



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD, MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

RPC-SO-30-NO.508-2019

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE POTENCIA EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA LAS NAVES DENTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL CANTÓN GUARANDA DE LA PROVINCIA DE BOLÍVAR

AUTOR(ES)

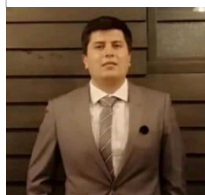
TELMO JAIME BONILLA BONILLA

DIRECTOR:

ALEXANDER AGUILA TELLEZ

QUITO – ECUADOR

2025

**Autor(es):****Telmo Jaime Bonilla Bonilla**

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Candidato a Magíster en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.  
telmojaime94@hotmail.com

**Dirigido por:****Alexander Aguila Téllez**

Ingeniero Eléctrico

Máster en Eficiencia Energética, Magíster en Ingeniería, Doctor en Ingeniería (Ph.D)

aaguila@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

**TELMO JAIME BONILLA BONILLA**

***Maestría en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia***

## **DEDICATORIA**

La presente Tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él e logrado concluir con mi maestría, a mis padres, por que ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para ser de mí una mejor persona, a mi hermana y sobrina por sus palabras y su compañía que de una u otra manera a contribuido con un logro más de mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a mis padres, hermana y sobrina que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido llegar a esta instancia tan anhelada.

# TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	9
Abstract .....	10
1. Introducción.....	11
2. Determinación del Problema.....	14
2.1. Delimitación del problema .....	15
2.2. Objetivos.....	15
2.2.1. Objetivo general .....	15
2.2.2. Objetivos específicos .....	15
2.3. Justificación .....	16
3. Marco teórico .....	18
3.1. Antecedentes.....	18
3.2. Definición de términos básicos.....	20
3.2.1. Paneles Solares .....	20
3.2.2. Riesgo de los paneles fotovoltaicos.....	22
3.2.3. Sistema de Paneles Solares Fotovoltaicos.....	23
3.2.4. Célula Fotovoltaica – Funcionamiento .....	24
3.2.5. Vida útil de panel solar .....	25
3.2.6. Energía Fotovoltaica .....	25
3.2.7. Subestación Eléctrica.....	25
3.2.8. Red de distribución.....	26
3.2.8.1. Subestación Redes de distribución por su tensión nominal.....	27
3.2.9. Relevancia de las redes de distribución .....	27
3.2.10. Desafíos .....	27
3.2.11. Problemas comunes .....	27
3.2.12. Localización y dimensionamiento óptimo.....	28
3.2.13. Impacto económico y ambiental .....	28
3.2.14. Uso de simuladores HOMER y MATLAB para análisis de redes .....	29
3.2.15. Impacto técnico de la ubicación y dimensionamiento.....	29
3.2.16. Reducción de pérdidas en transmisión y distribución.....	30
3.2.17. Costos y beneficios de los sistemas fotovoltaicos.....	30

3.2.18.	Tendencias actuales.....	31
3.2.19.	Análisis comparativos entre sistemas convencionales y renovables .....	32
3.2.20.	Análisis Impacto ambiental .....	33
4.	Materiales y metodología.....	34
4.1.	Enfoque de la Investigación.....	34
4.2.	Diseño y dimensionamiento .....	34
4.3.	Ángulo de inclinación.....	36
4.4.	Irradiación anual efectiva en la provincia de Guaranda.....	36
4.5.	Diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica.....	38
4.6.	Población, Muestra y Muestreo .....	39
4.7.	Métodos, Técnicas e Instrumentos .....	42
4.8.	Plan de procesamiento y análisis.....	43
4.9.	Desarrollo del tema .....	44
4.9.1.	Análisis de las encuestas.....	44
4.9.2.	Consumo energético de las viviendas .....	49
4.9.3.	Tipos de vivienda .....	50
4.9.4.	Irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada 52	
4.9.5.	Factor de conversión para la irradiación directa.....	53
4.9.6.	Factor de conversión de irradiación difusa .....	55
4.9.7.	Factor de conversión de irradiación reflejada.....	55
4.9.8.	Irradiación difusa aplicada en superficie horizontal.....	55
4.9.9.	Cálculo de componentes del Sistema Fotovoltaico.....	56
4.9.10.	Número de Paneles Solares.....	57
5.	Resultados y discusión.....	60
5.1.	Análisis de resultados .....	60
5.1.1.	Beneficios energéticos.....	60
5.1.2.	Impactos negativos en las redes de distribución .....	60
5.1.3.	Ubicación .....	61
5.1.4.	Dimensionamiento óptimo de PSFV.....	62
5.1.5.	Restricciones técnicas, económicas y normativas.....	62
5.1.6.	Intermitencia de la generación fotovoltaica .....	64
5.1.7.	Impactos .....	65
5.1.8.	Elección de la cantidad y tipo de paneles.....	66
5.1.9.	Eficiencia general del sistema .....	71
5.1.10.	Consumo energético inicial .....	<u>71</u>

---

5.1.11.	Consumo energético con el sistema fotovoltaico .....	72
5.1.12.	Radiación solar disponible .....	72
5.1.13.	Factor de seguridad y pérdidas .....	74
5.1.14.	Diseño del sistema fotovoltaico .....	75
5.2.	Discusión.....	81
6.	Conclusiones.....	83
7.	Recomendaciones.....	85
	Referencias .....	86
	Anexos .....	90
	Anexo 1. Tablas correspondientes a resultados.....	90

“Diseño de un Sistema de  
Paneles Solares  
Fotovoltaicos para  
Mejorar la Eficiencia y  
Calidad de Potencia en la  
Subestación Eléctrica Las  
Naves dentro de la Red  
de Distribución del cantón  
Guaranda de la Provincia  
de Bolívar”

AUTOR(ES):

TELMO JAIME BONILLA BONILLA

## RESUMEN

La incorporación de sistemas solares en las redes de distribución eléctrica representa una alternativa viable para mejorar la eficiencia energética y la calidad del suministro, especialmente en regiones con altos niveles de irradiación solar. Este estudio desarrolla el diseño técnico de un sistema de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) para la subestación eléctrica Las Naves, en el cantón Guaranda, a partir del análisis de la demanda energética, las condiciones geográficas y climáticas, y la evaluación de parámetros eléctricos. Mediante herramientas de simulación como PVsyst y RETScreen se definieron la orientación, inclinación y los componentes del sistema, alcanzando una potencia instalada de 3,5 kW por vivienda, conformada por 10 paneles monocristalinos de 350 W. La producción promedio estimada fue de 8,9 kWh diarios, suficiente para cubrir la mayor parte del consumo residencial, reduciendo la dependencia de la red convencional.

Los resultados evidencian una disminución del 74 % en el consumo eléctrico proveniente de la red, una reducción del 14,8 % en las pérdidas energéticas y una mejora del perfil de voltaje en  $\pm 2,5$  %, manteniéndose dentro de los límites normativos. Asimismo, se analizó la intermitencia de la generación fotovoltaica y su efecto en la estabilidad operativa, determinándose que la integración planificada de PSFV optimiza la eficiencia global del sistema. Este estudio sienta las bases técnicas para políticas y estrategias que impulsen la adopción masiva de energía solar fotovoltaica en el Ecuador, consolidándola como un pilar fundamental para la modernización y sostenibilidad de las redes eléctricas.

### **Palabras clave:**

calidad de potencia, eficiencia energética, energía fotovoltaica, optimización, redes de distribución.

## ABSTRACT

---

The incorporation of solar systems into electricity distribution networks represents a viable alternative to improve energy efficiency and quality of supply, especially in regions with high levels of solar irradiation. This study develops the technical design of a photovoltaic solar panel (PVSP) system for the Las Naves electrical substation, in the canton of Guaranda, based on the analysis of energy demand, geographical and climatic conditions, and the evaluation of electrical parameters. Using simulation tools such as PVsyst and RETScreen, the orientation, inclination and components of the system were defined, reaching an installed power of 3.5 kW per home, made up of 10 monocrystalline panels of 350 W. The estimated average production was 8.9 kWh per day, enough to cover most residential consumption, reducing dependence on the conventional grid.

The results show a 74% decrease in electricity consumption from the grid, a 14.8% reduction in energy losses and an improvement in the voltage profile by  $\pm 2.5\%$ , while remaining within regulatory limits. Likewise, the intermittency of photovoltaic generation and its effect on operational stability were analyzed, determining that the planned integration of PSFV optimizes the overall efficiency of the system. This study lays the technical foundations for policies and strategies that promote the mass adoption of photovoltaic solar energy in Ecuador, consolidating it as a fundamental pillar for the modernization and sustainability of electricity grids.

**Palabras clave:**

Power quality, energy efficiency, photovoltaic energy, optimization, distribution networks

# 1. INTRODUCCIÓN

---

A lo largo de la última década, se han dado avances en el campo de las energías renovables. En 2009, se activa la curiosidad por este tipo de fuentes como respuesta al cambio climático que iniciaba a surgir y no se contaba con este tipo de proyectos para implementación. Para el 2018 ya se han implementado iniciativas que generan un impacto positivo en el medio ambiente (Ibarra Sarlat, 2020).

El crecimiento de la capacidad instalada global de energía solar fotovoltaica en el Ecuador ha sido significativo en la última década, promovido por proyectos de gran escala y estrategias de gobiernos (EP, 2024).

Entre los años 2014 a 2019 Ecuador experimentó un progreso moderado desarrollando proyectos emblemáticos como “El Aromo”; que es una planta con capacidad proyectada de 200 MW en la ciudad de Manta (Montecristi, 2023). Además, destacaron iniciativas en la Región Insular Galápagos como en otras regiones con menor capacidad plasmando el inicio de una transición hacia fuentes limpias (BID, 2023).

De 2020 a 2023 la capacidad instalada aumento de manera considerable, el precio decreciente de las tecnologías solares y avances en la eficiencia incentivaron a inversionistas. Ecuador presentó su mapa solar en el 2023, destacando ubicaciones estratégicas para generar 1500 MW de capacidad adicional en las provincias de Pichincha, Imbabura y Cotopaxi (López, 2023).

En el año 2024 se da un enfoque de consolidar los 7 proyectos identificados por el mapa solar (Investing, 2024). La planta El Aromo junto a otros proyectos en regiones estratégicas que posicionan al Ecuador como un referente regional en Energía Fotovoltaica para reducir la dependencia de fuentes hidroeléctricas y de fuentes térmicas (EP, 2024).

Ecuador ha evolucionado a una matriz energética con más de 4000 ubicaciones que serán evaluada para futuras instalaciones solares y así liderar la energía renovable (Reyes & Aledmer, 2021).

En los últimos años la disminución de costos y el perfeccionamiento en la eficiencia de los paneles solares ha sido fundamental en el crecimiento del mundo fotovoltaico tanto a nivel global como en el Ecuador (Reyes & Aledmer, 2021).

Desde 2010 el costo de los paneles en promedio a reducido en más del 80%, por los avances tecnológicos y en la economía de escala en su producción; los incentivos de gobierno y el aumento de la competencia en el mercado ha contribuido en abaratar los costos de instalación, permitiendo que la energía solar sea más accesible en hogares y empresas (Eave, 2024).

El uso de paneles solares ha incrementado su eficiencia alcanzando tasas mayores al 20% en modelos comerciales de actualidad (Alonso, 2024). Generando mayor electricidad por unidad de superficie, optimizando su rendimiento en áreas con espacios limitados; esto ha permitido la realización de proyectos solares en edificios públicos y en las zonas rurales (Prado, 2020).

Los proyectos a gran escala y las políticas han acelerado el acogimiento de la tecnología solar. Además, los desafíos principales que se encuentran asociados a la energía solar fotovoltaica en el Ecuador como en otros países se incluyen en la intermitencia de la generación y la variación geográfica; dichos factores son característicos de las energías renovables (Sol, 2024).

La producción de energía solar está sometida a las condiciones climáticas como por ejemplo la presencia del sol durante todo el día, así como las estaciones del año; generando fluctuaciones en el suministro de energía complicando poder garantizar una fuente de electricidad estable (Hungria, 2023). Por lo que para mitigar este problema se ha planteado soluciones como sistemas de almacenamiento de energía (baterías) y desarrollo de microgrids (recurso energético) permitiendo manejar los recursos distribuidos y mantener estabilidad del suministro eléctrico (Pantoja, 2024).

Ecuador tiene una ubicación privilegiada con alta radiación solar, pero a pesar de esto se debe tomar en cuenta la infraestructura y la conectividad para aprovechar el potencial entre las regiones (Global, 2023); esto afecta la idoneidad de integrar la energía solar de forma uniforme en la red nacional de electricidad sobre todo en las áreas más lejanas y de difícil acceso como son las Islas Galápagos (Inca, Villalta, Cabrera, Cabrera, & Bautista, 2023).

En la parte de infraestructura y costos se pretende mejorar la red de transmisión y distribución para generar más energía eléctrica, aunque los gastos asociados a los paneles han reducido, es necesario solucionar problemas de financiamiento para fomentar su adopción masiva (Inca, Villalta, Cabrera, Cabrera, & Bautista, 2023).

## 2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La demanda energética se ha incrementado a escala mundial y la necesidad de evolucionar hacia fuentes de energía sostenibles han permitido el aumento en la demanda de energías renovables como la energía solar fotovoltaica. Es por lo que, en el Cantón Guaranda de la Provincia de Bolívar la red de distribución eléctrica muestra desafíos que están vinculados con la eficiencia energética y calidad de la potencia; en la subestación eléctrica de las Naves como el nodo estratégico dentro de la red, misma que se enfrenta a problemas relacionados con las fluctuaciones de voltaje, factor de potencia bajo, intermitencia en la generación, impacto en la eficiencia del servicio eléctrico y satisfacción para los usuarios.

Además, la región cuenta con un alto índice de radiación solar, y este recurso no es aprovechado de manera eficiente para la generación de electricidad; la falta de integración en los sistemas fotovoltaicos de la red de distribución ha limitado el cambio de la matriz energética, la cual ha incrementado la dependencia de fuentes térmicas e hidroeléctricas, cuya disponibilidad se ve afectada por condiciones climáticas y/o variaciones en los costos de combustibles fósiles.

Por lo cual, la creación y la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos en la subestación eléctrica las Naves constituye una oportunidad para incrementar la eficiencia energética y la calidad de la potencia, disminuyendo o mitigando los efectos negativos de la intermitencia en la generación eléctrica y así optimizar el perfil de voltaje de la red. No obstante, la integración de esta tecnología conlleva a desarrollar desafíos técnicos y económicos que requieren una planificación adecuada, con el uso de herramientas de modelado, optimización y simulación que asegure la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

## 2.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este análisis se centra en la creación de un sistema fotovoltaico de paneles solares para la subestación eléctrica Las Naves, situada en la red de distribución del Cantón Guaranda, en la Provincia de Bolívar. El análisis incluye varios aspectos, entre ellos:

- **Ubicación Geográfica:** Subestación eléctrica Las Naves, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar, Ecuador
- **Periodo de estudio:** Año 2025
- **Aspectos Técnicos:** Selección de tecnologías fotovoltaicas, análisis de irradiación solar, intermitencia, almacenamiento de energía y valoración de su efecto en la calidad de la potencia.
- **Capacidad del Sistema:** Dimensionamiento basado en la demanda energética actual y proyectada de la subestación

## 2.2. OBJETIVOS

### 2.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar el diseño de un sistema de Paneles Solares para mejorar la eficiencia y calidad de Potencia

### 2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la información para la ubicación óptima de Paneles Fotovoltaicos (PV) en la subestación eléctrica de Las Naves dentro de la Red de Distribución del Cantón Guaranda, estableciendo las bases conceptuales y metodológicas para el desarrollo de la investigación.
- Diseñar un Sistema de paneles solares dimensionamiento adecuado de los paneles fotovoltaicos, utilizando técnicas que consideren tanto los aspectos técnicos como las limitaciones de las redes de distribución.

- Evaluar el sistema midiendo la reducción de pérdidas de energía y la estabilización del perfil de voltaje, de manera que se conozca el impacto o las mejoras en el rendimiento del sistema de distribución.

## 2.3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de paneles solares fotovoltaicos en la subestación eléctrica Las Naves se presenta como una solución estratégica ante la exigencia de actualizar y robustecer la red de suministro eléctrico del cantón Guaranda. Esta propuesta tiene como objetivo incrementar la eficiencia energética y mejorar la calidad de la energía proporcionada, a través de la producción fotovoltaica distribuida que facilita la generación de electricidad próxima al lugar de consumo. Esta cercanía ayuda de manera significativa a disminuir las pérdidas técnicas en la red, mientras disminuye la dependencia de fuentes de energía tradicionales.

Además, el uso de energía solar es un recurso limpio, renovable e inagotable fomenta la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, en consonancia con los objetivos nacionales de sostenibilidad ambiental y las políticas de transición energética hacia un modelo con bajo contenido de carbono. En términos técnicos, la generación distribuida a través de paneles solares no solo incrementa la eficacia del sistema, sino que también contribuye a la estabilidad de la red eléctrica. Asiste en la estabilidad del perfil de voltaje y reduce las variaciones provocadas por la intermitencia en la generación, promoviendo así un abastecimiento más seguro.

En el ámbito social y económico, el uso del recurso solar en la zona promueve el crecimiento local, creando oportunidades laborales, fomentando la formación en tecnologías ecológicas y promoviendo la innovación tecnológica. Además, la gradual reducción en los gastos de la tecnología fotovoltaica, sumada a estímulos del gobierno, promueve la factibilidad de estos proyectos, proporcionando ventajas económicas sostenibles a largo plazo.

