2025)

ANEXO E

PLIEGO TARIFARIO VIGENTE EN ECUADOR

PERIODO: *ENERO - DICIEMBRE*

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
CATEGORÍA	RESIDENCIAL		
NIVEL VOLTAJE	BAJO Y MEDIO VOLTAJE		1,414
1-50		0,091	
51-100		0,093	
101-150		0,095	
151-200		0,097	
201-250		0,099	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-500		0,105	
501-700		0,1285	
701-1000		0,1450	
1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812	

Fuente: (ARCONEL, 2025)

ANEXO F

ENCUESTA REALIZADA AL PROPIETARIO DEL CENTRO TURÍSTICO



Encuesta: Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Offgrid para el Centro Turístico "Paradero El Labrador"

Objetivo: Recopilar información sobre las necesidades energéticas para el diseño de un sistema fotovoltaico híbrido offgrid que abastezca al área comunal del centro turístico.

Instrucciones: Por favor, marque las opciones que correspondan y complete las preguntas con la información solicitada.

1. ¿Cuántos días de autonomía desea para las baterías del sistema fotovoltaico?

- ☐ 1 día
- ☐ 2 días
- ☐ 3 días
- ☐ 4 días
- ☐ 5 días
- ☐ Otro (Especificar): _____

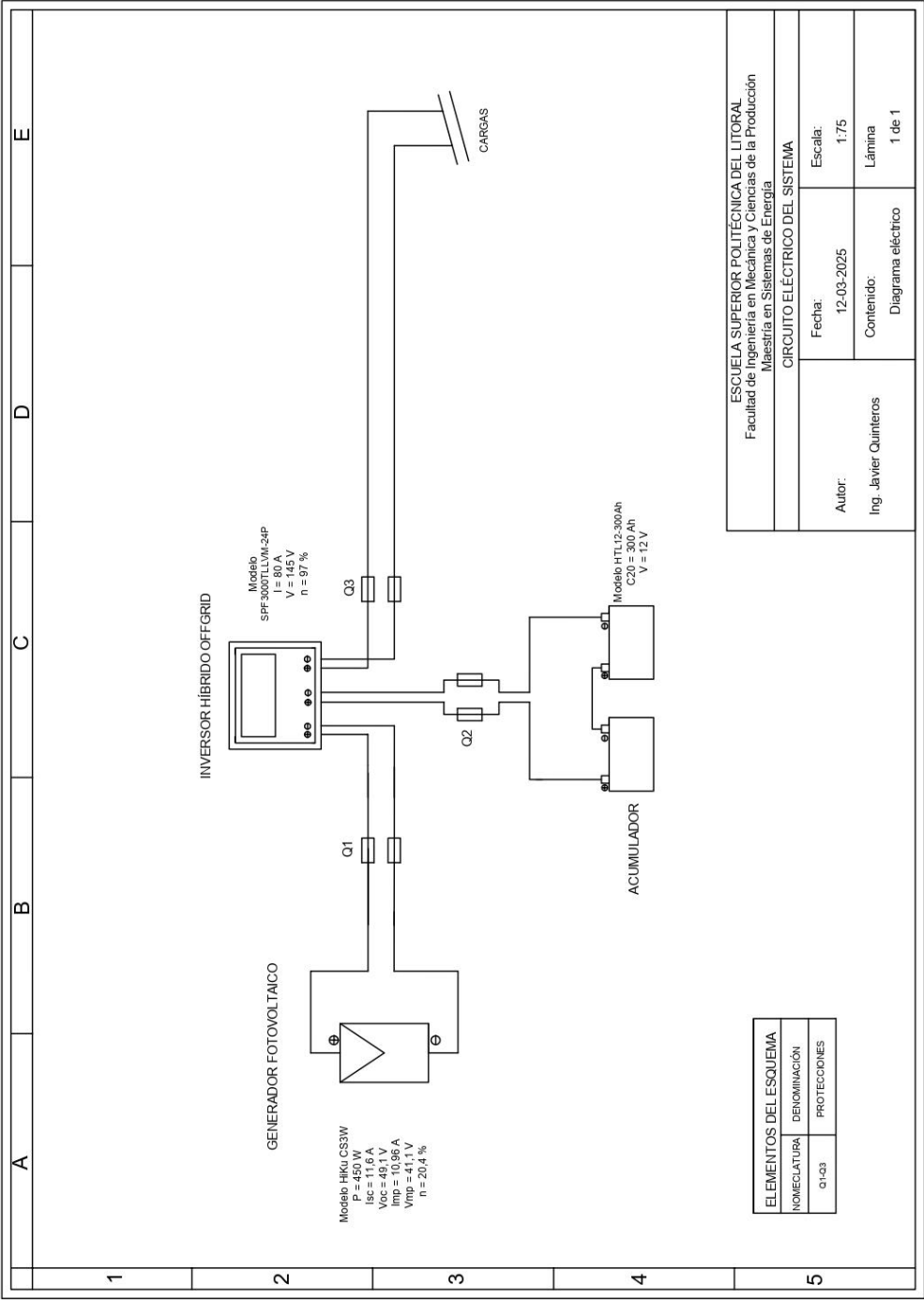
2. A continuación se presenta una tabla donde debe especificar el tiempo de uso de los equipos durante el día y la noche (en horas).

Equipo	Uso durante el día (horas)	Uso durante la noche (horas)
	____ horas	____ horas
	____ horas	____ horas
	____ horas	____ horas
	____ horas	____ horas
	____ horas	____ horas
	____ horas	____ horas
	____ horas	____ horas

Fuente: Autor

ANEXO G

DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA



Fuente: Autor