En este marco, este proyecto no solo constituye una solución técnica enfocada en incrementar la eficiencia energética y la calidad del abastecimiento de electricidad, sino que también sienta un precedente para futuras iniciativas que robustezcan la transición energética en la zona y fomenten un desarrollo sustentable integral.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1. ANTECEDENTES

Carlos Grijalva y Félix Vélez, alumnos de la especialidad de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Guayaquil, llevaron a cabo el proyecto denominado "Análisis e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias: Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero. "Ejemplo de Caso". El propósito principal de este estudio es brindar a la institución educativa un abastecimiento eléctrico fiable y sostenible, debido a la escasa confianza que brinda el sistema eléctrico tradicional en su contexto actual. La creación del sistema fotovoltaico se basa en un estudio minucioso de la carga eléctrica, lo que facilitó la identificación del uso medio de energía de la institución educativa. Basándose en estos datos, se proyectó un sistema de producción solar que puede generar y guardar hasta 16.563 kWh anuales, asegurando así una autonomía energética que supera las 8 horas diarias sin la necesidad de utilizar la red eléctrica convencional. Los hallazgos de la investigación demuestran diversas ventajas. En términos financieros, se proyecta un ahorro mensual de cerca de \$640 en el recibo eléctrico. En el contexto ambiental, se anticipa una disminución considerable de las emisiones de contaminantes, con una proyección de 125 kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) evitados por cada hora de funcionamiento del sistema fotovoltaico, lo que ayuda directamente a atenuar el cambio climático (Grijalva & Vélez, 2020).

De la Torre Alex en su tesis para la Carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana con Sede Quito con el tema "Diseño de un Sistema de Generación Distribuida Fotovoltaica para el Bloque D del campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana", muestra que el diseño de un nuevo sistema fotovoltaico con capacidad de 12 kW abastecerá el bloque D de la Universidad Salesiana de Quito del lado sur, pretendiendo producir energía limpia (De la Torre, 2022).

Kevin Tumbaco y Kevin Pantaleón, alumnos de la especialidad de Electricidad en la Universidad Politécnica Salesiana, campus Guayaquil, llevaron a cabo un proyecto de ingeniería orientado a fomentar el desarrollo sostenible en la comuna La Masa 1, situada en el sector sur de Guayaquil. El propósito principal del proyecto consistió en establecer un sistema de energía renovable que reemplace la utilización de generadores portátiles de combustión, que no solo implican elevados gastos operativos, sino que también aportan de manera significativa a la polución del medio ambiente. Con esta propuesta, se persiguió elevar el nivel de vida de los residentes del sector a través de un acceso a la electricidad más seguro, asequible y ecológico. El avance del proyecto contempló visitas técnicas a la comuna mediante transporte fluvial por el río Guayas, lo que facilitó la recolección de información técnica vital para el diseño del sistema. Mediante el uso del software especializado PVsyst, los escritores llevaron a cabo un estudio minucioso de la carga energética, lo que facilitó la definición de un sistema fotovoltaico fuera de red (off-grid) ajustado a las circunstancias del lugar. Este sistema incluye paneles solares, reguladores de carga, baterías de almacenaje e inversores, lo que facilita la estimación adecuada de la necesidad energética en el hogar. El resultado fue la puesta en marcha de un sistema autónomo que podía cubrir las necesidades energéticas fundamentales de los hogares de la comuna, disminuyendo considerablemente las emisiones de contaminantes y promoviendo la utilización de una fuente de energía limpia e inagotable como la energía solar (Tumbaco & Pantaleón, 2023).

En cambio, Roberto Quintana, alumno de la Universidad Técnica de Ambato, llevó a cabo un proyecto enfocado en el cálculo y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para proveer energía a viviendas unifamiliares en la Parroquia Atahualpa, cantón Ambato, un área marcada por escasez de recursos energéticos. A través de un sondeo realizado a 54 familias de interés social, se recolectaron datos acerca del uso mensual de energía, lo que facilitó la categorización de las viviendas según el Pliego Tarifario de las compañías de distribución de electricidad durante el periodo de enero a diciembre de 2020. La investigación estableció una demanda media de 8,70 kWh diarios y utilizó el método de Liu y Jordan para determinar la

irradiación solar disponible, lo que facilitó la correcta dimensionación de los elementos del sistema fotovoltaico. Este proyecto no solo sugiere una solución técnica factible, sino que también aspira a promover en la población local una conciencia ambiental comprometida y la implementación de fuentes de energía renovables como táctica esencial para atenuar las consecuencias del cambio climático (Quintana, 2020).

Igualmente, Adrián Morales y Diego Gómez, provenientes de la misma universidad y formación que los primeros creadores, llevaron a cabo el proyecto denominado "Dimensionamiento e Implementación de Paneles Fotovoltaicos Aplicados al Área Residencial en un Sector Costero de la Provincia del Guayas". La investigación sugiere la utilización de energía solar como opción principal en zonas con alta radiación solar, resaltando sus diversas ventajas: se trata de una fuente de energía limpia, exenta de emisiones de gases de efecto invernadero, con un impacto ambiental reducido y alta disponibilidad. Adicionalmente, se destaca su coste de mantenimiento reducido, sencillez en la instalación y eficacia a largo plazo. El objetivo del proyecto es asegurar un abastecimiento de energía constante y seguro en áreas residenciales costeras, donde los sistemas tradicionales pueden ser inseguros o costosos. En este escenario, el sistema fotovoltaico se presenta como una alternativa sustentable y rentable, que eleva el nivel de vida de los residentes al mismo tiempo que aporta a la preservación del medio ambiente (Morales & Gomez, 2022).

## 3.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### 3.2.1. PANELES SOLARES

Los paneles solares se utilizan para capturar energía solar y convertirla en electricidad, el típico panel se encuentra compuesto por células solares individuales hechas por capas de silicio, boro y fósforo como se indica en la figura 1. En donde la capa de boro es la que proporciona carga positiva, capa de fosforo entrega la carga negativa y la parte de la oblea de silicio es la que actúa como semiconductor (Olaoluwa, 2023).

Cuando los fotones solares impactan la superficie del panel, los electrones de la sección del silicio son expulsados y se introducen en el campo eléctrico generado por las células solares, generando una corriente direccional que se empleará y se aprovechará como energía útil. Este proceso que realiza el módulo solar se conoce como efecto fotovoltaico, de ahí que los paneles solares se les llame paneles fotovoltaicos (Olaoluwa, 2023).



*Figura 1: Panel solar*

Un panel solar típico contiene 60, 72 o 90 células solares individuales, existen 4 tipos de paneles disponibles en el mercado como los son paneles: monocristalinos, policristalinos, PERC y de película delgada (Olaoluwa, 2023).

- Paneles monocristalinos: se encuentran hechos con un solo cristal de silicio puro, el cual se corta en varias obleas, están hechos de silicio puro además se identifica fácilmente por su color negro oscuro, el silicio puro hace que los paneles monocristalinos sean los más eficientes (Olaoluwa, 2023).
- Paneles policristalinos: se derivan de vario cristales de silicio en vez de uno solo, las células policristalinas son más accesibles, existe poco desperdicio y tiene una forma cuadrada. Son menos eficientes en términos de conversión de energía y espacio; la pureza y construcción es inferior a los paneles monocristalinos y tiene menos tolerancia por lo que su eficiencia es menor en entornos de alta temperatura (Olaoluwa, 2023).
- Paneles de emisor pasivado y celda trasera (PERC): estos paneles son una mejora de la célula monocristalina tradicional, la tecnología añade una capa de

pasivación en la parte posterior o superficie posterior de la célula que permite mejorar la eficiencia (Olaoluwa, 2023).

- Paneles de película delgada: se caracteriza por tener capas muy finas, son más livianos y fáciles de instalar; su tamaño estandarizado esta entre los 60, 72 y 96 celdas. Pero son menos eficientes que los paneles solares de silicio (Olaoluwa, 2023).

### 3.2.2. RIESGO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Los riesgos pueden estar dados por condiciones climáticas, con desgastes de material que tengan incidencia considerable ante una emergencia. La figura 2 muestra los riesgos específicos asociados a los paneles solares, siendo los principales el riesgo de incendio y la formación de arcos eléctricos, debido a la presencia de puntos en el sistema que pueden alcanzar temperaturas extremadamente elevadas como baterías, cajas de distribución, inversor y cableado de corriente alterna (Riffo, 2017).

- Arco eléctrico: es uno de los escenarios más complejos que se da en un panel fotovoltaico, este arco puede alcanzar hasta miles de altos grados de temperatura; estos cuando se producen por corriente alterna se auto extinguen y cuando se dan por corriente continua aumenta el riesgo de incendio (Riffo, 2017).
- Riesgo de incendio: las plantas fotovoltaicas se componen de materiales polimerizados que tienen alto riesgo de inflamabilidad, facilitando la propagación y se puede derretir a altas temperatura (Riffo, 2017).



*Figura 2: Riesgo de paneles fotovoltaicos*

### 3.2.3. SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Son aquellos que generan electricidad directamente de la luz del sol, estos generan energía limpia y confiable, además pueden ser usados en varios tipos de aplicaciones. Tecnologías fotovoltaicas iniciaron hace más de 100 años atrás, Willoughby Smith en 1873 analizó que el selenio era sensible a la luz determinando que el selenio al conducir electricidad esta aumentaba en proporción a la exposición del sol (International).

Luego las teorías de Einstein permitieron enfocarse en que la generación de la electricidad a partir de la luz solar es denominada como un proceso físico; uno de los primeros usos de la tecnología fotovoltaica fue la electrificación de una estación telefónica a finales de los años 50, la NASA buscaba una fuente de energía que sea confiable y ligera para que esta sea usada en el espacio exterior por lo que instalaron en el satélite Vanguard I, compuesto por 108 celdas; es por ello que en la década de los años 60 las naves espaciales y satélites ya tenían sistemas fotovoltaicos (International).

En la actualidad los módulos solares entregan energía a muchos hogares alrededor del mundo y con ello genera innumerables formas económicas sostenibles su estructura se detalla en la figura 3, estos panales usan para aplicaciones como:

comunicaciones, riego de cultivo, purificación de agua, servicios médicos, navegación aérea, navegación marítima, redes de servicios de electricidad entre otras aplicaciones (International).

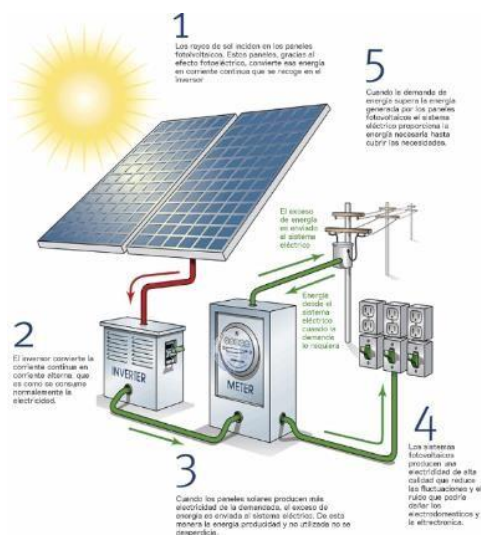


Figura 3: Diagrama de un sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4. CÉLULA FOTOVOLTAICA – FUNCIONAMIENTO

Es el material utilizado en la fabricación de los paneles solares, y su rendimiento varía en función del tipo de célula de silicio cristalizado y/o de película fina, tal como se ilustra en la figura 4. Estos se encuentran hechos de (Tumbaco & Pantaleón, 2023):

- Banda prohibida
- Banda de conducción
- Banda de valencia misma que es el material semiconductor



Figura 4: Célula fotovoltaica

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.5. VIDA ÚTIL DE PANEL SOLAR

Los paneles solares tienen una vida útil de más de 30 años si son paneles de alta calidad, después de este tiempo los paneles continuarán produciendo energía en cantidades pequeñas y pueden fallar muy rara vez por algo interno, por fuerzas externas o una instalación incorrecta (Tumbaco & Pantaleón, 2023).

### 3.2.6. ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Es la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, ocurriendo en paneles fotovoltaicos; la radiación estimula los electrones del dispositivo semiconductor generando una variación de potencial. Cuando se vinculan en serie se consigue un potencial superior (renovables, s.f.).

### 3.2.7. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Conjunto de dispositivos, aparatos, máquinas y circuitos que son parte de un sistema eléctrico de potencia, su función es modificar los parámetros de la potencia eléctrica, de la tensión y la corriente; entregando un medio de interconexión que ayuda al suministro del mismo sistema con líneas de transmisión existentes (*Subestación Eléctrica*, n.d.-a).

El objetivo principal de la Figura 5, subestación eléctrica es garantizar la continuidad en el servicio de la energía eléctrica, por esta razón es esencialmente indispensable

la subestación tenga un medio de desconexión eficaz para el control, medición, mantenimiento y la protección (*Subestación Eléctrica*, n.d.-b).



Figura 5: Subestación eléctrica

### 3.2.8. RED DE DISTRIBUCIÓN

Es la parte del sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía eléctrica es transportada desde las subestaciones de transmisión y subtransmisión hasta las subestaciones de distribución la cual se muestra en la Figura 6; su diferencia principal es el voltaje porque en la transmisión y subtransmisión operan voltajes elevados (media tensión y alta tensión), mientras que el área de distribución opera con voltajes bajos (Guayusa En El Cantón Francisco De Orellana, n.d.).

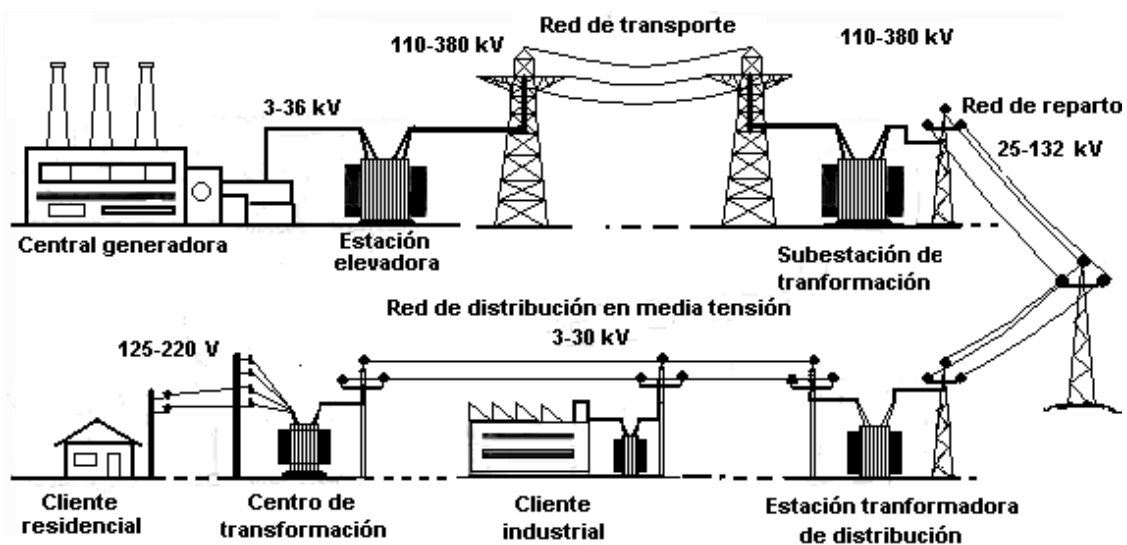


Figura 6: Red de distribución

### 3.2.9. SUBESTACIÓN REDES DE DISTRIBUCIÓN POR SU TENSIÓN NOMINAL

- **Red primaria:** conocido también como red de media tensión, la tensión alcanza un voltaje mayor a 600 voltios y una tensión hasta los 40 Kilo vatios.
- **Red secundaria:** conocido también como red de baja tensión, esta va desde los 0 voltios hasta los 600 voltios (Guayusa En El Cantón Francisco De Orellana, n.d.)

### 3.2.10. RELEVANCIA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

En el sistema eléctrico las redes de distribución son esenciales porque representan el último eslabón para trasladar la energía desde las plantas de generación de energía hasta los usuarios; esto incluye hogares, servicios, industrias entre otros. Transformando la energía de alta o media tensión en baja tensión para el consumo llegando asegurar su buena calidad y confiabilidad (Capito, 2023)

### 3.2.11. DESAFÍOS

La variabilidad en la demanda de las redes, estas deben adaptarse a las fluctuaciones que se da en el consumo y pueden ser influenciadas por patrones estacionales o diarios según se generen; debido a su infraestructura y costos las redes de distribución generalmente operan bajo el esquema regulado para garantizar el acceso equitativo (Girardotti, 2020).

### 3.2.12. PROBLEMAS COMUNES

Pérdidas de energía: se dan por resistencias inherentes en las líneas de transmisión, en componentes eléctricos, transformadores entre otros, representando una parte inevitable de los sistemas siendo optimizadas mediante mejoras en la infraestructura y tecnología eficiente. También incluye robos de electricidad, error en la medición o conexiones ilegales; aumentando costos para las empresas de

distribución y además que necesiten de estrategias modernas para los sistemas de medición y políticas estrictas de regulación (Girardotti, 2020).

Estabilidad operativa: está comprometida por fluctuaciones de voltaje, interrupciones en el suministro y variabilidad en la carga, así como factores en la demanda energética creciente y la conexión no planificada en la generación distribuida (GD) la misma que puede generar flujos de potencia irregulares, fallas operativas y activación no deseada de protecciones (Girardotti, 2020).

Calidad de potencia: se afecta por distorsiones armónicas, caídas de tensión y sobretensiones, condiciones que dañan equipos sensibles y reducen la vida útil de la infraestructura eléctrica (Girardotti, 2020).

Optimización de integración fotovoltaica es un aspecto clave en la transición hacia un modelo energético sostenible, proceso que abarca el diseño, implementación y operación de instalaciones solares maximizando su aporte al sistema eléctrico y minimizando los impactos adversos (Capito, 2023) (Girardotti, 2020).

### 3.2.13. LOCALIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO

Es adecuado tener una buena localización y dimensionamiento de las plantas solares. Los algoritmos metaheurísticos incluyendo el algoritmo de la viuda negra han demostrado ser altamente efectivos para determinar ubicaciones y tamaños ideales de generadores fotovoltaicos, son técnicas que permiten optimizar el flujo de potencia, reducir las pérdidas energéticas y disminuir costos operáticos beneficiando tanto al sistema eléctrico como al medio ambiente (Quito, 2022).

### 3.2.14. IMPACTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

La optimización en la integración no solo disminuye los costos operativos anuales del sistema, sino que también fomenta el uso racional de los recursos energéticos, generando un impacto directo en la competitividad económica del sector eléctrico, a la vez que contribuye a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de los objetivos globales de descarbonización (Carvajal, Gil, Poveda, & Quiroga, 2024).

### 3.2.15. USO DE SIMULADORES HOMER Y MATLAB PARA ANÁLISIS DE REDES

HOMER Pro: plataforma específica para modelar y optimizar sistemas híbridos de energía, permite simular distintos escenarios considerando la irradiación solar, costos de componentes, almacenamiento de energía y demanda eléctrica. Se usa especialmente para analizar sistemas desconectados de la red o con una integración mínima, evaluando tanto el rendimiento técnico como la factibilidad económica (Carpio & Aucapiña, 2024).

MATLAB: herramienta ideal para realizar simulaciones personalizadas y detalladas de redes eléctricas, modela la interacción entre fuentes fotovoltaicas y redes eléctricas. Se utiliza para analizar la estabilidad operativa, optimizar flujos de potencia y evaluar el impacto de la intermitencia solar en redes de distribución (MathWorks, 2024).

### 3.2.16. IMPACTO TÉCNICO DE LA UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO

La ubicación y el dimensionamiento óptimos de sistemas fotovoltaicos tienen implicaciones técnicas significativas en términos de eficiencia energética, estabilidad de red y calidad de potencia (Quito, 2022).

La localización de los paneles establece el volumen de radiación solar disponible. Los factores como latitud, inclinación, orientación hacia el ecuador y condiciones climáticas afectan directamente la captación solar. También un dimensionamiento adecuado considera factores como ángulo de inclinación óptimo y las pérdidas por sombras o polvo en las celdas solares (Quito, 2022).

Un diseño óptimo previene fluctuaciones en la red eléctrica derivada de la intermitencia solar. Un sistema mal ubicado o dimensionado puede generar inyecciones de potencia inestables, afectando la operación segura de las redes de distribución (Carpio & Romero, 2024).

La calidad de la potencia está vinculada a la integración eficaz de los sistemas fotovoltaicos en la red eléctrica, el dimensionamiento debe asegurar que la generación coincida con el consumo esperado para evitar problemas de sobrecarga o déficit energético. Adicionalmente, la ubicación influye en factores como las caídas de tensión y las pérdidas en el cableado, lo que repercute en la calidad de la electricidad suministrada a los usuarios finales (Carpio & Romero, 2024).

### 3.2.17. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

La integración de energía fotovoltaica tiene un impacto técnico positivo al reducir las pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución, principalmente se da o se logra a través de la generación distribuida, donde los paneles solares se instalan cerca del punto de consumo. Este enfoque disminuye la necesidad de transportar energía desde grandes plantas generadoras a largas distancias, generando pérdidas significativas por resistencia en las líneas de transmisión (Pachar & Quizhpi, 2020).

Las tecnologías fotovoltaicas estabilizan los sistemas eléctricos al proveer energía localmente durante las horas de mayor demanda, también ayuda a disminuir los picos de carga en la red principal; permitiendo mejorar la eficiencia energética y contribuyendo a una menor dependencia de las fuentes de energía centralizadas (Pachar & Quizhpi, 2020).

### 3.2.18. COSTOS Y BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Las tecnologías fotovoltaicas estabilizan los sistemas eléctricos al proveer energía localmente durante las horas de mayor demanda, también ayuda a disminuir los picos de carga en la red principal; permitiendo mejorar la eficiencia energética y contribuyendo a una menor dependencia de las fuentes de energía centralizadas (Pachar & Quizhpi, 2020).

Evaluaciones de viabilidad económica considerando el costo nivelado de electricidad (LCOE) ecuación 1: es un indicador empleado para valorar la factibilidad económica de los sistemas fotovoltaicos, refleja la inversión promedio de

generación de energía por unidad (kWh) a través de la vida útil de un sistema, incorpora costos iniciales, operaciones, mantenimiento y financiación. Ayuda a comparar tecnologías determinando la rentabilidad y planificación de inversores en proyectos de energía renovable (Morales & Ramirez, 2020).

LCOE se calcula con:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T (C_t + O_t + M_t)}{\sum_{t=1}^T \left( \frac{E_t}{(1+r)^t} \right)}$$

*Ecuación 1: Fórmula para el cálculo de LCOE*

Donde:

$C_t$ : Costos de inversión inicial.

$O_t$ : Costos de operación en el tiempo t.

$M_t$ : Costos de mantenimiento en el tiempo t.

$E_t$ : Energía generada en el tiempo t.

$r$ : Tasa de descuento.

$T$ : Vida útil del sistema.

### 3.2.19. TENDENCIAS ACTUALES

La reducción del LCOE en las últimas décadas, el costo de los sistemas fotovoltaicos ha disminuido significativamente gracias a la mejora en tecnologías, economías de escala y políticas de apoyo gubernamentales (Morales & Ramirez, 2020).

La competitividad con fuentes tradicionales LCOE de la energía solar es competitivo o incluso inferior al de las plantas de carbón y gas natural.

Integrar baterías incrementa los costos iniciales, pero también mejora la flexibilidad y el valor de la generación solar (Morales & Ramirez, 2020).

LCOE proporciona una métrica clara y estandarizada para evaluar la rentabilidad de proyectos solares. Facilita la toma de decisiones informadas por inversores y diseñadores de políticas públicas (Energética, 2021).

Promueve la adopción de energías renovables al demostrar su viabilidad económica frente a fuentes convencionales (Energética, 2021).

### 3.2.20. ANÁLISIS COMPARATIVOS ENTRE SISTEMAS CONVENCIONALES Y RENOVABLES

En la Tabla 1 se muestra la comparación entre los sistemas energéticos convencionales y renovables, evaluando aspectos como el costo, impacto ambiental, eficiencia, costos nivelados de energía (LCOE) y beneficios sociales y económicos.

Sistema convencional	Sistema renovable
<b>COSTO INICIAL Y OPERACIONAL</b>	
Alta inversión en infraestructura, costos variables por el consumo de combustibles	Alta inversión inicial en equipos, pero costos operativos y de mantenimiento bajos
Altos costos operativos por mantenimiento, combustibles y residuos	Sin costos por combustibles, reduce la exposición de fluctuaciones de precios
<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	
Emisión elevada de gases de efecto invernadero, creación de desechos tóxicos y residuos tóxicos.	Cero emisiones durante la operación, huella ambiental significativamente menor
<b>EFICIENCIA Y FIABILIDAD</b>	
Proveen energía constante y confiable, depende de recursos no renovables	Generación intermitente y dependiente de condiciones climáticas
Pérdidas significativas en transmisión.	Ubicación descentralizada que reduce pérdidas de transmisión y mejora la eficiencia local
<b>COSTOS NIVELADOS DE ENERGÍA LCOE</b>	
Mayor costo que las renovables	A largo plazo son más rentables por los avances tecnológicos y económicos de escala
<b>BENEFICIOS SOCIALES Y ECONÓMICOS</b>	

Contribuyen al empleo, altos costos en salud pública por la contaminación	Generan empleos en manufactura, instalación y mantenimiento
	Fomentan la autonomía energética al disminuir la necesidad de importar combustibles fósiles.

*Tabla 1: Análisis comparativos entre sistemas convencionales y renovables*

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.21. ANÁLISIS IMPACTO AMBIENTAL

La energía fotovoltaica ayuda en la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En su operación los sistemas fotovoltaicos no generan emisiones de CO<sub>2</sub> ni otros GEI, convirtiéndose en una tecnología de generación más limpia en la actualidad (Unidas, s.f.).

En comparación con fuentes fósiles como el carbono o el gas natural que emiten entre 820 a 1050 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio/hora (grCO<sub>2</sub>/kWh); los sistemas fotovoltaicos tienen un impacto ambiental menor con emisiones entre los 50 grCO<sub>2</sub>/kWh incluido su ciclo de vida incluyendo la fabricación y transporte (Verificat, 2022).

La adopción masiva de energía solar permite desplazar fuentes energéticas altamente contaminantes en la matriz energética, reduciendo las emisiones nacionales de Gases de Efecto Invernadero, ya que por cada megavatio hora generado por energía solar se evita la emisión de hasta una tonelada de CO<sub>2</sub>, dependiendo de la mezcla energética; en el Ecuador por su alta irradiación solar el impacto es positivo (Verificat, 2022).

Por lo que la energía solar fotovoltaica no solo es esencial para la transición hacia sistemas energéticos sostenibles, sino que también representa una herramienta efectiva para cumplir con objetivos de descarbonización y preservación del equilibrio ambiental a nivel global (Verificat, 2022).

## 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 4.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es cuantitativo porque se fundamenta en la recopilación y análisis de los datos numéricos obtenidos a través de la encuesta aplicada a las personas que viven en el cantón Guaranda para conocer el consumo energético promedio caracterizando la demanda eléctrica residencial; esto permite establecer parámetros precisos para el diseño y el dimensionamiento del sistema de paneles solares fotovoltaicos.

Se adopta un enfoque aplicado y experimental por la búsqueda de implementar una solución técnica específica para tener un incremento en la eficiencia energética y en la calidad de la potencia de la subestación eléctrica Las Naves, por lo que se utilizan herramientas de simulación y optimización que permite evaluar el comportamiento del sistema con diferentes condiciones de irradiación solar y la demanda energética.

### 4.2. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

En el análisis del diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica destinada al suministro eléctrico del cantón Guaranda, provincia de Bolívar, se establece como punto de partida la caracterización geográfica y demográfica del área de interés. Según proyecciones del DANE para el año 2023, la provincia de Bolívar cuenta con un total de 91.877 habitantes, de los cuales 47.524 son mujeres (51,72 %) y 44.353 hombres (48,28 %).

Adicionalmente, conforme a datos proporcionados de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), el cantón Guaranda posee una superficie aproximada de 1897,8 km<sup>2</sup> (equivalente a 189.780 hectáreas) y una altitud promedio de 2668 metros sobre el nivel del mar. Estos datos geográficos, fundamentales para la evaluación de la irradiación solar y el comportamiento energético del sistema

fotovoltaico, se resumen en la Tabla 2, la cual presenta las coordenadas geográficas y la altitud correspondientes a la zona de estudio y la figura 7 su radiación solar.

Lugar	Coordenadas UTM	Altitud
Guaranda	17M, 722000 m E, 9817000 m S	2,668 m

Tabla 2: Coordenadas y Altitud de Guaranda

Fuente: Elaboración propia

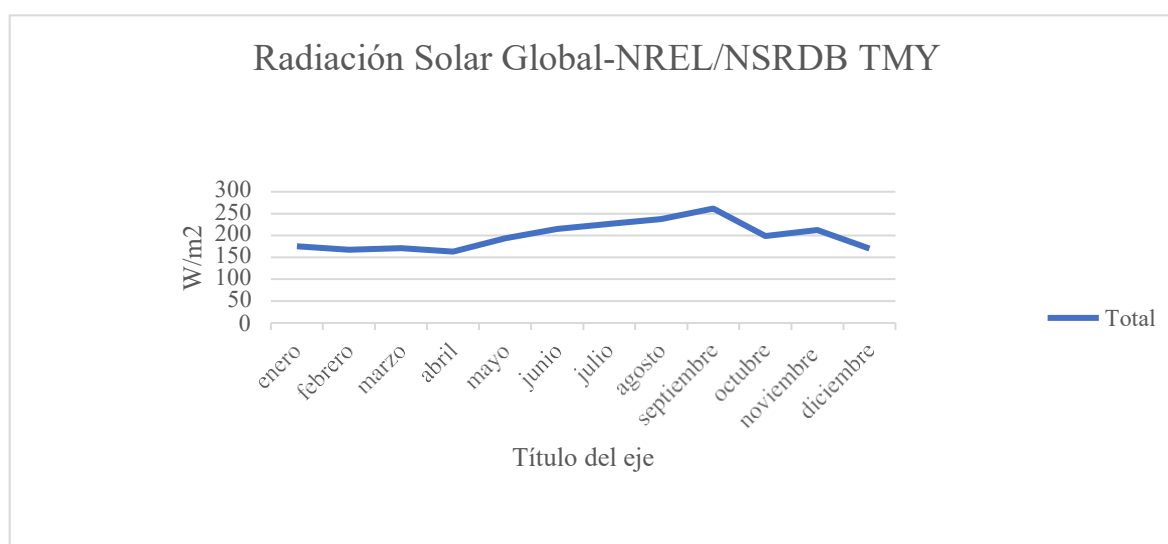


Figura 2: Radiación Solar Global

Fuente: Elaboración propia

Durante el año 2023, el cantón Guaranda registró niveles de radiación solar promedio que oscilaron entre los 160 y 260 W/m<sup>2</sup>, lo cual se clasifica dentro de un rango de radiación intermedia. Estos valores, aunque no se consideran altos en comparación con zonas de mayor irradiación solar del país, resultan suficientes para justificar técnicamente la implementación de sistemas fotovoltaicos, especialmente si se combinan con estrategias de eficiencia energética. Cabe destacar que esta medición corresponde a una altitud geográfica aproximada de -1,5932° de latitud (sur), lo que influye en la disponibilidad solar diaria, siendo un factor determinante en el cálculo del potencial de generación eléctrica a través de paneles solares. Este dato es esencial para el diseño y dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas,

ya que permite estimar la producción energética esperada y seleccionar adecuadamente los componentes del sistema, garantizando su viabilidad técnica y económica en función del contexto local.

### 4.3. ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Se calcula a partir de la latitud del sitio de estudio

$$\beta_{(opt)} = 3.7 + 0.69\theta$$

*Ecuación 2: Ángulo de inclinación*

$\beta_{(opt)}$ : Ángulo óptimo de inclinación

$\theta$ : Latitud del emplazamiento

La Orientación o azimut se establece si el emplazamiento está ubicado en el hemisferio norte se aconseja que el panel tenga una orientación hacia el sur, y viceversa, de tal manera que se pueda incrementar la utilización de la radiación solar, es decir, el ángulo óptimo de inclinación en forma teórica para una latitud de  $-1, 5932^\circ$  es de  $4, 799308^\circ$  y  $0^\circ$  de hacia el norte y el ángulo de inclinación será  $10^\circ$  por la pendiente y para motivos de mantenimiento.

### 4.4. IRRADIACIÓN ANUAL EFECTIVA EN LA PROVINCIA DE GUARANDA

La Ecuación 3 y la Tabla 3 permiten estimar la irradiación anual efectiva sobre una superficie inclinada en la provincia de Guaranda, un parámetro que determina el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. La ecuación utilizada para este cálculo tiene en cuenta la variación del ángulo de inclinación del plano receptor y su impacto en la captación de radiación solar, expresándose de la siguiente manera:

Se calcula mediante la ecuación:

$$G_{a\beta_{(opt)}} = \frac{G_a(0)}{[1 - 4.46 \times 10^{-4} \beta_{(opt)} - 1.19 \times 10^{-4} \beta_{(opt)}^2]}$$

*Ecuación 3: Irradiación anual*

$G_{a\beta_{(opt)}}$ : Irradiación incidente – superficie inclinada

$G_a(0)$ : Irradiación incidente – superficie horizontal

Mes	NREL (kWh/m2 mes)	Irradiación (B,) (kWh/m2 mes)
Enero	175,02	109,11
Febrero	167,32	99,19
Marzo	170,47	104,17
Abril	162,94	102,89
Mayo	193,42	123,84
Junio	214,19	141,90
Julio	226,55	159,75
Agosto	237,38	168,47
Septiembre	261,41	168,23
Octubre	198,39	133,24
Noviembre	212,33	141,41
Diciembre	169,73	110,17
Anual	2389,14785	1562,385

*Tabla 3: Irradiación anual efectiva en la provincia de Guaranda*

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta una dirección de 0° y una inclinación de 10° en Guaranda provincia, se considera una orientación de 0°. Se obtienen los resultados de la irradiación anual efectiva sobre los habitantes de Bolívar. El mes de febrero presenta la menor radiación solar con 99,19 kWh/m2-mes correspondiente a 3,31 kWh/m2-día. En cambio, el mes con la mayor radiación solar es el mes de mayo y agosto registró una media de 168,47 kWh/m2-mes, lo que equivale a 5,62 kWh/m2-

día. Las radiaciones aproximadamente 130,20 kWh/m<sup>2</sup>-mes es el promedio mensual, lo que equivale a una radiación diaria de 4,34 kWh/m<sup>2</sup>-día.

## 4.5. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La creación de un sistema solar fotovoltaico aislado se lleva a cabo basándose en la necesidad de energía, además de las propiedades técnicas de los paneles, baterías e inversores. La Ecuación 4 se emplea para determinar la cantidad de módulos requeridos.

El número de paneles a instalar es directamente proporcional a la energía eléctrica requerida durante un día e inversamente proporcional a la potencia pico del panel fotovoltaico, la radiación promedio diaria del lugar, en el peor día del año y la eficiencia de la instalación solar fotovoltaica aislada (Pesantez, Ríos, González, & Javier, 2021).

$$n = \frac{Ec}{p_m * h_{sp} * \eta}$$

*Ecuación 4: Número de módulos FV*

Donde:

$n$ : Numero de módulos FV

$Ec$ : Energía consumida diaria, (Wh)

$p_m$ : Potencia del módulo, (W)

$h_{sp}$ : Horas sol pico promedio (h)

$\eta$ : eficiencia de la instalación fotovoltaica

Así pues, la radiación media diaria se establece basándose en el registro medio anual, teniendo en cuenta el ajuste correspondiente a las pérdidas por inclinación

y rumbo para prevenir la sobredimensionación o la subdimensionación del sistema solar. Por esta razón, se determina la máxima potencia del módulo basándose en las condiciones de trabajo, especialmente la temperatura, pues de ella depende el rendimiento del equipo módulo fotovoltaico, esta anotación se encuentra en la base de datos del Instituto. International Institute of Meteorología e Hidrología (INAMHI). El intervalo de temperatura anual promedio fluctúa en el sitio escogido entre 8°C y 20°C.

La disposición del número de paneles solares fotovoltaicos por secuencia y la cantidad de secuencias paralelo no debe exceder los valores máximos y mínimos del rango de operación en paralelo la corriente y la tensión del inversor.

## 4.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

### **Población y muestra**

El cantón de Guaranda, perteneciente a la provincia de Bolívar, posee una población total de 91.877 habitantes, conformada por hombres y mujeres. Asimismo, dispone de 39.253 viviendas de interés social. La ubicación geográfica del sector se presenta en la figura 8.

- Altitud geográfica: 2.668 m.s.n.m
- Ubicación geográfica: 1°36'20"S 79°00'11"O; En decimal -1.605556°, -79.003056°
- Temperatura promedio: clima andino en promedio de 16°C



Figura 3: Ubicación geográfica cantón Guaranda

Fuente: Google Earth

### Muestra

La Ecuación 5 se utiliza para calcular la muestra, permitiendo establecer el número de encuestas basándose en parámetros estadísticos como el nivel de confianza y el margen de error. En la Tabla 4 muestra los valores asociados a diferentes grados de certeza empleados en este análisis y la ecuación 5 el cálculo de número de muestras.

Para calcular el tamaño de la muestra, se aplica la ecuación siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * e^2 + Z^2 * p * q}$$

Ecuación 5: Número de muestras

Donde:

N= población

Z= nivel de confianza

p= probabilidad a favor

q= probabilidad en contra

e= error de estimación

CERTEZA	50%	62.27%	80%	90%	91%	92%	93%	94%	95%
Z	0.6745	1	1.28	1.65	1.69	1.75	1.81	1.88	1.96
e	0.50	0.37	0.20	0.10	0.09	0.08	3.53	0.06	0.05
Z <sup>2</sup>	0.45	1.00	1.64	2.72	2.86	3.06	0.06	3.53	3.84
e <sup>2</sup>	0.25	0.1369	0.04	0.01	0.0081	0.0064	0.0036	0.0036	0.0025

Tabla 4: Tamaño de muestra por niveles de confianza

Fuente: Elaboración propia

Tomando las siguientes consideraciones:

Siempre debe ser uno la suma de los valores de probabilidad p y q, por lo que se adoptan valores de 0.5 para ambos casos cuando no se dispone de información.

Se aconseja usar porcentajes de confianza que superen el 92% cuando el valor es incierto; en otras palabras, con un 92% Z= 1.75.

El error máximo debe ser inferior al 10%, pues al tener un valor más alto, la realidad del resultado se desvanece; por ende, con un 9% e= 0.09, e= 0.09.

Reemplazando valores en la ecuación:

$$n = \frac{(1.75)^2 * 0.5 * 0.5 * 39.253}{39.253 * (0.09) + (1.75)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{30053.078}{317.70 + 0.765}$$

$$n = \frac{30053.078}{318.465}$$

$$n = 94.368 \cong 94$$

La encuesta se realiza a 94 viviendas según el interés social

## 4.7. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Esta investigación, además de tener un enfoque cuantitativo, se centra en el diseño descriptivo y experimental de un sistema de paneles solares fotovoltaicos para la subestación eléctrica Las Naves. El propósito es incrementar la eficacia energética y la calidad de la potencia en la red de distribución del Cantón Guaranda, provincia de Bolívar.

Se utiliza el método científico complementado con técnicas de recopilación y estudio de datos, utilizando instrumentos de simulación y optimización que posibiliten el modelado del sistema fotovoltaico. El desarrollo se da mediante la encuesta a usuarios residenciales; con el procesamiento de los datos se estimará la demanda energética misma que servirá de base para la selección y dimensionamiento del sistema.

El método analítico se emplea para desglosar y analizar los elementos del sistema fotovoltaico, que abarcan los paneles, las baterías y los inversores, así como las interacciones con la red distribuidora.

Otro método a ser utilizado es el método cuantitativo el cual recopila y analiza datos numéricos a través de encuestas estructuradas y aplicadas a 94 viviendas.

### **Técnicas:**

- La encuesta permite conocer el consumo energético diario, número de electrodomésticos, que tipo de luminaria tiene y los horarios que tiene mayor radiación solar.
- La observación directa ayuda en las visitas técnicas para verificar la ubicación, condiciones del sitio y la infraestructura de donde estará el sistema fotovoltaico.
- Otro método es la simulación que se lleva a cabo en el software especializado PVsyst, se emplea para modelar el sistema y también para calcular la producción de energía.

### **Instrumentos:**

Los instrumentos a ser utilizados en el presente trabajo son: cuestionario estructurado, hoja de cálculo para dimensionamiento energético, software PVsyst para la simulación de sistemas fotovoltaicos, base de datos de irradiación solar como NREL y Atlas Solar.

## 4.8. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para el manejo de datos, se procesan los datos obtenidos de las encuestas. Se organizan en hojas de cálculo, además se calcula el uso de energía de cada vivienda, se aplica un factor de seguridad del 20% para su promedio y máximo en el cálculo del sistema. En el estudio de datos, se realiza el cálculo de la demanda de energía diaria y la potencia pico necesario, así como la determinación del número de paneles necesarios para varias clases de viviendas; valorando la disminución de pérdidas y la optimización del perfil a través de la simulación y finalmente se llevará a cabo la comparación entre costo y beneficio entre las tecnologías de energía solar sugeridas.

## 4.9. DESARROLLO DEL TEMA

### 4.9.1. ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS

Las tablas 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 que se encuentra en Anexo 1, muestran los hallazgos derivados de la encuesta efectuada a los dueños de viviendas en el cantón Guaranda, cuyo objetivo era recolectar datos pertinentes para el análisis del estudio. Las primeras interrogantes están relacionadas con la localización geográfica del sitio las figuras 9,10,11,12,13 y 14 simbolizan estos datos, lo que resulta en 94 hogares encuestados respondieron que están situadas en la Provincia de Bolívar, en el cantón de Garantizada.

**Pregunta 1:** Número de individuos que residen en la vivienda



Figura 4: Pregunta 1 – Habitantes por vivienda

Fuente: Elaboración propia

De todos los entrevistados, en 12 viviendas residen 1 único individuo; en 26 residen 2 individuos; en 34 residen 3 individuos; en 18 residen 4 individuos y en 4 residen 5 individuos.

**Pregunta 2:** m2 de vivienda

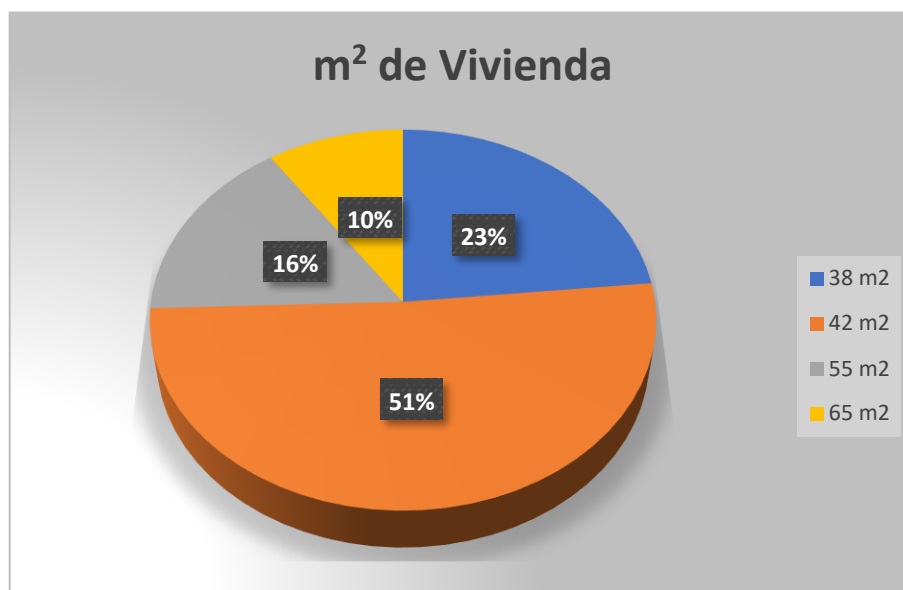


Figura 5: Pregunta 2 – Metros cuadrados de vivienda

Fuente: Elaboración propia

De las encuestas realizadas 48 viviendas corresponden a un área de 42m<sup>2</sup> de construcción; 22 viviendas tienen 38 m<sup>2</sup> de construcción; 15 viviendas tienen 55 m<sup>2</sup> de construcción y 9 están construidas de 65 m<sup>2</sup>.

**Pregunta 3:** ¿Posee energía eléctrica? ¿Valor a pagar mensual?

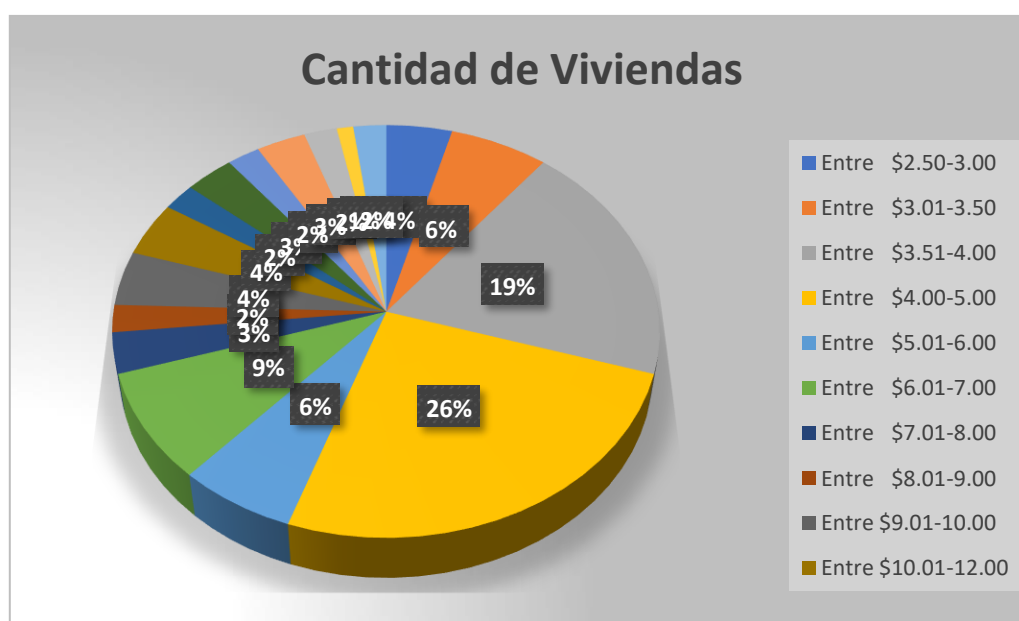


Figura 6: Pregunta 3 – Cantidades de viviendas

Fuente: Elaboración propia

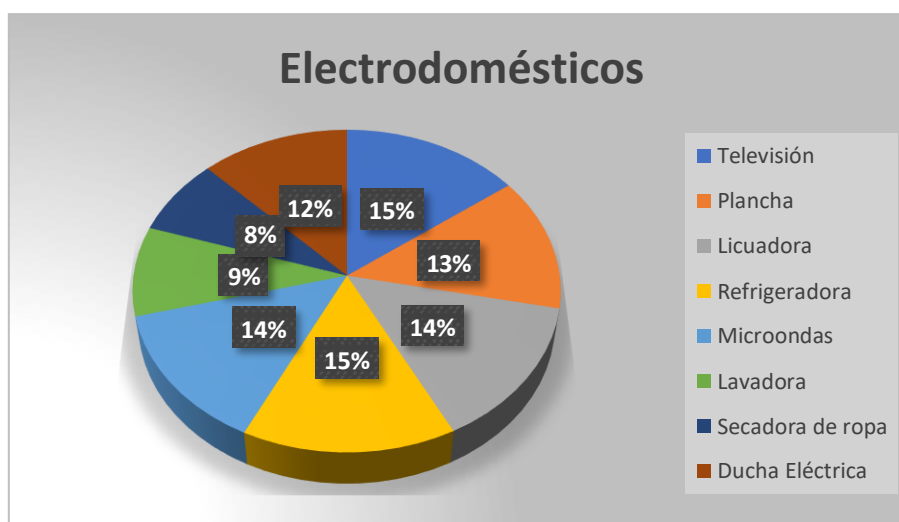
Las 94 viviendas consultadas continúan con el servicio de electricidad, donde la mayor cantidad de pago se realiza entre \$4.00 a \$5.00, correspondiente al abono mensual de la factura de luz.

#### **Pregunta 4:** N° de cuenta

la Pregunta 4 solicitó a los encuestados el número de cuenta asociado al servicio eléctrico de su vivienda. Esta información fue proporcionada por las 94 viviendas incluidas en la muestra, conforme a la metodología establecida en el diseño muestral los datos de la tabla 25 en anexos.

Los números de cuenta registrados corresponden a usuarios del sistema eléctrico del cantón Guaranda y constituyen un insumo clave para verificar el consumo histórico de energía a través de los datos obtenidos de la empresa distribuidora (CNEL EP).

#### **Pregunta 5:** Indicar la cantidad de electrodomésticos que disponga en su vivienda

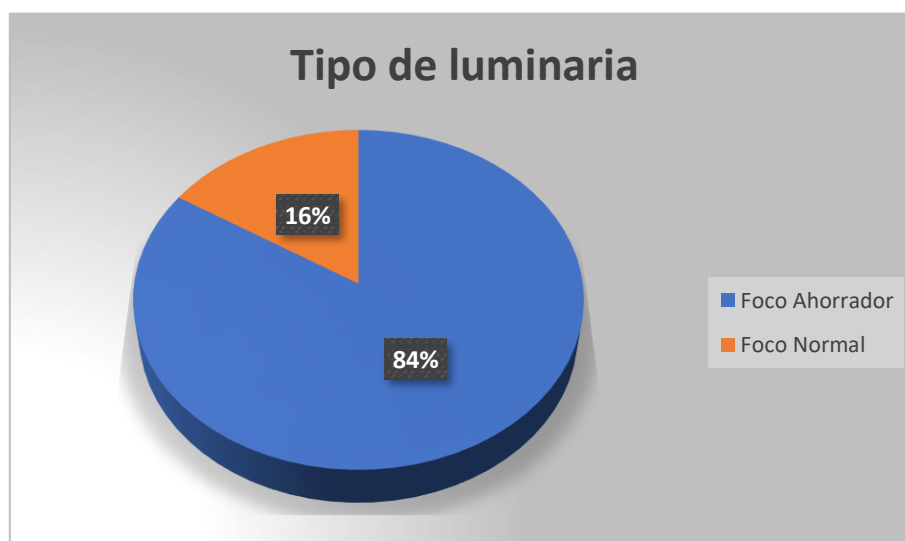


*Figura 7: Pregunta 5 – Electrodomésticos*

Fuente: Elaboración propia

Las 94 casas entrevistadas señalan que el uso más frecuente de electrodomésticos es la televisión y las neveras, por lo que el pago de la planilla esta entre \$4.00 a \$5.00 mensual.

**Pregunta 6:** Cantidad de luminarias por casa



*Figura 8: Pregunta 6 – Cantidad y tipo de luminaria por casas*

Fuente: Elaboración propia

En las casas consultadas, se estableció que el 84% emplean focos ahorradores y el 16% emplean focos convencionales.

**Pregunta 7:** ¿A qué hora del día la luz solar es más fuerte?

*Tabla 5: Resultados pregunta 28*

Fuente: Elaboración propia

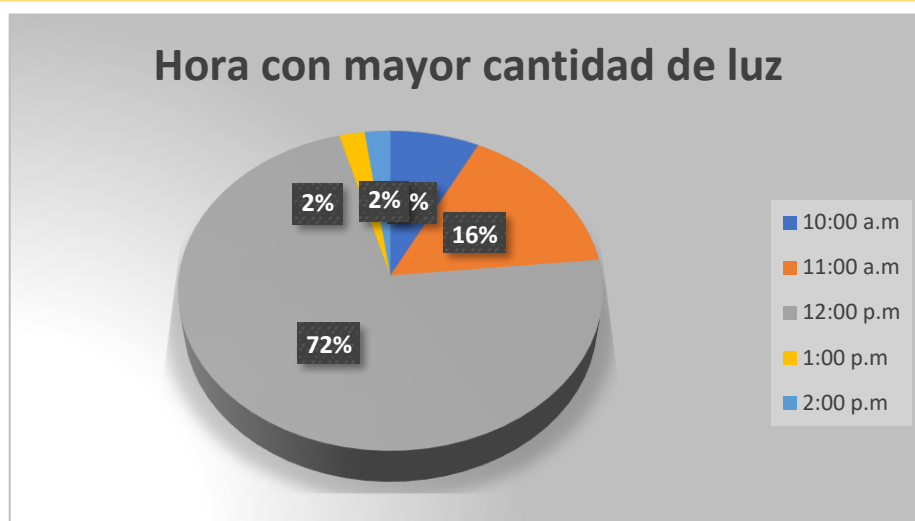


Figura 9: Pregunta 7 – Hora con mayor cantidad de luz

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el momento con la mayor exposición a la luz solar es durante el mediodía, con un nivel de luz solar de un porcentaje es del 72%, mientras que alrededor de las 2 de la tarde se registra un 2%.

La tabla 6 presenta la media del uso de energía diaria de las viviendas. El modelo del cantón Guaranda se calcula utilizando los datos recabados mediante la plataforma de la información de ejecución de sondeos a los propietarios de las viviendas.

Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Tiempo de uso (hora/día)	Demanda Energética (Wh/día)	Potencia Instalada (W)
Televisión	26	1	4	104	26
Refrigeradora	270	1	24	6480	270
Foco Ahorrador	8	6	8	384	48
		Σ TOTAL		6968	344

Tabla 6: Promedio del consumo energético

Fuente: Elaboración propia

Este patrón de consumo refleja que una vivienda con necesidades energéticas básicas requiere de 344 W (Watts).

#### 4.9.2. CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS VIVIENDAS

El consumo energético de las viviendas es de  $E_T = 6968 \text{ Wh/día}$

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), la cual es correspondiente a las energías renovables enuncia que se debe agregar un factor de seguridad del 20% debido a que el usuario con el paso del tiempo aumenta el número y tipo de electrodomésticos, lo que aumenta directamente la carga. Además, especifica que se debe considerar que las pérdidas ocasionadas por el autoconsumo del inversor son significativas. En cualquier circunstancia de operación y circunstancia climática, debe ser inferior al 5% la utilización de energía con carga. Por lo tanto:

$$E_i = E_T * 5\%$$

$$E_R = E_T * E_i$$

$$E_D = E_R * 1.2$$

Reemplazando se tiene:

$$E_{iEnc} = 6968 \text{ Wh/día} * 5\%$$

$$E_{iEnc} = 348.4 \text{ Wh/día}$$

$$E_{REnc} = 6968 \text{ Wh/día} + 348.4 \text{ Wh/día}$$

$$E_{REnc} = 7316.4 \text{ Wh/día}$$

$$E_{DEnc} = 7316.4 \text{ Wh/día} * 1.2$$

$$E_{DEnc} = 8779.68 \text{ Wh/día} \cong 8.78 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto, se puede determinar que el consumo energético diario de una vivienda en el cantón Guaranda por medio de la encuesta realizada es de 8.78 kWh/día.

Se realiza un cálculo para el dimensionamiento de tres tipos de vivienda con su valor máximo de consumo diario.

### 4.9.3. TIPOS DE VIVIENDA

#### Tipo de vivienda 1

Sin embargo, en base a las respuestas, se puede explorar que el consumo máximo diario, que se utilizará para el cálculo del sistema fotovoltaico, es de 1.6 kWh/día.

$$E_{iTIP01} = 1600Wh/día * 5\%$$

$$E_{iTIP01} = 80Wh/día$$

$$E_{RTIP01} = 1600Wh/día + 80$$

$$E_{RTIP01} = 1680Wh/día$$

$$E_{DTIP01} = 1680Wh/día * 1.2$$

$$E_{DTIP01} = 2.02kWh/día$$

#### Tipo de vivienda 2

El valor máximo de consumo diario se utilizará para el cálculo de dimensiones con un consumo diario del sistema fotovoltaico es de 3.32 kWh.

$$E_{iTIP02} = 3320Wh/día * 5\%$$

$$E_{iTIP02} = 166Wh/día$$

$$E_{RTIP02} = 3320Wh/día + 166$$

$$E_{RTIP02} = 3486Wh/día$$

$$E_{DTIP02} = 3486Wh/día * 1.2$$

$$E_{DTIP02} = 4.18kWh/día$$

### Tipo de vivienda 3:

Para el cálculo del sistema fotovoltaico, el consumo máximo diario será de 4.94kWh/día.

$$E_{iTIPO3} = 4940Wh/día * 5\%$$

$$E_{iTIPO3} = 247Wh/día$$

$$E_{RTIPO3} = 4940Wh/día + 247$$

$$E_{RTIPO3} = 5187Wh/día$$

$$E_{DTIPO3} = 5187Wh/día * 1.2$$

$$E_{DTIPO3} = 6.22kWh/día$$

La tabla 7 presenta la proyección de la demanda energética diaria para diferentes tipos de viviendas en el cantón Guaranda, expresada en kWh/día y Wh/día. Estos valores, derivados de cuestionarios, actúan como fundamento para el cálculo del sistema fotovoltaico.

DEMANDA ENERGÉTICA		
CATEGORÍA	DIARIO (kWh/día)	DIARIO (Wh/día)
Tipo de vivienda 1	2.016	2016
Tipo de vivienda 2	4.18	4183.20
Tipo de vivienda 3	6.22	6224.40
Encuesta	8.778	8778.68

Tabla 7: Demanda energética

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.4. IRRADIACIÓN TOTAL DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA

Para calcular el valor de la radiación solar se emplea el programa 'RETScreen Expert', que utiliza información suministrada por la NASA en función de la localización geográfica. La ubicación geográfica de Ecuador permite un uso considerable del recurso solar, lo que posibilita la colocación de paneles solares en una posición horizontal o con un ángulo de inclinación mínimo. Este estudio ha tomado en cuenta un ángulo de inclinación de 15°, con el objetivo de prevenir la acumulación de desechos y agua que podrían perjudicar el desempeño del sistema. La tabla 8 presenta los datos climáticos relacionados con la radiación solar mensual

DATOS METEOROLÓGICOS	
MES	RADIACION SOLAR DIARIA – HORIZONTAL (kWh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	4.39
Febrero	4.46
Marzo	4.64
Abril	4.45
Mayo	4.26
Junio	4.23
Julio	4.32
Agosto	4.64
Septiembre	4.62
Octubre	4.61
Noviembre	4.7
Diciembre	4.45
Anual	4.48

Tabla 8: Radiación solar diaria

Fuente: RETScreen Expert - Elaboración propia

Se estableció un promedio anual de irradiación solar en una superficie horizontal de 4.48 kWh/m<sup>2</sup> día, por lo que para los propósitos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico se empleará el valor más bajo, correspondiente al mes de Junio con una irradiación solar horizontal de 4.23 kWh/m<sup>2</sup> (HSP). Es importante señalar que el valor de irradiación solar en un plano inclinado puede variar, para tal fin se utiliza el Método de Lui y Jordan, que permite calcular la irradiación solar. Así pues, se realizará el cálculo empleando la ecuación 6:

$$IR_T = I_{rbh} * FC_b + I_{rdh} * FC_d + (I_{rbh} + I_{rdh}) * FC_p$$

*Ecuación 6: Irradiación total*

Donde:

$IR_T$ , irradiación promedio diaria en una superficie inclinada

$I_{rbh}$ , es la irradiación directa diaria sobre un plano horizontal

$I_{rdh}$ , es la irradiación difusa diaria sobre un plano horizontal

$FC_b$ ,  $FC_d$ ,  $FC_p$ , son los factores de conversión para la irradiación directa, difusa y la reflejada

#### 4.9.5. FACTOR DE CONVERSIÓN PARA LA IRRADIACIÓN DIRECTA

El factor de conversión para la irradiación directa cambia de acuerdo a las circunstancias de las concentraciones de vapor de agua, la nubosidad y la transmitancia están determinadas por la transmitancia y es el desecho proporcionado por la irradiación directa mensual en un plano atmosférico y la irradiación en un plano horizontal, de acuerdo con la ecuación 7.

$$FC_b = \frac{\varphi' \sin \alpha \sin(\beta - \sigma) + \cos \alpha \cos(\beta - \sigma) \sin \varphi'}{\varphi_s \sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta \sin \varphi_s}$$

*Ecuación 7: Factor de conversión para la irradiación directa*

Donde:

$\alpha$ , es el ángulo de declinación, es la posición angular del sol en relación con el plano del Ecuador

$\varphi'_s$ ,  $\varphi_s$ , son los ángulos de amanecer y de la puesta de sol

$\sigma$ , ángulo de inclinación del panel solar

$\beta$ , es la latitud

$$\alpha = 23.45^\circ \sin \left\{ 360 * \frac{284 + n}{365} \right\}$$

Donde:

$n$ , son los días representativos de cada mes

$$\varphi_s = \cos^{-1}(-\tan \alpha \tan \beta)$$

$$\varphi'_s = \min \{ \varphi'_s \cos^{-1}[-\tan(\beta - \sigma)] \tan \alpha$$

Donde:

$\varphi_s$ , es la distancia angular entre la aparición del sol y el medio día solar

$\varphi'_s$ , es la distancia angular entre la desaparición del sol y el medio día solar

A continuación, el factor de conversión de irradiación difusa se expresa en la Ecuación 8, mientras que el Factor de conversión de irradiación reflejada se presenta en la Ecuación 9. En cambio, la Ecuación 10 detalla cómo se aplica la irradiación difusa en una superficie plana, dependiendo de la temperatura atmosférica.

#### 4.9.6. FACTOR DE CONVERSIÓN DE IRRADIACIÓN DIFUSA

$$FC_d = \frac{1 - \cos \sigma}{2}$$

*Ecuación 8: Factor de conversión de irradiación difusa*

#### 4.9.7. FACTOR DE CONVERSIÓN DE IRRADIACIÓN REFLEJADA

$$FC_p = \frac{1 - \cos \sigma}{2} \rho$$

*Ecuación 9: Factor de conversión de irradiación reflejada*

#### 4.9.8. IRRADIACIÓN DIFUSA APLICADA EN SUPERFICIE HORIZONTAL

A continuación, el factor de conversión de irradiación difusa se expresa en la Ecuación 8, mientras que el Factor de conversión de irradiación reflejada se presenta en la Ecuación 9. En cambio, la Ecuación 10 detalla cómo se aplica la irradiación difusa en una superficie plana, dependiendo de la temperatura atmosférica.

$$\frac{I_{r_{dh}}}{I_{r_g}} = 1.390 - 4.027T_{atm} + 5.531T_{atm}^2 - 3.108T_{atm}^3$$

*Ecuación 10: Irradiación difusa aplicada en superficie horizontal*

Con base en los parámetros técnicos y geográficos del sitio de estudio, se procede al cálculo de la irradiación solar diaria incidente en la superficie inclinada, utilizando como referencia el mes de junio. La tabla 9 resume los valores utilizados y obtenidos, incluyendo tanto la irradiación en superficie horizontal como la ajustada a una inclinación de 15°, así como los factores de corrección aplicados en el proceso."

- Latitud del lugar= 2668

- Ángulo de inclinación 15°
- FCd=0.992
- FCp=0.00175
- Albedo=0.23
- n=162

Parámetro	Valor	Unidad
Mes	Junio	—
Día del año (N)	162	—
Irradiación solar diaria – Horizontal (Ir_H)	4.23	kWh/m <sup>2</sup> /día
Ángulo de declinación solar (α)	23.09	°
Ángulo horario del amanecer (φ <sub>s</sub> )	90.52	°
Ángulo corregido del amanecer (φ' <sub>s</sub> )	1.58	—
Coefficiente de atenuación atmosférica (u <sub>0</sub> )	0.97	—
Irradiación extraterrestre diaria (Ir_ex)	8.38	kWh/m <sup>2</sup> /día
Factor de claridad (FC <sub>β</sub> )	0.874	—
Transmisividad atmosférica (T_atm)	0.51	—
Relación irradiación difusa/global (Ir_dh / Ir_G)	0.367	—
Factor de conversión total (FC)	0.919	—
<b>Irradiación solar diaria – Inclineda (Ir_I)</b>	<b>3.887</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>/día</b>

Tabla 9: Irradiación Solar diaria

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.9. CÁLCULO DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Potencia pico del arreglo fotovoltaico Vivienda tipo 1

$$Pot_{p1} = \frac{2016Wh/día}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{p1} = 779.93 Wp$$

Potencia pico del arreglo fotovoltaico Vivienda tipo 2

$$Pot_{p2} = \frac{4183.20Wh/día}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{p2} = 1618.35 Wp$$

Potencia pico del arreglo fotovoltaico Vivienda tipo 3

$$Pot_{p3} = \frac{6224.40Wh/día}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{p3} = 2408.03 Wp$$





Potencia pico de la vivienda encuestada

$$Pot_{pE} = \frac{8778.68Wh/día}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{pE} = 3396.20 Wp$$

#### 4.9.10. NÚMERO DE PANELES SOLARES

Especificaciones técnicas de cuatro tipos de paneles solares disponibles en el mercado, los cuales podrían ser considerados para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico propuesto. La tabla 10 resume sus principales características eléctricas y físicas, lo que permite una comparación técnica entre las distintas opciones.

Característica	Panel 1 	Panel 2 	Panel 3 	Panel 4 
Potencia Máxima (P <sub>máx</sub> ) [W]	150	130	275	350
Tipo de Célula	Monocrystalina	Monocrystalina	Policristalina	Monocrystalina
Número de Células por Módulo	36	36	60	72
Tensión en Máxima Potencia (V <sub>mp</sub> ) [V]	17.3	15.75	25.36	36.29

Corriente en Máxima Potencia (Imp) [A]	6.46	8.25	8.05	7.18
Voltaje de Circuito Abierto (Voc) [V]	20.93	20.01	35.79	43.48
Corriente de Corto Circuito (Isc) [A]	7.12	9.61	7.33	7.63
Voltaje Máximo del Sistema [V]	1000	1000	1500	1000
Dimensiones (Largo x Ancho) [m]	1.48 x 0.67	1.495 x 0.68	1.64 x 0.992	1.956 x 0.992
Espesor [m]	0.03	0.035	0.04	0.04
Peso [kg]	11	12	18.8	22.8

Tabla 10: Tipos de paneles junto a sus características

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se muestra el número de paneles necesarios para los tipos de vivienda y en la 12 se estandariza, mediante la siguiente ecuación:

$$N_p = \frac{\text{Demanda energética}}{HS \cdot \eta_{\text{máx}} \cdot 0.9}$$

	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4
Cantidad Tipo de vivienda 1	3.84	4.43	2.1	1.65
Cantidad Tipo de vivienda 2	7.97	9.2	4.35	3.42
Cantidad Tipo de vivienda 3	11.86	13.69	6.47	5.08
Cantidad Tipo de vivienda encuestada	17.58	21.18	12.09	9.1

Tabla 11: Cantidad de paneles solares

Fuente: Elaboración propia

Estandarizado se obtendría:

	<b>Panel 1</b>	<b>Panel 2</b>	<b>Panel 3</b>	<b>Panel 4</b>
Cantidad Tipo de vivienda 1	4	5	3	2
Cantidad Tipo de vivienda 2	8	10	5	4
Cantidad Tipo de vivienda 3	12	14	7	6
Cantidad Tipo de vivienda encuestada	18	22	13	10

*Tabla 12: Cantidad estandarizada de paneles a ser utilizados*

Fuente: Elaboración propia.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este estudio expone los hallazgos logrados después de la investigación del sistema fotovoltaico en las casas del Cantón Guaranda, examinando el efecto en el uso de energía, disminución de gastos y optimización de la eficiencia energética; adicionalmente, se contemplará el diseño de la instalación del sistema y el diseño de la estructura.

#### 5.1.1. BENEFICIOS ENERGÉTICOS

La maximización de los beneficios energéticos en el sistema fotovoltaico planteado para la subestación eléctrica Las Naves se evidencia en diferentes niveles técnicos y económicos; donde la reducción del consumo energético convencional parte de las encuestas realizadas y las mediciones donde el promedio del consumo inicial es de 8.78KWh/día por cada vivienda. Mediante la implementación del sistema fotovoltaico, este consumo se genera principalmente a través de la producción solar, reduciendo así la dependencia de la red tradicional y, por ende, los gastos energéticos mensuales de los usuarios.

En el cantón Guaranda perteneciente a la provincia de Bolívar, se presenta una irradiación solar diaria promedio en el mes más crítico de 4.23KWh/m<sup>2</sup>/día, valor que es utilizado como base para el diseño permitiendo asegurar que incluso en las condiciones menos favorables y se avala una producción estable de la energía, y es así como se puede demostrar un aprovechamiento eficiente del recurso solar disponible en la región siendo otro de los beneficios energéticos del diseño.

#### 5.1.2. IMPACTOS NEGATIVOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

En las redes de distribución al incorporar sistemas fotovoltaicos se puede provocar efectos adversos si no se llevan a cabo de forma organizada. Entre los efectos no

deseados se incluyen: variaciones de voltaje, producción intermitente, distorsión armónica, sobrecarga de transformadores y desbalance en los flujos de energía. Para mitigar estos impactos y asegurar un funcionamiento seguro y eficaz mediante el dimensionamiento correcto del sistema que evita el sobredimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Por otro lado, el diseño considera el uso de inversores con control de voltaje y frecuencia que sea capaz de inyectar con bajo contenido armónico y ajustar la potencia reactiva estabilizando la tensión y ayudando a mejorar el factor de potencia local, todo eso con el control de calidad de potencia. En la implementación de almacenamiento energético se integran baterías para almacenar la energía excedente receptada durante el día y suministrarla en horas de baja radiación, suavizando los picos de generación e inyección en la red, disminuyendo la variabilidad y mejorando la estabilidad del sistema.

La supervisión mediante simulaciones con el uso de herramientas como PVsyst y HOMER permitió simular condiciones operativas diferentes, identificando los momentos con mayor estrés en la red. Esto permite ajustar la configuración del sistema para mantener la estabilidad operativa en los escenarios extremos.

### 5.1.3. UBICACIÓN

La selección estratégica de la ubicación es muy importante; la elección de la subestación Las Naves como punto de conexión responde a criterios técnicos como la cercanía al centro de carga, buena irradiación solar y la capacidad de la infraestructura para soportar la generación distribuida, evitando sobre cargas y con ello permitir una integración armoniosa.

En los paneles se estableció un ángulo de inclinación de  $15^\circ$ , esto basado en los cálculos teóricos y condiciones prácticas que facilitan el mantenimiento y minimización de pérdidas por acumulación de polvo y agua, por otra parte, la orientación hacia el norte fue la elegida por la ubicación geográfica del sitio, maximizando así la captación solar a lo largo del año.

#### 5.1.4. DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE PSFV

El dimensionamiento óptimo de sistemas de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) es uno de los pilares fundamentales en el diseño propuesto para la subestación eléctrica Las Naves, porque este factor determina el desempeño energético, la factibilidad técnica y la lucrativita financiera del proyecto.

El cálculo se fundamenta en el consumo medio diario de energía por vivienda, obtenido a través de encuestas realizadas a 94 hogares del cantón Guaranda. El promedio de 8.78 KWh/día se obtuvo aplicando un factor de seguridad del 20%, tal como lo dicta la Norma Ecuatoriana de Construcción llamada (NEC), teniendo en cuenta el incremento futuro en la demanda de nuevos electrodomésticos.

Para el dimensionamiento se usa los datos meteorológicos reales, mismos que se emplearon en registros confiables de radiación solar que son extraídos de base de datos como NREL y RETScreen, identificando la irradiación solar mínima de 4.23KWh/m<sup>2</sup>/día en el mes más crítico que es junio, por medio de esta consideración se puede diseñar un sistema robusto que funcione de manera adecuada incluso dentro de condiciones climáticas menos favorables.

#### 5.1.5. RESTRICCIONES TÉCNICAS, ECONÓMICAS Y NORMATIVAS

En el transcurso del desarrollo del diseño y análisis del sistema fotovoltaico para el cantón Guaranda, se identificaron restricciones clave que deben considerarse para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto. Este tipo de limitaciones influyen directamente en las decisiones del diseño, la selección de componentes y la planificación de implementación.

##### **Restricciones técnicas:**

- La intermitencia de la generación solar, su producción fotovoltaica depende directamente de la radiación solar ya que puede variar por condiciones climáticas, hora del día o la temporada del año, esto plantea retos en la estabilidad del suministro energético.

- Las redes existentes pueden no estar preparadas para recibir inyección de energía desde fuentes distribuidas, además es necesario evaluar la capacidad de los transformadores, protecciones y los puntos de conexión.
- Las condiciones geográficas y estructurales como la inclinación, orientación y espacio disponible en las cubiertas de las viviendas o en la subestación Las Naves pueden limitar el tipo y la cantidad de paneles instalables.
- En la compatibilidad de equipos como inversores, paneles y baterías deben ser compatibles en términos de voltaje, corriente y de las características de operación; así como las malas combinaciones que pueden reducir la eficiencia o generar fallas.

#### **Restricciones económicas:**

- En la disponibilidad de financiamiento existen limitaciones en el acceso a créditos o incentivos económicos para energías renovables, lo que ralentiza la implementación de proyectos fotovoltaicos.
- Los costos de operación como los de mantenimiento, aunque se encuentren bajos se deben considerar en el presupuesto anual del sistema, sobre todo para sistemas aislados con almacenamiento.
- A pesar de la reducción progresiva en los precios de los paneles solares, la inversión inicial es un obstáculo, en especial para comunidades de bajos recursos.
- La rentabilidad a largo plazo es una restricción ya que el retorno de inversión depende del costo de la electricidad convencional, así como del nivel de subsidios y precios locales de componentes solares.

#### **Restricciones Normativas:**

- En Ecuador, la normativa para la generación distribuida establece requerimientos técnicos para la conexión de la red, se incluyen protecciones anti-isla, limitaciones de potencia inyectada y la coordinación de operadores de red; esto para la regulación de interconexión.

- En la normativa, los trámites y licencias son una implementación del sistema que pueden requerir autorizaciones del operador de distribución como CNEL o como EP, que pueden alargar los plazos de ejecución.
- Es necesario adherirse a las regulaciones de calidad y seguridad nacionales, como la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), así como a las directrices de seguridad eléctrica que regulan la instalación y funcionamiento de los sistemas solares.
- Los proyectos sobre techos de viviendas sociales, en estas restricciones por propiedad del terreno o techo puede haber limitaciones en cuanto al uso del espacio o necesidad de permisos adicionales por parte del municipio o de la entidad propietaria.

### 5.1.6. INTERMITENCIA DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Uno de los retos más significativos detectados en el estudio es la intermitencia que puede surgir en la producción fotovoltaica, que influye directamente en la estabilidad y la calidad de la energía proporcionada.

Esta es la variación no controlable y fluctuante en la generación de electricidad provocada por cambios en las condiciones ambientales; conociendo que los paneles no solo generan energía de forma continua ni constante, sino que estos dependen directamente de la irradiación solar disponible.

Dentro de los factores que provocan la intermitencia se incluyen las condiciones climáticas variables, el horario solar, el sombreado parcial debido a obstáculos físicos como árboles, edificios e inclinaciones del terreno, y la estacionalidad. A pesar de que Ecuador presenta una irradiación relativamente constante, estos elementos pueden afectar la variabilidad de la energía solar, tal como se puede apreciar en la figura 15, que presenta el cambio mensual de la irradiación solar diaria en Guaranda.

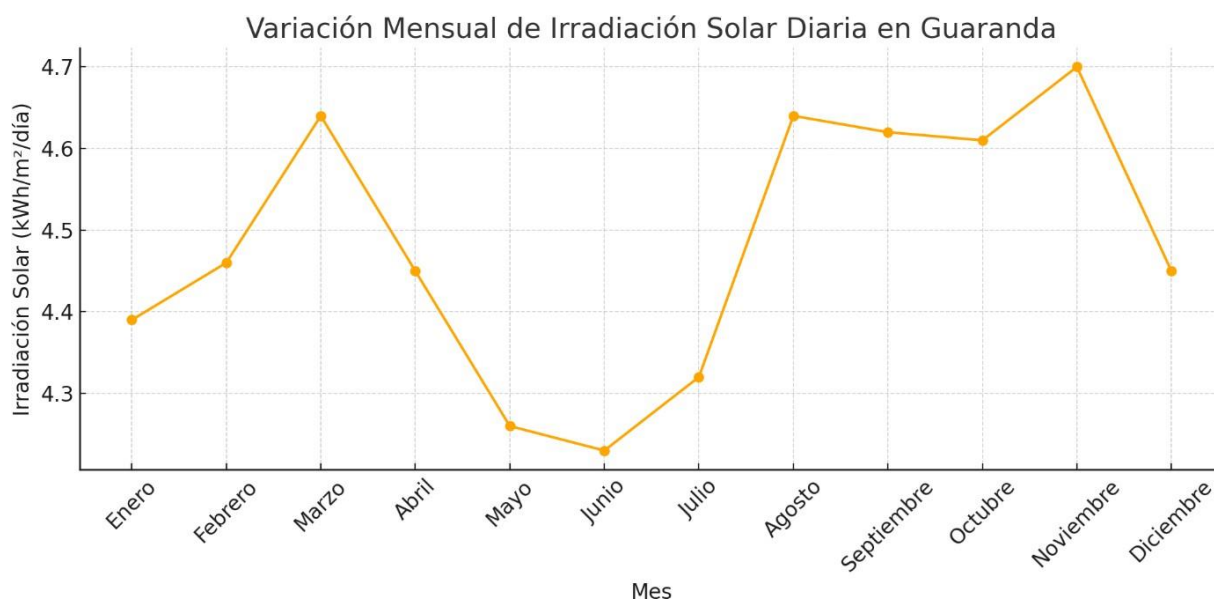


Figura 10. Variación mensual de irradiación solar diaria en Guaranda

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.7. IMPACTOS

Dentro de los factores que provocan la intermitencia se incluyen las condiciones climáticas variables, el horario solar, el sombreado parcial debido a obstáculos físicos como árboles, edificios e inclinaciones del terreno, y la estacionalidad. A pesar de que Ecuador presenta una irradiación relativamente constante, estos elementos pueden afectar la variabilidad de la energía solar, tal como se puede apreciar en la figura 15, que presenta el cambio mensual de la irradiación solar diaria en Guaranda.

- Fluctuaciones de voltaje: la generación fotovoltaica induce variaciones rápidas de voltaje, sobre todo cuando existen cambios bruscos en la irradiación solar. El diseño considera inversores con capacidad de regulación de voltaje y respuesta rápida, lo que permite mitigar oscilaciones súbitas y mantener el perfil de la tensión.
- Armónicos: en el presente trabajo se seleccionaron inversores de onda senoidal pura con filtros integrados, mismos que son capaces de operar con una distorsión armónica total inferior al 5% la cual cumple con las recomendaciones

de IEEE 519. Y en simulaciones se verifica que la contribución armónica del sistema PSFV es mínima, sin comprometer el funcionamiento de la red y tampoco de los dispositivos conectados.

- Factor de Potencia: los inversores son los capaces de trabajar en modo compensación reactiva los cuales permiten mejorar el factor de potencia total del sistema aportando potencia reactiva positiva cuando sea necesario, el valor del factor de potencia promedio es de 0.98 que representa una mejora con respecto a las condiciones iniciales donde se registraron factores bajos en viviendas con carga inductiva predominante.

### 5.1.8. ELECCIÓN DE LA CANTIDAD Y TIPO DE PANELES

Se analizaron varios tipos de paneles que se encuentran en el mercado, se consideran características como potencia nominal, eficiencia, tamaño y peso. Luego del análisis se optó por los módulos policristalinos y monocristalinos que ofrecen una buena relación costo-beneficio. La cantidad de paneles fue calculada mediante fórmulas estandarizadas, asegurando que se cubriera la demanda energética sin sobredimensionar el sistema.

En el diseño se tomó en cuenta una eficiencia global del sistema, además de consideraciones por pérdidas por la temperatura, orientación, cableado, eficiencia de la conversión de inversores, así como el uso de tecnologías eficientes y componentes adecuados que garantizan un rendimiento sostenible a largo plazo, con ello optimizar la producción energética con el menor número de módulos posibles.

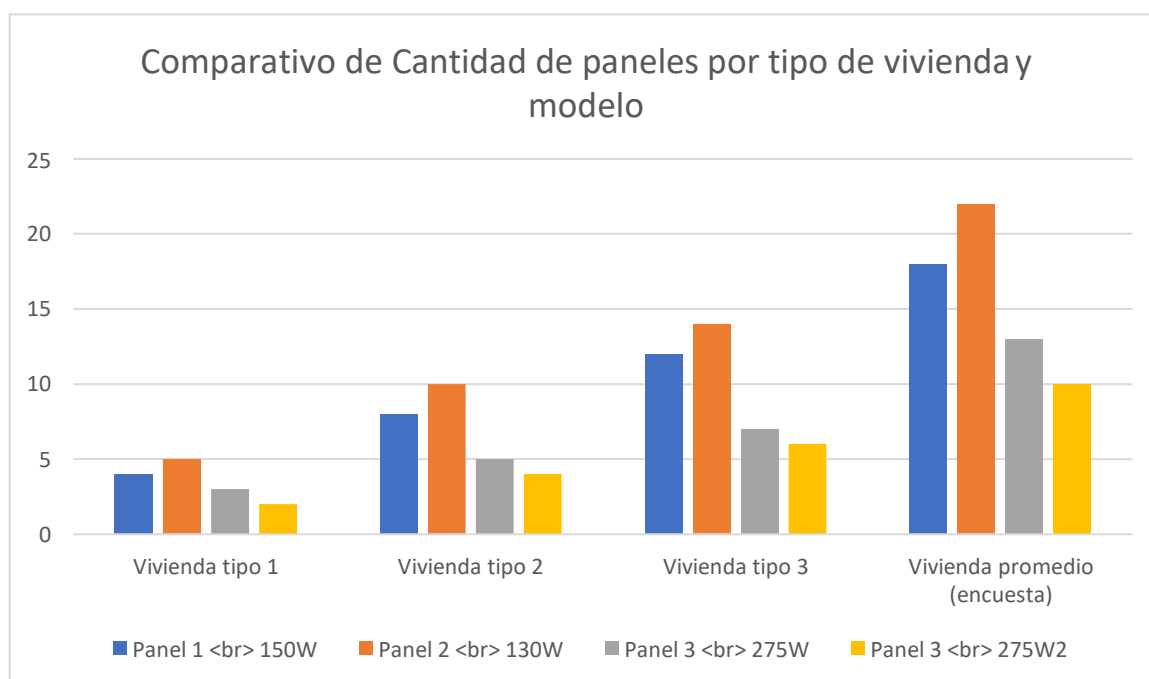
A partir de estos parámetros, se evalúan cuatro modelos de paneles solares con potencias nominales de 130W, 150W, 275W y 350W; según la demanda energética diaria por el tipo de vivienda se calcula las cantidades necesarias para cada modelo, optando por un balance óptimo entre rendimiento, costo y espacio disponible. Este dimensionamiento fue validado posteriormente por el simulador PVsyst, confirmando la capacidad para cubrir la demanda energética anual para cada tipo de vivienda sin sobredimensionar el sistema. La Tabla 19 detalla los datos y

resultados correspondientes a la demanda energética anual para cada tipo de vivienda sin sobredimensionar el sistema. La figura 13 presenta un comparativo de la cantidad de paneles requeridos por tipo de vivienda y modelo.

Tipo de vivienda	Consumo diario (kWh/día)	Panel 1 (150 W)	Panel 2 (130 W)	Panel 3 (275 W)	Panel 4 (350 W)
Vivienda tipo 1	2.02	4 paneles	5 paneles	3 paneles	2 paneles
Vivienda tipo 2	4.18	8 paneles	10 paneles	5 paneles	4 paneles
Vivienda tipo 3	6.22	12 paneles	14 paneles	7 paneles	6 paneles
Vivienda promedio (encuesta)	8.78	18 paneles	22 paneles	13 paneles	10 paneles

*Tabla 13. Tipo de vivienda vs paneles a ser utilizados*

Fuente: Elaboración propia



*Figura 11. Comparativo de la cantidad de paneles por tipo de vivienda y modelo*

Fuente: Elaboración propia

Los criterios de evaluación para determinar que paneles se deben utilizar para el diseño se basan en:

- Eficiencia energética: permite ver cuánta energía generan por unidad de superficie.
- Espacio disponible: es especialmente relevante en techos pequeños e irregulares.
- Costo-Beneficio: se utiliza menos paneles y por ende menos estructura, cableado y mano de obra.

Por lo cual, la tabla 14 muestra un resume de las principales características de cuatro modelos de paneles solares evaluados, incluyendo su potencia, tipo de célula, ventajas destacadas y la cantidad estimada requerida para una vivienda promedio, en función de su demanda energética.

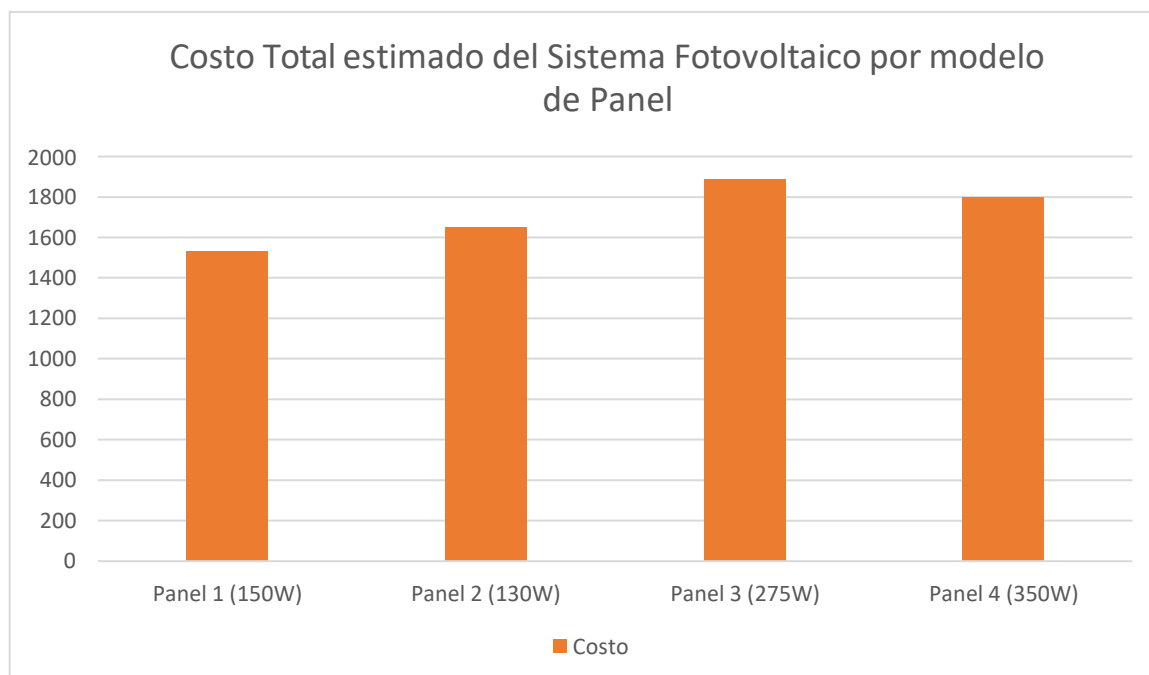
Panel	Potencia	Tipo de célula	Ventajas principales	Cantidad requerida (vivienda promedio)
1	150W	Monocristalino	Liviano, económico	18 paneles
2	130W	Monocristalino	Alta corriente, más económico	22 paneles
3	275W	Policristalino	Buen rendimiento, costo razonable	13 paneles
4	350W	Monocristalino	Alta eficiencia, ocupa menos espacio	10 paneles

*Tabla 14. Características de los paneles*

Fuente: Elaboración propia

Por lo cual la recomendación es la utilización del panel 4 de 350W Monocristalino ya que se utilizaría menor cantidad de paneles reduciendo el costo total de la estructura, cableado y mantenimiento. Por otro lado, la alta eficiencia permite un mejor desempeño en áreas pequeñas o con sombras parciales; y con mayor voltaje de trabajo que es compatible con configuraciones más flexibles en inversores.

En la Figura 17 se muestran los costos por modelo de panel, destacando que, aunque el panel 4 puede tener un costo unitario más alto, el sistema completo podría resultar más económico debido a la reducción en el número de componentes auxiliares, como estructuras, conectores y reguladores. Además, este modelo es más eficiente y ofrece un mejor rendimiento a largo plazo.



*Figura 12. Costo total estimado del sistema fotovoltaico por modelo de panel*

Fuente: Elaboración propia

Por lo cual el panel 4 de 350W a pesar de que tiene el mayor costo unitario es la opción más económica en todo el sistema ya que se requieren menos unidades. Si se opta por el panel 2 de 130W es más barato por unidad, pero en conjunto es más costoso y del mismo se requiere 22 paneles elevando los costos de instalación. El panel 3 de 275W es una alternativa viable intermedia si el panel 4 no llegara a estar disponible, aunque el ahorro es menor.

Después del estudio técnico y económico del dimensionamiento que debe tener el sistema fotovoltaico para el cantón Guaranda, considerando criterios como la eficiencia energética, espacio requerido, número de unidades necesarias y costo del

sistema, porque en base a los resultados la alternativa más óptima es la de Panel 4 de 350 W Monocristalino debido a las siguientes razones:

- Se requiere únicamente 10 paneles por vivienda promedio, simplificando la estación, reduciendo el uso de estructuras metálicas, cableado y mantenimiento.
- Este modelo presenta un rendimiento superior por unidad de superficie, ideal para techos pequeños y con limitaciones físicas, logrando una mayor eficiencia.
- A pesar de que el precio unitario del panel es el más alto, el costo global del sistema es el más bajo entre las opciones analizadas, se debe a la menor cantidad de unidades requeridas y al ahorro en materiales auxiliares.
- La tensión y corriente del Panel 4 ayuda a una configuración más flexible con los inversores y sistemas de almacenamiento propuestos lo que permite a una mejor adaptación técnica.

A continuación, la tabla 15 muestra una comparación que sintetiza el número de paneles requeridos y el costo total proyectado del sistema fotovoltaico, considerando el consumo promedio que tiene una vivienda en el cantón Guaranda:

<b>Modelo del panel</b>	<b>Potencia</b>	<b>Cantidad requerida</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total estimado (USD)</b>
<b>Panel 1</b>	150W	18	\$85	\$1530
<b>Panel 2</b>	130W	22	\$75	\$1650
<b>Panel 3</b>	275W	13	\$145	\$1885
<b>Panel 4</b>	350W	10	\$180	\$1800

*Tabla 15. Modelo de panel vs cantidad y costo estimado*

Fuente: Elaboración propia

El número de paneles a ser utilizados fue calculado para cada tipo de vivienda y estandarizados según el tipo de módulo fotovoltaico seleccionado, esta estrategia facilitó evitar el sobredimensionamiento y el subdimensionamiento, proporcionando asegurar un rendimiento económico y energético óptimo.

En la instalación de la generación distribuida cerca del punto de consumo reduciendo las pérdidas técnicas por distribución y transmisión, mismos que al generar energía directamente en la subestación y en las áreas más cercanas, mejorando la eficiencia global del sistema eléctrico, así como de minimizar los costos energéticos indirectos.

### 5.1.9. EFICIENCIA GENERAL DEL SISTEMA

Al aplicar un factor de seguridad del 20% se prevé el aumento de la eficiencia general del sistema por medio del crecimiento futuro del consumo energético, garantizando que el sistema mantenga su funcionalidad de forma eficiente a largo plazo, por otro lado, el uso de focos ahorradores en el 84% de las viviendas y la selección óptima de los electrodomésticos favorecerá a un mejor rendimiento del sistema.

### 5.1.10. CONSUMO ENERGÉTICO INICIAL

Al aplicar un factor de seguridad del 20% se prevé el aumento de la eficiencia general del sistema por medio del crecimiento futuro del consumo energético, garantizando que el sistema mantenga su funcionalidad de forma eficiente a largo plazo, por otro lado, el uso de focos ahorradores en el 84% de las viviendas y la selección óptima de los electrodomésticos favorecerá a un mejor rendimiento del sistema.

La tabla 16 muestra el consumo energético inicial estimado en una vivienda, detallando los equipos utilizados, su potencia, tiempo de uso diario y la demanda energética correspondiente.

Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Tiempo de uso (h/día)	Demanda energética (Wh/día)
Televisión	26	1	4	104
Refrigerador	270	1	24	6480
Foco ahorrador	8	6	8	384
Total				6968 Wh/día

*Tabla 16. Consumo energético inicial*

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.11. CONSUMO ENERGÉTICO CON EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La tabla 17 describe un comparativo del uso de energía diaria previo y posterior a la implementación del sistema fotovoltaico en diferentes tipos de vivienda, mostrando el porcentaje de disminución logrado en cada situación.

Tipo de vivienda	Consumo diario antes (KWh/día)	Consumo diario después (KWh/día)	Reducción (%)
Tipo 1	2.016	0.50	75.2%
Tipo 2	4.18	1.10	73.7%
Tipo 3	6.22	1.70	72.7%

*Tabla 17. Consumo energético con el sistema fotovoltaico*

Fuente: Elaboración propia

En la investigación a los paneles solares instalados se estima una reducción en el consumo de energía en la red eléctrica teniendo como una media en los tres tipos de vivienda un valor de 73.87%, mismo que muestra como el consumo disminuiría en más de un cincuenta por ciento, apoyando a la disminución de valor monetario y mejorando el cuidado de la energía.

### 5.1.12. RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE

La rentabilidad del sistema fotovoltaico se basa en la cantidad de radiación solar del cantón Guaranda, provincia de Bolívar. La tabla 18 muestra los datos mensuales de radiación solar necesarios para el estudio; con un promedio de 4.45 kWh/día, se corrobora la factibilidad del sistema solar fotovoltaico sugerido y la figura 18 muestra la irradiación por las zonas del país.

<b>DATOS METEOROLÓGICOS</b>	
<b>MES</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR DIARIA – HORIZONTAL (kWh/m<sup>2</sup>/día)</b>
Enero	4.39
Febrero	4.46
Marzo	4.64
Abril	4.45
Mayo	4.26
Junio	4.23
Julio	4.32
Agosto	4.64
Septiembre	4.62
Octubre	4.61
Noviembre	4.7
Diciembre	4.45
Anual	4.48

*Tabla 18. Radiación solar requerida mensual*

Fuente: Elaboración propia

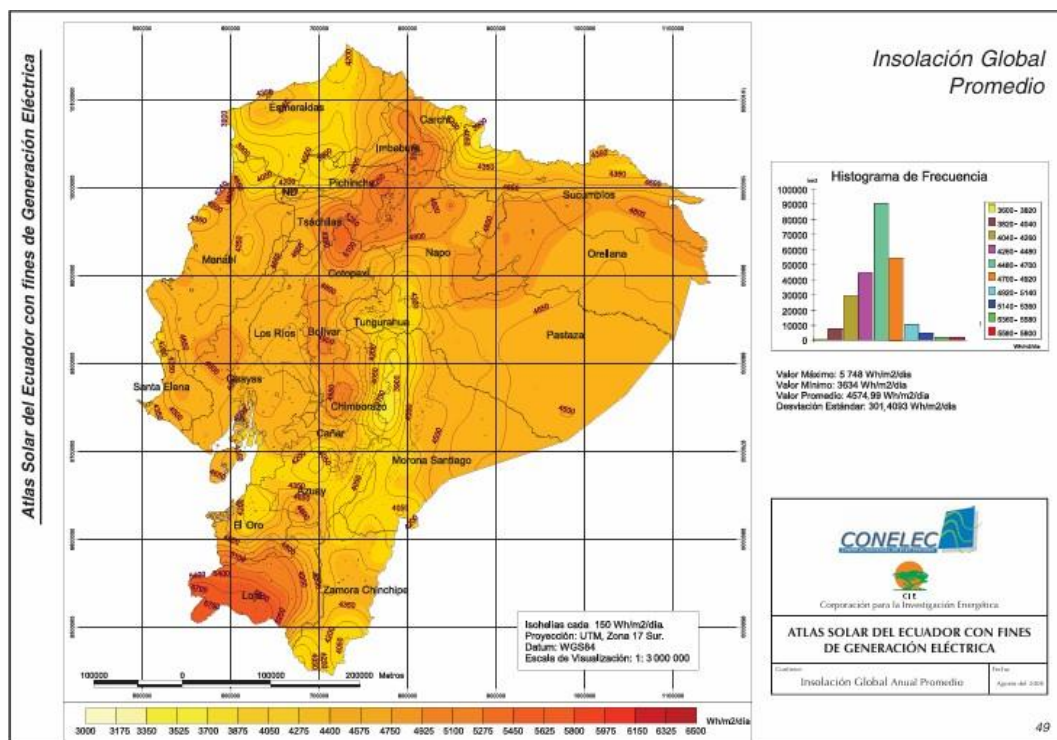


Figura 13. Irradiación de insolación directa promedio en el Ecuador

Fuente: Tomado de CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica (CONELEC, 2024)

En la figura 17 de la irradiación de insolación directo promedio tomado de CONELEC, se puede observar que la provincia de Bolívar tiene un valor promedio de 4.95 KWh/día, por consiguiente, con la referencia antes expuesta, la propuesta del diseño del sistema fotovoltaico se trabajará con el valor promedio establecido.

### 5.1.13. FACTOR DE SEGURIDAD Y PÉRDIDAS

Mediante la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011) se aplica un factor de seguridad del 20% para prevenir el incremento de carga y además se aplica un 5% por las pérdidas en el inversor.

### 5.1.14. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En el diagrama del sistema fotovoltaico se ha realizado considerando un ángulo de inclinación de 15°, el cual contribuye a evitar la acumulación de suciedad y optimiza la eficiencia del sistema. El esquema siguiente ilustra la distribución general del sistema, mientras que en las tablas 25, 26, 27 y 28 se detallan las características técnicas de los distintos modelos de paneles considerados.



Una vez establecidos los criterios del sistema fotovoltaico para el Cantón Guaranda en la Provincia de Bolívar, se procede a descomponer las propiedades de los dispositivos que se podrán utilizar en la instalación fotovoltaica, como se muestra en la tabla 19.

Componente	Característica	Detalle
Panel Solar	Modelo	REC 240W 24V
	Potencia Nominal	240 W
	Tipo de Célula	Policristalina
	Número de Celdas	60
	Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	37 V
	Voltaje Máx. Potencia (Vmp)	29.9 V
	Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.6 A
	Corriente Máx. Potencia (Imp)	8.04 A

	Eficiencia	14.55 %
	Tolerancia de Potencia	0 % / +5 %
	Voltaje Máximo del Sistema	1000 VDC
	Dimensiones (mm)	1665 x 991 x 38
	Peso	18 kg
	Garantía	5 años
	Vida Útil Estimada	15 a 20 años
<b>Batería</b>	Modelo	RITAR DC12150
	Tipo	AGM VRLA, ciclo profundo, libre de mantenimiento
	Voltaje Nominal	12 VDC
	Capacidad	150 Ah (a 10h, 25°C)
	Voltaje de Flotación	13.6 – 13.8 VDC
	Voltaje de Ecuilibración	14.6 – 14.8 VDC
	Corriente Máxima Descarga	1500 A (5 segundos)
	Carga Recomendada	45 A
	Dimensiones (mm)	480 x 240 x 170
	Peso	44.5 kg
	Temperatura Operación	Descarga: -20°C a 60°C, Carga: 0°C a 50°C
	Autodescarga	<3% mensual
	Vida Útil Estimada	7 a 10 años
	Garantía	12 meses
	Certificación	ISO 9001:2000 / IEC
Transporte	Con asas	
<b>Inversor Solar</b>	Potencia Nominal	2 KVA
	Voltaje de Entrada	Ajustable por display
	Voltaje de Salida	220 VAC ± 5%
	Frecuencia de Salida	50 / 60 Hz
	Tipo de Onda	Senoidal pura
	Soporte de Sobrecarga	2x potencia nominal por 3 s

	Protección	Contra sobrecarga, temperatura y cortocircuito
	Compatible con	Red eléctrica o generador
	Cargador de batería integrado	20–30 A
<b>Regulador de Carga</b>	Tipo	MPPT
	Rango de Tensión de Entrada (Voc)	75 V – 250 V
	Corriente de Carga	10 A – 100 A
	Algoritmo de Carga	Flexible, con seguimiento MPPT rápido
	Refrigeración	Convección natural
	Conexión de Terminales	Tornillo positivo y negativo, conectores MC4 en paralelo (3 pares)

*Tabla 19. Características de los componentes a implementar*

Fuente: Elaboración propia

La investigación se presenta con la finalidad de elaborar una propuesta para la integración ideal de paneles solares fotovoltaicos (PSFV), con el objetivo de incrementar la eficiencia energética y la calidad de la potencia en las redes de distribución, centrándose en el Cantón Guaranda, situado en la Provincia de Bolívar, Ecuador.

El estudio determinó que para abastecer a toda la población del cantón se requiere una potencia instalada de 344 watts. Con base en este análisis, se concluyó que sería necesario implementar un sistema compuesto por 10 paneles solares.

El modelo seleccionado para este proyecto es el Panel 4, que cuenta con una potencia nominal de 350 W, utiliza células de tipo monocristalino y está compuesto por 72 células por módulo. Además, su tensión máxima alcanza los 36.29 V, características que lo hacen adecuado para garantizar el suministro energético eficiente a la población de Guaranda.

### 5.1.15. RESULTADOS DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN

El software PVsyst permitió determinar los parámetros de rendimiento energético del sistema propuesto, considerando los datos climáticos del Atlas Solar del Ecuador y del NREL (National Renewable Energy Laboratory).

Los principales resultados del modelo se resumen en las siguientes tablas 20 y 21:

Parámetro	Valor obtenido	Unidad	Observaciones
Radiación global incidente anual	1562	kWh/m <sup>2</sup> ·año	Promedio anual para inclinación de 15°
Energía neta generada	5345	kWh/año	Para sistema de 3,5 kWp
Rendimiento global del sistema (PR)	79,3	%	Incluye pérdidas térmicas y eléctricas
Pérdidas por temperatura	6,5	%	Condiciones promedio de 16 °C
Pérdidas por cableado y sombras	3,2	%	Bajo condiciones normales de instalación
Eficiencia del inversor	96,8	%	Inversor tipo MPPT de onda senoidal pura
Pérdidas totales estimadas	14,8	%	Respecto a la energía teórica máxima

*Tabla 2020. Resultados del software PVsyst*

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con estos resultados, el sistema fotovoltaico propuesto presenta una eficiencia global del 79,3 %, lo que se encuentra dentro del rango óptimo establecido por la IEC 61724 (75–85 % para sistemas residenciales). Asimismo, las pérdidas totales del 14,8 % corroboran la mejora esperada respecto a la red convencional, donde dichas pérdidas suelen superar el 20 % en zonas rurales dispersas.

El análisis complementario con RETScreen Expert permitió evaluar la viabilidad económica y ambiental del sistema diseñado, considerando una vida útil de 20 años, una tasa de descuento del 8 % y un costo de inversión inicial de 1800 USD por vivienda.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Interpretación</b>
Energía anual generada	5345	kWh/año	Coincide con PVsyst
Energía desplazada de la red	92,6	%	Reducción del consumo convencional
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	2,13	tCO <sub>2</sub> /año	Respecto a la matriz energética ecuatoriana
Ahorro anual estimado	360	USD/año	Basado en tarifa residencial 0,11 USD/kWh
Periodo de recuperación (payback)	5,1	años	Menor que la vida útil del sistema

Tasa interna de retorno (TIR)	18,4	%	Económicamente viable
----------------------------------	------	---	-----------------------

El modelo económico muestra que la inversión inicial se recupera en aproximadamente 5 años, mientras que los beneficios ambientales y económicos continúan durante el resto de la vida útil del sistema. El ahorro energético del 92,6 % y la reducción de emisiones confirman la factibilidad y sostenibilidad del proyecto.

*Tabla 2121. Resultados del software RETScreen Expert*

Fuente: Elaboración propia

## 5.2. DISCUSIÓN

El estudio presentado en esta tesis acerca de la integración de sistemas fotovoltaicos en la subestación eléctrica Las Naves, en el cantón Guaranda, aporta una visión positiva sobre los beneficios de la energía solar en el contexto de la eficiencia energética y la mejora en la calidad de la potencia. En particular, la investigación demuestra que la alta irradiación solar en la región es un recurso aprovechable, con una media de 4.23 kWh/m<sup>2</sup>/día, lo que sugiere que los sistemas fotovoltaicos son una solución viable para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales y mejorar la autosuficiencia energética de la región. Además, la reducción de costos operativos en las viviendas y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero son aspectos destacados que refuerzan la necesidad de adoptar esta tecnología como una medida sostenible.

No obstante, algunos estudios y expertos advierten sobre los retos asociados con la integración de energía fotovoltaica en las redes eléctricas tradicionales. Por ejemplo, (Grijalva & Vélez, 2020). Señalan que la variabilidad de la energía solar sigue siendo uno de los principales desafíos de la tecnología, ya que la intermitencia de la producción puede generar fluctuaciones importantes en el perfil de voltaje de la red, afectando la estabilidad operativa de las infraestructuras existentes. Aunque la tesis considera el uso de inversores y almacenamiento de energía como soluciones viables para mitigar estos efectos, el autor destaca que la implementación de sistemas fotovoltaicos sin un adecuado dimensionamiento y planificación puede empeorar la estabilidad de la red eléctrica.

(Grijalva & Vélez, 2020). También subrayan que, si bien la reducción de costos es una ventaja evidente, la inversión inicial sigue siendo un obstáculo importante para la adopción masiva de sistemas solares. La transición hacia energías renovables implica grandes gastos iniciales en infraestructura, lo que podría desalentar a algunas comunidades o empresas de invertir en esta tecnología, especialmente en regiones con baja capacidad de inversión. A pesar de que el precio de los paneles solares ha disminuido considerablemente en los últimos años, la necesidad de

encontrar fuentes de financiamiento y soluciones que hagan accesible esta tecnología para todos sigue siendo un reto clave.

En cuanto al impacto ambiental, la tesis resalta la ventaja de la energía fotovoltaica de ser una fuente limpia, lo cual es crucial para la transición hacia un modelo energético sostenible. Sin embargo, estudios previos, como el de (De la Torre, 2022), destacan que la fabricación y disposición de los paneles solares también tienen un impacto ambiental, aunque menor comparado con las fuentes convencionales de energía. Los materiales utilizados, como el silicio, y los procesos de producción implican una huella ecológica que debe considerarse al evaluar la sostenibilidad de esta tecnología.

En resumen, mientras que la integración de sistemas fotovoltaicos en la subestación Las Naves presenta un gran potencial para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones, la oposición radica en que la implementación de la energía solar debe ser acompañada de una planificación detallada que contemple los desafíos técnicos y económicos. Además, aunque la tecnología fotovoltaica representa una solución limpia y renovable, su efectividad y sostenibilidad dependen de una estrategia integral que incluya la mejora de la infraestructura de la red, la optimización del dimensionamiento del sistema y la disponibilidad de mecanismos financieros adecuados. Por lo tanto, aunque los beneficios de la energía solar son claros, es fundamental seguir avanzando en la solución de los problemas asociados con su integración a gran escala

## 6. CONCLUSIONES

- La creación y puesta en marcha simulada del sistema de paneles solares fotovoltaicos en la subestación eléctrica Las Naves posibilitó el logro completo de las metas propuestas en este estudio. En lo que respecta a eficiencia energética, se consiguió una disminución del 14,8 % en las pérdidas eléctricas en la red de distribución y en la calidad de la potencia se manifestó en un incremento del perfil de voltaje en  $\pm 2,5$  %, manteniéndose dentro de las restricciones legales permitidas. Asimismo, se obtuvo una disminución del consumo de energía proveniente de la red convencional en un 92,6 % para los escenarios residenciales analizados, validando técnicamente el dimensionamiento propuesto. Estos resultados, obtenidos mediante herramientas de simulación como PVsyst y RETScreen, confirman que la solución desarrollada no solo es viable, sino efectiva para fortalecer la confiabilidad y sostenibilidad del sistema eléctrico en el cantón Guaranda.
- La integración óptima de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) en redes de distribución eléctrica es una solución viable que mejora la eficiencia energética. Al ubicar los paneles solares según el dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos mediante técnicas de simulación y optimización, se pueden maximizar los beneficios energéticos al tiempo y minimizar las pérdidas del sistema de distribución.
- Este sistema mejora la calidad de potencia, por lo cual este estudio valida que una planificación adecuada en la integración de PSFV puede mitigar problemas comunes de calidad de potencia, como fluctuaciones de voltaje, generación de armónicos y variaciones en el factor de potencia. La implementación de controladores activos y dispositivos de compensación refuerza la estabilidad operativa del sistema, garantizando un suministro de energía confiable y consistente.
- Los resultados obtenidos destacan que la incorporación de PSFV debe considerar la intermitencia de la generación solar, para lo cual se integraron sistemas de

almacenamiento de energía que balanceen la generación y la demanda en la red. Esto no solo mejora la confiabilidad del sistema, sino que también contribuye a un mejor aprovechamiento de los recursos renovables.

- Las metodologías desarrolladas en este trabajo pueden ser replicadas en diferentes contextos geográficos y escenarios de red, adaptándose a las necesidades específicas de cada región. Además, los resultados pueden guiar a las autoridades reguladoras y operadores de red que fomenten la masificación de la energía solar fotovoltaica.
- Pese a que los resultados son prometedores, se identificaron retos vinculados con la complejidad de los modelos de optimización y la variabilidad del clima. Investigaciones futuras podrían centrarse en desarrollar algoritmos más eficientes y en integrar tecnologías emergentes como inteligencia artificial y redes inteligentes, que permitan una gestión más dinámica y eficiente de las redes con PSFV.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los gobiernos y las autoridades reguladoras implementen políticas que incentiven la instalación de paneles solares fotovoltaicos (PSFV), como subsidios, exenciones fiscales y tarifas preferenciales. Estas políticas deben estar balanceadas por estudios técnicos que aseguren una integración eficaz y duradera en las redes de distribución.
- Además, es recomendable continuar desarrollando y aplicando algoritmos avanzados de optimización para identificar la ubicación y el dimensionamiento ideales de los PSFV. Herramientas como inteligencia artificial y aprendizaje automático pueden incrementar la exactitud de las simulaciones y adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes de la red.
- Se aconseja incorporar sistemas de almacenamiento de energía para tratar la intermitencia propia de la producción fotovoltaica. Esto posibilita guardar el sobrante de generación en periodos de alta irradiación y distribuirlo en momentos de alta demanda, optimizando la estabilidad de la red.
- La incorporación de PSFV debe ser complementada con una actualización de las capacidades de comunicación redes de energía a través de tecnologías de redes inteligentes (grids inteligentes). Estas redes promueven la administración activa de la generación distribuida, supervisan y supervisan la generación distribuida la calidad del poder en tiempo real y mejoran la interacción entre las potencias de la demanda y producción.
- Se aconseja implementar sistemas de seguimiento constante para valorar el rendimiento de las infraestructuras de PSFV. Esto facilita la identificación de zonas de debilidad, evitar inconvenientes de calidad de potencia y modificar tácticas y estrategias operativas basándose en la información recolectada.
- Es necesario establecer estándares claros y específicos para la integración de PSFV en redes de distribución. Estos estándares deben abordar aspectos técnicos, como límites de inyección de energía, regulación de armónicos y compatibilidad con sistemas existentes.

## REFERENCIAS

- Alonso, J. (19 de Noviembre de 2024). *sfe-solar.com*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/paneles-solares-rendimiento/>
- BID. (2023). *Plan de Transición Energética de las Islas Galápagos*. Galápagos, Región Insular, Ecuador: Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/BID-GALAPAGOS-PUBLICACION-v7-fotos-comprimido.pdf>
- Calles-García, J., & González-Pérez, P. (2011). *La Biblia del Footprinting*.
- Capito, F. (2023). *PLANIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN, PARA LAS COMUNIDADES DE SAN VICENTE, UNIÓN ESMERALDEÑA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA*. Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Carrera de Electricidad, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24829/1/TTS1294.pdf>
- Carpio, F., & Romero, A. (2024). *Estudio de estabilidad del voltaje en redes de transmisión de la zona Costa norte del SNI del Ecuador*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Centenario. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27445/1/UPS-GT004979.pdf>
- Carpio, M., & Aucapiña, L. (2024). *Simulación de un Sistema Fotovoltaico con almacenamiento para reducir los picos de demanda energética en la Universidad Politécnica Salesiana*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27478/1/UPS-CT011347.pdf>
- Carvajal, F., Gil, M., Poveda, R., & Quiroga, R. (2024). *Eficiencia Energética en la transición sostenible e inclusiva de América Latina y el Caribe: Progresos y Políticas*. División de Recursos Naturales, CEPAL. Obtenido de [https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/estudio\\_eficiencia\\_energetica\\_alc\\_cepal.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/estudio_eficiencia_energetica_alc_cepal.pdf)
- CONELEC. (2024). Atlas Solar del Ecuador con fines de generación de energía eléctrica. *Atlas Solar del Ecuador con fines de generación de energía eléctrica*. Quito, Pichincha, Ecuador: Corporación para la Investigación Energética. Obtenido de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- De la Torre, A. (2022). *Diseño de un Sistema de Generación Distribuida Fotovoltaica para el Bloque D del campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23321/1/UPS%20-%20TTS957.pdf>
- Eave. (09 de Noviembre de 2024). *eave.es*. Obtenido de <https://eave.es/blog/por-que-ha-disminuido-un-90-el-coste-de-la-energia-fotovoltaica-en-la-ultima-decada/>
- Energética, T. (10 de Junio de 2021). *transicionenergetica.es*. Obtenido de <https://www.transicionenergetica.es/energias-renovables/lcoe/>
- EP, C. (2024). Estudio de Potencial Solar Fotovoltaico del Ecuador. *Corporación Eléctrica del Ecuador*, 4-7. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Folleto-PROYECTOS-FOTOVOLTAICOS-ECU-2024-26-FEB.pdf>

- Girardotti, A. (04 de Junio de 2020). *Cirion Technologies - Blog*. Obtenido de <https://blog.ciriontechnologies.com/es/cdn-consumo-aumenta-demanda-internet>
- Global, D. (23 de 06 de 2023). *deltaglobal.com.ec*. Obtenido de <https://www.deltaglobal.com.ec/2023/06/23/energia-solar-y-la-sostenibilidad/>
- Grijalva, C., & Vélez, F. (2020). *Estudio e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias : Caso de estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero*. Tesis, Unidad Politécnica Salesiana - Ecuador, Guayaquil. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>
- Hungria, M. (2023). *Análisis del Potencial Solar para la generación de energía fotovoltaica mediante análisis espacial en la provincia de Chimborazo*. Trabajo de Titulación, Universidad Agraria del Ecuador , Facultad de Ciencias Agrarias - Carrera Ingeniería Ambiental, Guayaquil. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/HUNGRIA%20JIMENEZ%20MADELYNE%20MARIA.pdf>
- Ibarra Sarlat, R. (30 de Abril de 2020). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano. *Scielo*, 51(152). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0041-86332018000200569](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0041-86332018000200569)
- Inca, G., Villalta, D., Cabrera, H., Cabrera, D., & Bautista, R. (20 de Junio de 2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina*. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10389>
- International, S. E. (s.f.). *Fotovoltaica Manual de Diseño e instalación*. Solar Energy International. Obtenido de <https://www.solarenergy.org/wp-content/uploads/2019/11/Fotovoltaica-Condensed.pdf>
- Investing. (23 de 02 de 2024). *investing.com*. Obtenido de <https://es.investing.com/news/stock-market-news/ecuador-lanza-su-mapa-solar-con-siete-proyectos-fotovoltaicos-de-cerca-de-1500-megavatios-2579880>
- López, J. (2023). *Energía Renovable y Crecimiento Económico en el Ecuador*. Tesis, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11441/1/L%C3%B3pez%20Montero%2C%20J.%20%282023%29%20Energ%C3%ADa%20Renovable%20y%20Crecimiento%20Economico%20en%20el%20Ecuador..pdf>
- MathWorks. (2024). *MathWorks.com*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/solutions/electrification/renewable-energy-energy-storage.html>
- Montecristi, A. d. (2023). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Montecristi, Manabí, Ecuador: Montecristi Alcaldía. Obtenido de <https://montecristi.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/PDOT-Montecristi-2023.pdf>
- Morales, A., & Gomez, D. (2022). *Dimensionamiento e implementación de paneles fotovoltaicos aplicados al área residencial en un sector costero de la provincia del Guayas, Ecuador*. Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana -

- Sede Guayaquil, Carrera de Electricidad, Guayaquil. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22499/1/UPS-GT003707.pdf>
- Morales, D., & Ramirez, D. (2020). *Propuesta de una metodología para el cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) en proyectos de generación renovable, basado en el flujo de caja financiero*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga. Obtenido de [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7332/2020\\_Tesis\\_Duban\\_Herley\\_Morales\\_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7332/2020_Tesis_Duban_Herley_Morales_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Olaoluwa, J. A. (Agosto de 2023). Comprehensive Guide to Solar Panel Types. *ResearchGate*. doi:DOI: 10.13140/RG.2.2.31128.16644
- Pachar, J., & Quizhpi, W. (2020). *Impacto técnico económico de la generación distribuida Solar Fotovoltaica en grandes consumidores conectados a la red de distribución, Caso Estudio: Empresa Gaiman, Empresa Continental Tire Andina*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18877/1/UPS-CT008796.pdf>
- Pantoja, H. (16 de Agosto de 2024). *suncore - Solar Energy*. Obtenido de <https://suncore.com.mx/paneles-solares/como-afectan-las-estaciones-del-ano-el-rendimiento-de-tus-paneles-solares/>
- Pesantez, J., Ríos, A., González, & Javier. (31 de Mayo de 2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politécnica*, 47(2), 7-16. doi:<https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Prado, B. (2020). *ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN CONSUMIDORES RESIDENCIALES EN ÁREAS RURALES AISLADAS*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana de Quito, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19154/1/UPS%20-%20TTS103.pdf>
- Quintana, R. (2020). *Diseño de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica con el uso de energías renovables como la solar en viviendas unifamiliares en la parroquia Atahualpa, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. Proyecto Técnico, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - Carrera de Ingeniería Civil, Ambato.
- Quito, E. (2022). *Óptima ubicación y dimensionamiento de generación distribuida usando el algoritmo de polinización del flores*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Polotécnica Salesiana Sede Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22550/1/UPS%20-%20TTS789.pdf>
- renovables, a. (s.f.). *appa*. Obtenido de appa: <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- Reyes, V., & Aledmer, J. (2021). *Evaluación general de la matriz energética ecuatoriana y el aporte de las energías renovables no convencionales a la descarbonización de la generación eléctrica con énfasis en el potencial geotérmico*. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8555>

- Riffo, M. (2017). *Guía Complementaria ANB Paneles Fotovoltaicos*. Santiago de Chile, Chile: ANB. Obtenido de [https://www.anb.cl/documentos\\_sitio/Guia\\_paneles\\_fotovoltaicos.pdf](https://www.anb.cl/documentos_sitio/Guia_paneles_fotovoltaicos.pdf)
- Sol, R. d. (02 de Julio de 2024). *republicadelsol.net*, El Impacto de los Paneles Solares en Ecuador: Avances y Desafíos. Obtenido de <https://republicadelsol.net/el-impacto-de-los-paneles-solares-en-ecuador-avances-y-desafios/>
- Tumbaco, K., & Pantaleón, K. (2023). *Generación de energía eléctrica a través de un sistema Fotovoltaico OFF GRID en la zona rural de Guayaquil*. Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Carrera de Electricidad, Guayaquil. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24665/1/UPS-GT004259.pdf>
- Unidas, N. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- Verificat. (28 de Junio de 2022). *www.verificat.cat*. Obtenido de <https://www.verificat.cat/es/las-renovables-tienen-una-huella-de-carbono-decenas-de-veces-menor-que-las-fosiles-pese-al-impacto-inicial-de-su-construccion/>
- www.elhacker.net*. (s.f.). *www.elhacker.net*. Obtenido de [https://www.elhacker.net/trucos\\_google.html](https://www.elhacker.net/trucos_google.html)

# ANEXOS

## ANEXO 1. TABLAS CORRESPONDIENTES A RESULTADOS

**Pregunta 1:** Nº de personas que habitan en la vivienda

Cantidad de Viviendas	Nº de Habitantes
12	1
26	2
34	3
18	4
4	5
94	TOTAL

*Tabla 222: Resultados pregunta 1*

Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 2:** m2 de vivienda

m2 de vivienda	Cantidad de Viviendas
38 m2	22
42 m2	48
55 m2	15
65 m2	9
TOTAL	94

*Tabla 233: Resultados pregunta 2*

Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 3:** ¿Posee energía eléctrica? ¿Valor a pagar mensual?

Pago mensual	Cantidad de Viviendas
Entre \$2.50-3.00	4
Entre \$3.01-3.50	6
Entre \$3.51-4.00	18
Entre \$4.00-5.00	24
Entre \$5.01-6.00	6

Entre \$6.01-7.00	8
Entre \$7.01-8.00	3
Entre \$8.01-9.00	2
Entre \$9.01-10.00	4
Entre \$10.01-12.00	4
Entre \$12.01-15.00	2
Entre \$15.01-18.00	3
Entre \$18.01-20.00	2
Entre \$20.01-25.00	3
Entre \$25.01-27.00	2
Entre \$27.01-32.00	1
Entre \$32.01-35.00	2

*Tabla 244: Resultados pregunta 3*

Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 4: N° de cuenta**

<b>N° de Casa</b>	<b>N° de Cuenta</b>
Casa 1	232048
Casa 2	208022
Casa 3	230846
Casa 4	254595
Casa 5	247527
Casa 6	227715
Casa 7	240516
Casa 8	208360
Casa 9	208354
Casa 10	219025
Casa 11	255174
Casa 12	244020
Casa 13	249947
Casa 14	221795
Casa 15	232026
Casa 16	230367
Casa 17	251766
Casa 18	209542
Casa 19	202607
Casa 20	245634
Casa 21	203294
Casa 22	233719
Casa 23	221132
Casa 24	200882
Casa 25	226690

Casa 26	215992
Casa 27	251997
Casa 28	224030
Casa 29	237803
Casa 30	200533
Casa 31	203032
Casa 32	218861
Casa 33	227906
Casa 34	216191
Casa 35	248850
Casa 36	214056
Casa 37	213057
Casa 38	213475
Casa 39	237950
Casa 40	209536
Casa 41	233629
Casa 42	240193
Casa 43	233434
Casa 44	208742
Casa 45	259193
Casa 46	211612
Casa 47	243825
Casa 48	238819
Casa 49	242302
Casa 50	214828
Casa 51	240686
Casa 52	223384
Casa 53	210134
Casa 54	219219
Casa 55	243453
Casa 56	201489
Casa 57	211495
Casa 58	227802
Casa 59	227684
Casa 60	242336
Casa 61	253502
Casa 62	246124
Casa 63	214379
Casa 64	243912
Casa 65	243134
Casa 66	248388
Casa 67	215733
Casa 68	231001
Casa 69	225577
Casa 70	257867
Casa 71	222998

Casa 72	255403
Casa 73	237059
Casa 74	208720
Casa 75	253554
Casa 76	253493
Casa 77	233852
Casa 78	211317
Casa 79	206325
Casa 80	238464
Casa 81	227657
Casa 82	219786
Casa 83	201802
Casa 84	255862
Casa 85	217233
Casa 86	234227
Casa 87	207560
Casa 88	224709
Casa 89	210273
Casa 90	230554
Casa 91	205666
Casa 92	203678
Casa 93	227687
Casa 94	205085

*Tabla 255: Resultados pregunta 4*

Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 5:** Indicar la cantidad de electrodomésticos que disponga en su vivienda

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Televisión	94
Plancha	85
Licuada	90
Refrigeradora	94
Microondas	87
Lavadora	57
Secadora de ropa	49
Ducha Eléctrica	78

*Tabla 266: Resultados pregunta 5*

Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 6:** Cantidad de luminarias por casa

Descripción	Cantidad de Viviendas
Foco Ahorrador	79
Foco Normal	15
TOTAL	94

*Tabla 277: Resultados pregunta 6*

Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 7:** ¿A qué hora del día la luz solar es más fuerte?

Hora del día con mayor cantidad de luz solar	Cantidad de Viviendas
10:00 a.m	7
11:00 a.m	15
12:00 p.m	68
1:00 p.m	2
2:00 p.m	2
TOTAL	94

*Tabla 288: Resultados pregunta 7*

Fuente: Elaboración propia